

Spracovanie radarových dát pomocou indexov kvality

Mgr. Ladislav Méri, SHMÚ

Abstract

By the growing demand for radar products the question of its accuracy and quality rises more often and often. Most of the products generated by the radar-manufacturers software's lack such information. The development of a new radar product generation software at SHMÚ is presented in this paper. The software uses a more network-centered view to the radar data processing, where the data from different radars are not processed independently, but together with other data sources are compared, controlled and combined by each other. It uses quality indexes to characterize some common error sources of radar measurements. At this time 8 different quality indexes are implemented: the constant quality index to characterize the radar hardware, settings and overall performance; the quality index computed from the distance from the radar; the quality index describing the similarity between the measurement and its neighbors; quality index catching ray-like structures caused by RLAN interferences; the beam-blockage quality index; the quality index based on cloud-free areas from satellite data; the static and dynamic quality index computed from the average reflectivity measured in cloud-free conditions. The products are computed always as composites, where the final value is a weighted average of measurements from all available radars, and the quality indexes are used as weights. The software computes also the quality map of the product, the map of available radars, the map of standard deviation and the maps of estimated minimum and maximum values. Some pictures for visual evaluation are also presented. The development is only at its beginning, so the near future plans are also mentioned (objective evaluation by comparison of product with daily rainfall rates from the rain-gauge network, implementation of further quality indexes and products, optimization of the code, development of a reliable rainfall-rate estimation algorithm). The software is written in C++ for easy portability and uses parallel processing techniques for fast run.

Keywords: radar, quality index, compositing, product generation

Anotácia

Príspevok sa zaoberá spracovaním radarových meraní využitím tzv. indexov kvality a vývojom softvéru pre generovanie radarových produktov na SHMÚ. Krátko popisuje doteraz implementované indexy kvality a produkty. Keďže vývoj je iba v začiatočnom štádiu, spomínajú sa aj plány pre blízku budúcnosť. Pridanou hodnotou nového softvéru je, že metóda spracovania nevracia iba hodnotu prvku ale aj odhad jeho kvality, štandardnú odchýlku a odhadovanú minimálnu a maximálnu hodnotu.

Kľúčové slová: radar, indexy kvality, zlučovanie

Úvod

V súčasnosti pozorujeme čoraz väčší dopyt po produktoch generovaných pomocou dištančných meraní. Paralelne s tým sa zvyšujú aj nároky na kvalitu týchto produktov. V centre záujmu sú aj rádiolokačné merania, ktorých kvalita je ovplyvnená mnohými faktormi. Mnohé spôsoby využitia týchto údajov vyžadujú aj odhad presnosti generovaných produktov. V minulosti sa radarové produkty využívali hlavne vo výstražnej službe, kde skúsený meteorológ vedel rozpoznať rôzne efekty a prípadné anomálie, ktoré ovplyvnili kvalitu produktu. V súčasnosti vstupujú radarové merania do rôznych automatických systémov a modelov (numerické modely, nowcasting, hydrológia), kde oči a skúsenosti meteorológa musia byť nahradené adekvátnymi algoritmi. Ďalšou oblasťou, kde sa postupne zvyšuje dopyt po radarových produktoch je klimatologická služba. Ide hlavne o rôzne posudky, kde vyčíslenie presnosti alebo aspoň odhad kvality radarových meraní môže výrazne pomôcť v práci posudzujúceho klimatológa.

Aj keď otázka odhadu kvality meraní už niekoľko rokov rezonuje v komunite expertov pre radarové merania v meteorologických službách (napr. projekty OPERA, BALTRAD alebo aj INCA-CE, H-SAF), výrobcovia ponúkajú zatiaľ iba obmedzené alebo žiadne možnosti v tejto problematike. Jedným z vysvetlení takéhoto prístupu môže byť aj to, že spracovateľské softvéry ponúkané výrobcami boli primárne navrhnuté aby produkovali produkty z jednotlivých radarov zvlášť. Čoraz lepšia dostupnosť dát z viacerých radarov v danej oblasti nám umožňuje aj hlbšiu analýzu a trochu iný pohľad na radarové dáta, kde údaje z rôznych radarov sú navzájom kontrolovateľné, porovnávateľné a kombinovateľné. Integrácia meraní z iných dostupných zdrojov (napr. družice, zrážkomery, alebo aj analýzy z numerických modelov či údaje zo systémov pre detekciu bleskov) otvára ďalšie možnosti v zlepšení kvality radarových, alebo aj všeobecne meteorologických produktov.

