

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**POKROČILÁ VIZUALIZACE A ZPRACOVÁNÍ
METEOROLOGICKÝCH DAT**

Diplomová práce

Bc. Tomáš DROTTNER

Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

Olomouc 2015
Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Hlavním cílem práce bylo zjištění možností pokročilého zpracování a vizualizace meteorologických dat. To obnášelo studium literatury a otestování dostupných softwarů, které podporují meteorologická data. Byly vybrány nejpoužívanější dostupné programy s různým zaměřením (podpora pouze radarových dat) a provedením (WMS služba). Vybrán byl následující software: IDV, Panoply, GR2Analyst Version2, OpenGrADS, ncWMS a Dimension explorer. Možnosti uvedených programů byly testovány a následně vyhodnoceny. V práci jsou také popsány datové formáty pro ukládání meteorologických dat a jejich konkrétní využití.

Dalším cílem byla integrace zmíněných dat do GIS systémů. Součástí byl opět popis uvedených programů a možností využití. Jednalo se o open source framework Hadoop a nástroj GIS Tools For Hadoop.

Posledním cílem bylo hodnocení objektivních analýz v programu VisualWeather, který je velmi profesionální. Objektivní analýzy byly prostudovány a na základě vizuálního porovnání upraveny. Důsledkem úpravy bylo zpřesnění výpočtu objektivních analýz. Výsledné upravené hodnoty, však nemusely vždy znamenat lepší výsledek. Provedení úprav je tak na daném odborníkovi, který analýzy využívá pro sestavení předpovědi. V průběhu hodnocení totiž vyplynulo zjištění, že pro některé meteorologické jevy, můžou být cíleně horší výsledky objektivní analýzy vhodnější pro určení předpovědi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Meteorologická data, big data, objektivní analýzy, Visual Weather, Hadoop

Počet stran práce: 93

Počet příloh: 7 volných, 1 DVD

ANOTATION

The main goal of work was to explore possibilities of advanced processing and visualization of meteorological data. There is included literature overview and test of available software which supports meteorological data. The most usable and available software with the various focuses were used (support for radar data only) and performance (WMS Service). Selection of software was: IDV, Panoply, GR2Analyst Version2, OpenGrADS, ncWMS and Dimension Explorer. The possibilities of given software were tested and evaluated. There is description of data formats used for saving meteorological data and their specific usage is also mentioned in this work.

The next aim of work was integration of setted data into GIS systems. Again, description of those software and their possibilities of using were component part. It was used open source framework Hadoop and GIS Tools For Hadoop environment.

The last aim of this work was to evaluate objective analysis in Visual Weather software, which is very professional. Objective analyses were researched and modified based on visual comparison. The result of this modification was to obtain more accurate calculations of objective analysis. The resulted adjusted values, however, may not always reveal better results. Method of modification depends on expert who makes use of these analyses for weather prediction. During the evaluation was detected a discovery that for some meteorological phenomena may be deliberately underperform results of objective analysis more suitable for determining weather predictions.

KEYWORDS

Meteorological data, big data, objective analysis, Visual Weather, Hadoop.

Number of pages: 93

Number of appendixes: 7 free, 1 DVD

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. *(Např. Ve své programové aplikaci jsem použil modul pro transformaci vektorových dat mezi prostorovými referenčními systémy, vytvořený)*
- jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji konzultantu npor. Mgr. Lucii Burianové za poskytnuté materiály, přístup k počítači a cenným radám a Mgr. Pavlu Borovičkovi za poskytnutou literaturu a konzultace.