Táto práca sa zaoberá vývojom spracovateľského softvéru radarových meraní na SHMÚ, ktorý kombináciou meraní z rôznych dostupných radarov a iných zdrojov umožňuje okrem spresnenia aj analýzu kvality a presnosti výsledných produktov. Softvér je napísaný v jazyku C++ s ohľadom na jednoduchú prenositeľnosť na rôzne platformy a intenzívne využíva technológiu paralelného spracovania dát pre čo najrýchlejší beh.

Implementované indexy kvality

Výsledok radarových meraní je ovplyvnený veľkým množstvom faktorov. Určité faktory vyplývajú zo samotného hardvéru radaru, z nastavení merania a parametrov radarového softvéru (výkon, polarizácia, šírka lúča, šum, maximálny dosah, maximálna detekovateľná rýchlosť, rôzne zabudované filtre ...). Ďalšie faktory vyplývajú z okolitého prostredia radaru (výška lúča nad terénom, blokovanie lúča, blízke vodné plochy, interferencie s inými zariadeniami ...), alebo z aktuálnej meteorologickej situácie (šírenie lúča v atmosfére, neúplné zaplnenie lúča pri okrajoch oblaku, zosilnená odrazivosť od topiaceho sa ľadu – bright band, nedetegovanie nízkej oblačnosti, odrazy od cieľov za maximálnym dosahom radaru, ...).

Väčšinu týchto faktorov kvality sa dá buď priamo vyčísliť, odhadnúť, alebo aspoň odhadnúť ich pravdepodobnosť. Po vyčíslení sa faktory kvality preškalujú na tzv. indexy kvality - bezrozmerné číslo medzi 0,0 a 1,0. Vyvinutý softvér počíta indexy kvality z objemových meraní priamo na nameraných

dátach ešte pred ich projekciou do výslednej mapovej projekcie. Doteraz implementované indexy sú nasledovné:

Konštantný index kvality

Faktorom kvality v tomto prípade môže byť samotný hardvér radaru, jeho nastavenie a prevádzkové parametre. Merania spoľahlivých a dobre nastavených radarov sa ohodnotia indexom kvality 1,0, menej spoľahlivé nižšími hodnotami. Tento index kvality môže byť použitý aj v prípade, ak nejaký iný index sa nepodarilo vypočítať (napr. kvôli chýbajúcim dátam). Vtedy sa chýbajúci index kvality nahradí nejakou predefinovanou konštantnou hodnotou.

Index kvality podľa vzdialenosti od radaru

Každý nameraný bod sa ohodnotí podľa jeho vzdialenosti od radaru. Radarový lúč sa so vzrastajúcou vzdialenosťou rozširuje a jeho objem sa zväčší. Nameraná hodnota reprezentuje priemer z čoraz väčšieho objemu. V literatúre existuje niekoľko odporúčaní pre výpočet tohto indexu. V tomto prípade bol použitý vzťah:

$$q_i = \begin{cases} 1,0; & r < r_{min} \\ \sqrt{\frac{r_{max} - r}{r_{max} - r_{min}}}; & r_{min} \leq r \leq r_{max} \\ 0,0; & r > r_{max} \end{cases}$$

, kde r je vzdialenosť od radaru, r_{min} a r_{max} sú nastaviteľné parametre výpočtu.