Vložený originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	12
2.1 Použitá data	12
2.1.1 ČR datová sada	12
2.1.2 Evropská datová sada	13
2.2 Použité programy	14
3 METEOROLOGIE A BIG DATA	16
3.1 Historie meteorologie	16
3.2 Meteorologie a data.....	17
3.3 Datové formáty	18
3.3.1 NetCDF (Network Common Data Form).....	19
3.3.2 HDF (Hierarchical Data Format).....	20
3.3.3 GRIB (General Regularly-distributed Information in Binary Form)	20
3.3.4 Další datové typy.....	21
3.4 Zpracování meteorologických dat	22
3.4.1 Frameworky pro zpracování objemných meteorologických dat	22
3.5 Vizualizace meteorologických dat	24
3.6 Objektivní analýza (OA).....	26
4 TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ	27
4.1 GIS Tools For Hadoop	27
4.2 IDV (Unidata Integrated Data View).....	31
4.3 Panoply	37
4.4 GR2Analyst Version 2	39
4.5 OpenGrADS (Open Grid Analysis and Display System).....	41
4.6 ncWMS.....	49
4.7 Dimension Explorer ArcMap 10.3.....	52
4.8 Visual Weather	53
4.8.1 Hodnocení objektivních analýz	54
5 VÝSLEDKY	72
5.1 Výsledky testování funkcí.....	72
5.2 Výsledky objektivních analýz.....	74
6 DISKUZE	76
7 ZÁVĚR	78
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
.CDF	NASA Common Data Format
.ctl	Data Description File
.GRB	GRIB
.NC	netCDF
.RAW	Read and Write
ADDE	Abstract Data Distribution Environment
API	Application Programming Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BMNG	Blue Marble Next Generation
BSD	Berkeley Software Distribution
CBS	Commission for Basic Systems
CSS	Cascading Style Sheets
CSU RAMS	CSU Regional Atmospheric Modeling System
CSV	Comma Separated Values
Db	Database
degK	degrees Kelvin
DVD	Digital Versatile Disc
ESRI	Environmental System Research Institute
EUMETSAT	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
EXE	Executable
FORTRAN	Formula Translation/Translator
GB	gigabajt
GEFS	Global Ensemble Forecast System
GEOS-R	The Geostationary Operational Environmental Satellite - R systems
GEOTIFF	Geospatial Tagged Image File Format
GIF	Graphic Interchange Format
GIS	geografický informační systém
GNU	Gnu's Not Unix
GPL	General Public Licence
GRIB	General Regularly-distributed Information in Binary Form
GUI	Graphical User Interface
HDF	Hierarchical Data Format
HDFS	Hadoop Distributed File System
HMSI AČR	Hydrometeorologická služba Armády ČR
hPa	hektopaskal
HQL	Hive Query Language
HTML	Hypertext Markup Language
http	Hypertext Transfer Protocol
CHMU	Český hydrometeorologický úřad
I/O	Input/Output
IBM	International Business Machines Corporation
IDV	Integrated Data Viewer

JAR	Java Archive
JPEG	Joint Picture Experts Group
JPSS	Joint Polar Satellite System
JSON	JavaScript Object Notation
JSP	Java Server pages
KB	kilobajt
KML	Keyhole Markup Language
LAT/LON	Latitude/Longitude
m.n.m	metů nad mořem
MADIS	Meteorological Assimilation Data Ingest System
MB	megabajt
McIDAS AREA	Man Computer Interactive Data Access System
NAIP	National Agriculture Imagery Program
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASA EOS	NASA Earth Observation System
NCSA	National Center for Supercomputing Applications
netCDF	Net Common Data Form
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWP	Numerical Weather Prediction
OA	objektivní analýza
OGC	Open Geospatial Consortium
OPeNDAP	Open source Project for a Network Data Access Protocol
PDF	Portable Document Format
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
PNG	Portable Network Graphics
Př.n.l.	před našim letopočtem
RGB	Red Green Blue
SQL	Structured Query Language
StřPoHM	Středisko podpory hydrometeorologie
SVG	Scalable Vector Graphics
TB	terabajt
TDS	Thredds data Server
THREDDS	Thematic Real-Time Environmental Distributed Data Services
TLC	Target Language Compiler
URL	Uniform Resource Locator
UTC	Coordinated Universal Time
VGHMÚř	Vojenský hydrometeorologický úřad
ViSAD	Visualization for Algorithm Development
WMO	World Meteorological Organization
WMS	Web Map Service
XML	Extensive Markup Language
ZIP	Compressed File

ÚVOD

Již od dob, kdy lidé změnili způsob života na zemědělský, se vyskytují první snahy předpovídat počasí. Jev, který ovlivňuje veškerý život na Zemi každý den. Postupem času se metody pro předpověď počasí zlepšovaly až do dnešní doby. Nejdůležitějším rozvojem však bylo 20. století a vývoj počítačů. Do té doby byly veškeré výpočty prováděny ručně. S rozvojem nových informačních systémů a technologií vznikaly nové nároky a cíle na předpovědi. Důsledkem byl vznik moderních superpočítačů, náročných modelů a přesnějších měření, díky kterým se měly doposud užívané metody zlepšit. Jelikož se technologie neustále vyvíjí, vznikají stále nové a náročnější požadavky.