Index kvality podľa podobnosti s okolím

Pomerne častým problémom v poli rádiolokačnej odrazivosti sú samostatne stojace body nenulovej odrazivosti s nulovým okolím alebo opačne, samostatné malé nulové oblasti s nenulovým okolím. Tieto efekty vznikajú buď náhodným šumom alebo zlým odfiltrovaním nenulových meraní. Ako faktor kvality sa počíta podiel podobných bodov vo voliteľnom okolí. Index kvality je potom:

$$q_i = \begin{cases} \frac{N_{detect}}{N}; & z > undetect \\ \frac{N_{undetected}}{N}; & z \leq undetect \end{cases}$$

, kde $undetected$ je prahová hodnota pre nedetegované odrazivosti, N je celkový počet bodov vo zvolenom okolí, N_{detect} je počet bodov nad $undetected$ a $N_{undetected}$ je počet bodov pod $undetected$. Tento index kvality nájde okrem samostatne stojacich bodov aj okraje oblačnosti, ktoré sú tiež menej spoľahlivo nasnímané. Softvér umožňuje aj korekciu týchto bodov, a to tak, že pod zvolenou hodnotou q_i sa bod nahradí priemerom zo zvoleného okolia.

Index kvality zachytávajúci lúčovité štruktúry (RLAN interferencie)

Častým a vážnym problémom je znehodnotenie meraní tzv. RLAN zariadeniami, ktoré napriek legislatíve vysielajú na tých istých frekvenciách ako meteorologické radary. Výsledkom takéhoto rušenia je potom lúčovitá oblasť so zvýšenou odrazivosťou. Vyvinutý algoritmus nájde tieto štruktúry, vypočíta výkon pochádzajúci z rušenia a odčíta tento výkon z prijímaného. Indexom kvality je potom podiel korigovanej a pôvodnej hodnoty.

Index kvality podľa blokovania lúča terénom

Ďalším faktorom kvality je percentuálne blokovanie lúča terénom. Vyvíjaný softvér počíta blokovanie pomocou šírenia lúča v štandardnej atmosfére nad digitálnym modelom terénu s 10-metrovým rozlíšením (ASTER GDEM). Index kvality sa potom počíta ako:

$$q_i = \begin{cases} 1 - block; & block \leq block_{max} \\ 0; & block > block_{max} \end{cases}$$

, kde $block$ je blokovanie, $block_{max}$ je voliteľná prahová hodnota blokovania. Softvér umožňuje aj korekciu blokovania - hodnoty v bodoch blokových menej ako $block_{max}$ sú delené hodnotou $block$.

Index kvality podľa oblačnosti z družice

Z produktu *Cloud Type* softvérového balíka SAFNWC sa určia bezoblačné oblasti s prakticky nulovou pravdepodobnosťou výskytu meteorologických cieľov - bezoblačné oblasti a oblasti pokryté len tenkou, polopriehľadnou vysokou oblačnosťou s veľkosťou aspoň 3x3 družicových pixlov. Ak radar nameria nejakú nenulovú odrazivosť v týchto bodoch, ten sa vynuluje a index kvality v sa nastaví na zvolenú zníženú hodnotu.

Statický index kvality podľa priemernej odrazivosti pri bezoblačnej situácii

Vypočíta sa priemerná detegovaná odrazivosť pri bezoblačnej oblohe za zvolené časové obdobie. Táto odrazivosť zvyčajne pochádza z neodfiltrovaných pozemných cieľov, od hmyzu a prachu alebo aj od RLAN rušení. Index kvality sa počíta ako:

$$q_i = \begin{cases} 1; & \bar{z} < \bar{z}_{min} \\ 1 - \frac{\bar{z} - \bar{z}_{min}}{\bar{z}_{max} - \bar{z}_{min}}; & \bar{z}_{min} \leq \bar{z} \leq \bar{z}_{max} \\ 0; & \bar{z} > \bar{z}_{max} \end{cases}$$

, kde $\bar{z}$ je priemerná odrazivosť, $\bar{z}_{min}$ a $\bar{z}_{max}$ sú voliteľné minimálne a maximálne prahové hodnoty.

Dynamický index kvality podľa priemernej odrazivosti pri bezoblačnej situácii

Priemerná bezoblačná odrazivosť sa odčíta od aktuálne nameranej, čím sa znižuje vplyv nemeteorologických cieľov na výslednú nameranú hodnotu (napr. z nameranej odrazivosti blízko terénu sa odčíta časť pochádzajúca z odrazu od zemského povrchu). Indexom kvality je podiel korigovanej a pôvodnej odrazivosti.

Zlučovanie nameraných hodnôt z rôznych radarov

Výsledný index kvality pre dané meranie v danom bode z daného radaru sa vypočíta ako násobok všetkých typov indexov kvality:

$$qi_{R_i} = \prod_{j=1}^n qi_{R_i}^j$$

, kde qi_{R_i} je výsledný index kvality pre radar R_i , $qi_{R_i}^j$ je index kvality pre radar R_i vypočítaný z j -tého faktoru kvality a n je počet faktorov kvality.

Výsledný produkt sa vždy počíta ako kompozit z rôznych radarov. Nepočítajú sa produkty zvlášť pre každý radar s následným zlučovaním ako v prípade výrobcami dodávaných softvérov (aj keď je možnosť si vytvoriť aj produkt z jedného radaru, keď do výpočtu vstupujú údaje iba z jedného radaru). Index kvality pre dané meranie z daného radaru sa interpretuje ako pravdepodobnosť toho, že meranie je presné a kvalitné. Keďže merania v tom istom bode ale z rôznych radarov sa považujú za nezávislé, kvalita odhadu v danom bode sa počíta ako 1,0 mínus pravdepodobnosť zlého merania:

$$\begin{aligned} qi &= 1,0 - P' = \\ &= 1,0 - \prod_{i=1}^N P'_i = \\ &= 1,0 - \prod_{i=1}^N (1,0 - qi_{R_i}) \end{aligned}$$

, kde P' je výsledná pravdepodobnosť nekvalitného merania a P'_i je pravdepodobnosť nekvalitného merania i -tého radaru a N je počet dostupných radarov v danom bode. Takýmto prístupom sa zabezpečí, že kvalita výslednej hodnoty bude vyššia ak je vypočítaná z viacerých radarov. Konečná hodnota požadovanej veličiny je počítaná ako vážený priemer z jednotlivých radarov, pričom ako váhy sa používajú indexy kvality:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^N qi_{R_i} z_{R_i}}{\sum_{i=1}^N qi_{R_i}}$$

, kde z je výsledná hodnota požadovanej veličiny (napr. odrazivosti), a z_{R_i} je požadovaná veličina nameraná i -tým radarom. Ak je počet dostupných radarov nad daným bodom väčší ako 1, vypočíta sa aj vážená štandardná odchýlka vzťahom:

$$\Delta z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N qi_{R_i} (z_{R_i} - z)^2}{\sum_{i=1}^N qi_{R_i}}}$$

Produkty

Doteraz boli implementované produkty CMAX – maximálna odrazivosť v stĺpci nad bodom, CAPPI-3D – 3D pole odrazivosti s voliteľnou najnižšou a najvyššou hladinou a voliteľným počtom hladín a VCUT – vertikálny rez. Ku každému produktu sa počíta aj mapa kvality, štandardnej odchýlky, minimálnej a maximálnej hodnoty (priemer $\pm 2 \times$ štandardná odchýlka) a počtu radarov pokrývajúcich daný bod (Obr. 3).

Výsledky a plány

Aj keď práce s rôznymi indexmi kvality sa začali už pred niekoľkými rokmi, samotný vývoj tohto softvéru sa začal len nedávno. Zavedenie hore uvedených produktov do operatívy sa plánuje v najbližších dňoch. Zatiaľ sa robila iba vizuálna verifikácia výsledkov (príklady v Prílohe). Už sú rozbehnuté práce na objektívnu verifikáciu s vyčíslením korelácie medzi dennými úhrnmi zo zrážkomernej siete SHMÚ a novými produktmi s rôznym nastavením parametrov výpočtu. Výsledky tohto porovnania by mali slúžiť ako základ pri navrhnutí najlepšieho algoritmu pre presný odhad zrážok s kombináciou rôznych zdrojov údajov. Počet implementovaných indexov kvality postupne rastie. Ich pridanie je vďaka štruktúre softvéru veľmi jednoduché. V blízkej budúcnosti pribudne index kvality pre útlm v oblastiach s intenzívnymi zrážkami, index kvality na základe hornej hranice oblačnosti, filtrovanie odrazov od cieľov za dosahom radaru (multi-trip echo), index kvality charakterizujúci oblasti so zvýšenou odrazivosťou kvôli topiacim sa ľadovým časticiam alebo aj index podľa času merania, ktorý by umožnil vstup meraní s väčším časovým krokom so zníženou kvalitou. Dobudovaním dvoch nových radarov na Slovensku bude možné počítať produkty až z 13 radarov (4 slovenské, 2 české, 3 poľské, 3 maďarské a plánuje sa aj výmena 1 rakúskeho). Doterajšie práce boli zamerané hlavne na spracovanie odrazivosti z jedného kanálu. Samozrejme plánuje sa aj implementácia produktov z dopplerovskej rýchlosti a dual-polarizačných veličín. Pri priebežne prebiehajúcej optimalizácii, v oblasti paralelizácie výpočtu sa uvažuje okrem doteraz použitej technológie OpenMP aj možnosť zrýchlenia výpočtu pomocou technológie MPI.

Použitá literatúra:

Jan Szturc, Katarzyna Ośródko and Anna Jurczyk (2012). Quality Control Algorithms Applied on Weather Radar Reflectivity Data, Doppler Radar Observations - Weather Radar, Wind Profiler, Ionospheric Radar, and Other Advanced Applications, Dr. Joan Bech (Ed.), ISBN: 978-953-51-0496-4, InTech, dostupný z: <http://www.intechopen.com/books/doppler-radar-observations-weather-radar-wind-profiler-ionospheric-radarand-other-advanced-applications/quality-control-algorithms-applied-on-weather-radar-reflectivity-data>

Gianfranco Vulpiani, Angelo Rinollo, and Silvia Puca(2014). Ground-validation of the H-SAF rainfall products: toward a common radar processing chain and uncertainty quantification, Department of Civil Protection, Rome, Italy, interná dokumentácia z projektu H-SAF.

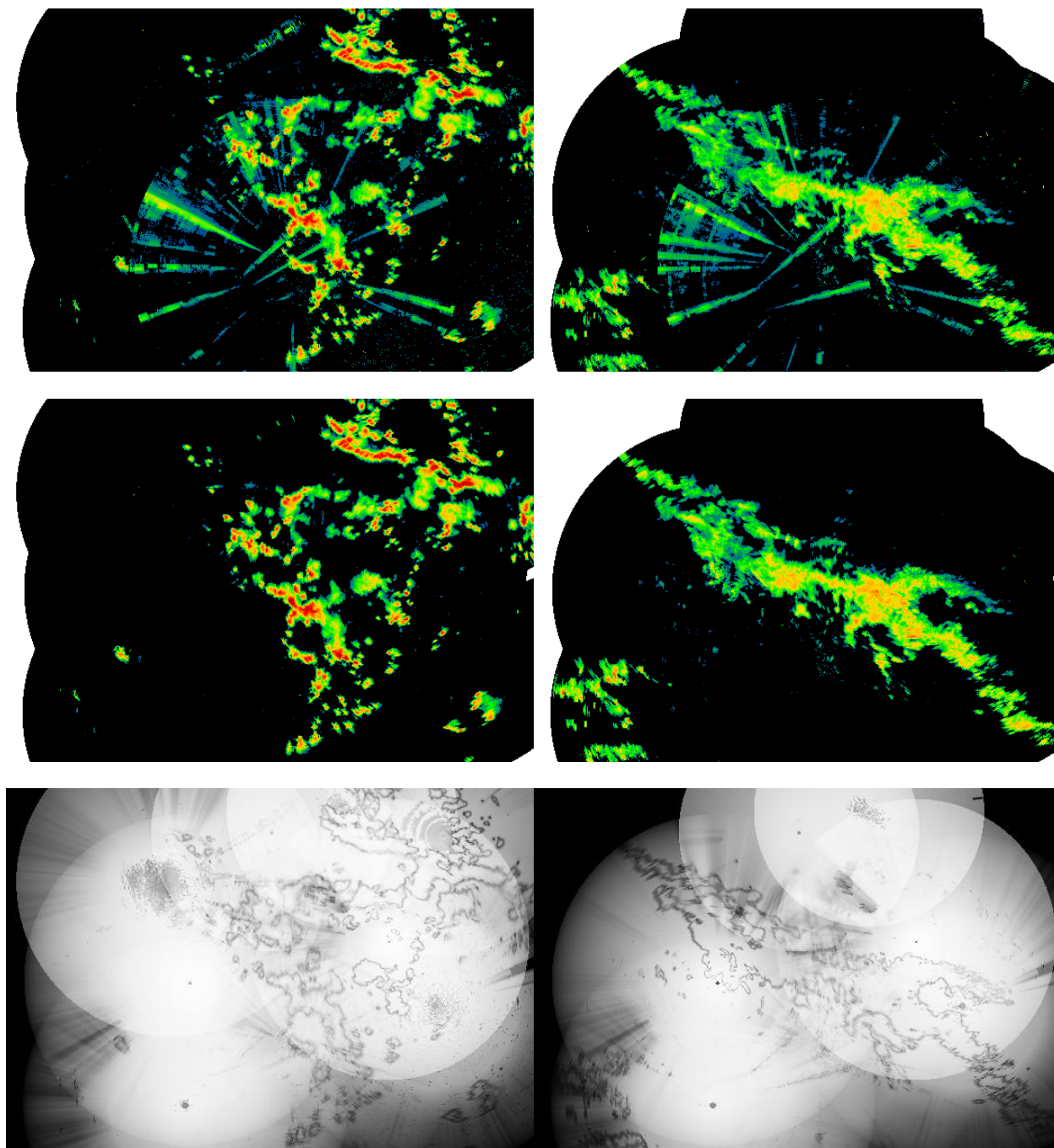
K. Norman, N. Gaussiat, D. Harrison, R. Scovell, M. Boscacci (2010). A quality index for radar data, OPERA deliverable OPERA_2010_03, dostupný na:

http://www.eumetnet.eu/sites/default/files/OPERA_2010_03_Quality_Index.pdf

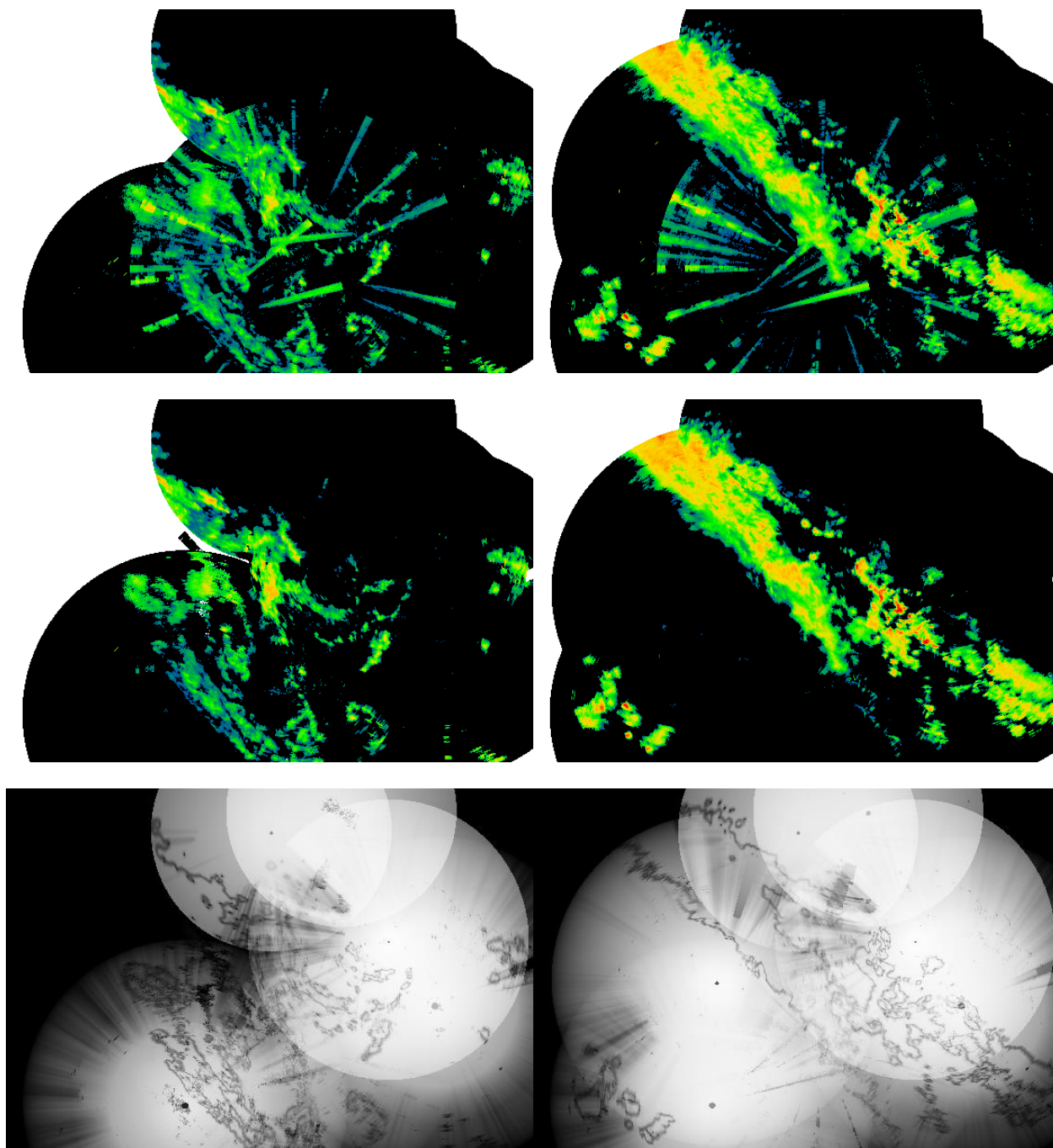
Sandford, C. and Gaussiat, N. (2011). Evaluation of an error-based quality index for compositing using UK radar data, OPERA-3 Deliverable OPERA_2011_12, dostupný na:

http://www.eumetnet.eu/sites/default/files/OPERA_2011_12_Quality_index_evaluation.pdf

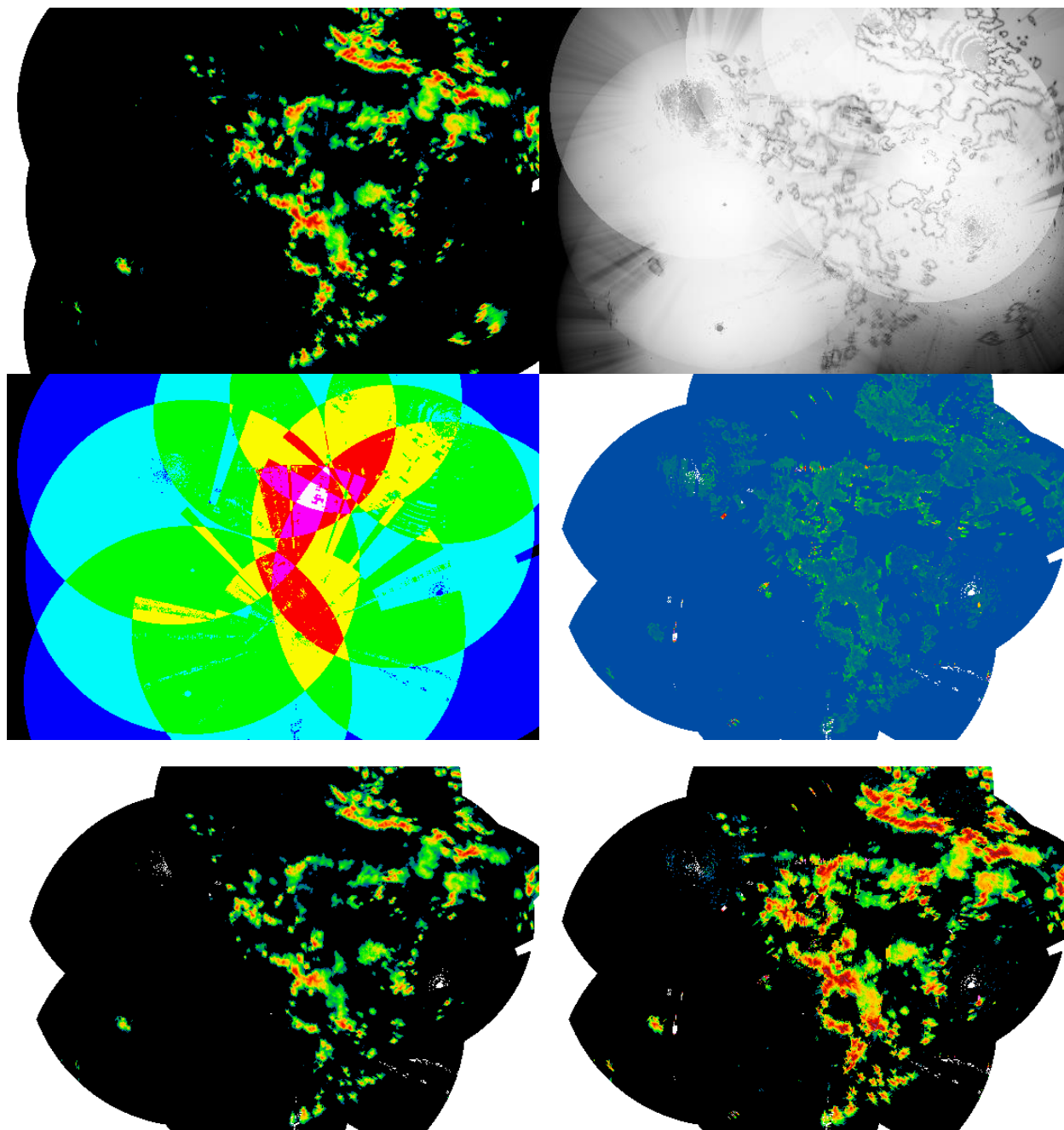
Príloha



Obr. 1: Ukážky produktu CAPPI z 2 km hladiny. V hornom riadku je produkt bez korekcie a analýzy kvality, v strednom je po korekcii s použitím všetkých implementovaných indexov kvality a v dolnom je výsledná mapa kvality (biela – najlepšia, čierna – najhoršia kvalita). V ľavom stĺpci je produkt z 9 radarov z termínu 5.8.2015 13:10, v pravom je produkt zo 7 radarov z 19.8.2015 12:30.



Obr. 2: Ukážky produktu CAPPI z 2 km hladiny s usporiadaním ako pri Obr. 1. V ľavom stĺpci je produkt zo 6 radarov z termínu 18.8.2015 06:10, v pravom je produkt zo 7 radarov z 18.8.2015 17:30.



Obr. 3.: Rôzne výstupy z CAPPI 2km analýzy s použitím všetkých indexov kvality z termínu 18.8.2015 06:10. V prvom riadku je výsledný produkt a index kvality. V druhom riadku je počet radarov použitých na výpočet a štandardná odchýlka (počíta sa iba v bodoch s 2 alebo viac radarmi). V dolnom riadku je odhad minimálnej a maximálnej odrazivosti (priemer $\pm$ 2xštandardná odchýlka).