Vývoj meteorologických satelitů umožnil vytvoření nových metod a dat, které byly využity do výpočetních modelů a analýz. Kromě vylepšování strojů však bylo nutné zdokonalení softwarového vybavení. Jelikož existuje velké množství různých senzorů, zaznamenávající každou změnu počasí, musely být upraveny technologie pro přenos a ukládání naměřených dat. To dalo vzniknout speciálním datovým formátům a softwarům, které slouží pro přenos a zpracování meteorologických dat.

Správné změření daného jevu určitým senzorem, uložení do vybraného formátu, přenos dat pro zpracování a následná vizualizace, je v dnešní době prováděna téměř automaticky. Uvedený postup musí být bezchybný, aby bylo možné vytvoření správné předpovědi. Data mohou být správně naměřena, odeslána, dokonce i zpracována, ale kvůli špatné vizualizaci mohou být výsledky špatně interpretované. Jelikož jsou neustále vyvíjeny nové senzory produkující přesnější data, které však mají mnohem větší objem, je nutné vyvíjet lepší a efektivnější způsoby zpracování dat.

Tato práce se zabývá současnými možnostmi zpracování, vizualizace meteorologických dat a také implementacích velkých dat do GIS systémů. V práci jsou popsány současné datové formáty pro meteorologická data, způsoby zpracování a vizualizace dat. Dále jsou popsány možnosti implementace velkých datových sad do GIS systémů a jejich praktické využití (nejen) v meteorologii. Praktická ukáзка pokročilého zpracování jsou možnosti úprav objektivních analýz, které slouží pro výpočet předpovědi.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je pokročilá vizualizace a zpracování meteorologických dat. Teoretická část je studium literatury, kde jsou popsány obecně meteorologická data, historie meteorologie, jejich formáty, možnosti zpracování, způsoby vizualizace a konkrétní využití. Praktická část je rozdělena na dvě případové studie. První se věnuje integraci big dat do GIS systémů, možnostem zpracování a vizualizace meteorologických dat ve vybraných softwarech a jejich následným porovnáním. Druhá část je věnována vyhodnocení objektivních analýz (Barnes, Akima, Conpac) pro vybrané meteorologické jevy (teplota, tlak a teplota rosného bodu) a jejich vylepšení. Cíle hodnocení byly podřízeny odborníky, kteří určili vybrané meteorologické jevy pro výpočet objektivních analýz.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Prvním krokem práce bylo seznámení se s teorií objektivních analýz (Barnes, Akima a Conpac metody) a softwarem Visual Weather ve kterém byly tyto analýzy zpracovávány. Pro práci se softwarem byly velice prospěšné konzultace s npor. Mgr. Lucií Burianovou a Mgr. Pavlem Borovičkou. Jelikož byl přístup k programu získán pouze na určitou dobu, byla velmi nápomocná návštěva ČHMÚ (Český hydrometeorologický úřad), kde bylo možné VisualWeather vyzkoušet před začátkem práce. Před samotným začátkem výpočtu objektivních analýz bylo nutný vybrat zájmové území. Dalším krokem bylo zjištění jakým způsobem vyhodnotit objektivní analýzy, aby byly výsledky co nejpřesnější. Jelikož bylo manuálně porovnáno velké množství dat a práce nebyla automatizovaná (software nenabízel požadovanou možnost automatizace), jednalo se o časově velmi náročný úkol. Postup byl založen na vizuálním porovnávání naměřených hodnot s vypočítanými hodnotami. Na základě výsledných sum odchylek byla objektivní analýza upravována do požadovaného stavu.

Pro detailní testování pokročilých vizualizačních nástrojů pro meteorologická data bylo nutné studium dostupné literatury, získání výukových materiálů daných firem a konzultací s některými pracovníky. Po testování softwarů bylo nutné vytvoření jejich hodnocení.

2.1 Použitá data

Data, která byla poskytnuta pro hodnocení objektivních analýz probíhající v programu Visual Weather byla součástí systémů neboť se jednalo o real-time meteorologická data s omezeným přístupem. Tato data byla poskytnuta v rámci magisterské praxe prostřednictvím Hydrometeorologické služby Armády České republiky (HMSI AČR) a ČHMÚ. Data nejsou přístupná veřejnosti. Jednalo se o zprávy SYNOP a TEMP z vybraných meteorologických stanic na území ČR a Evropy.

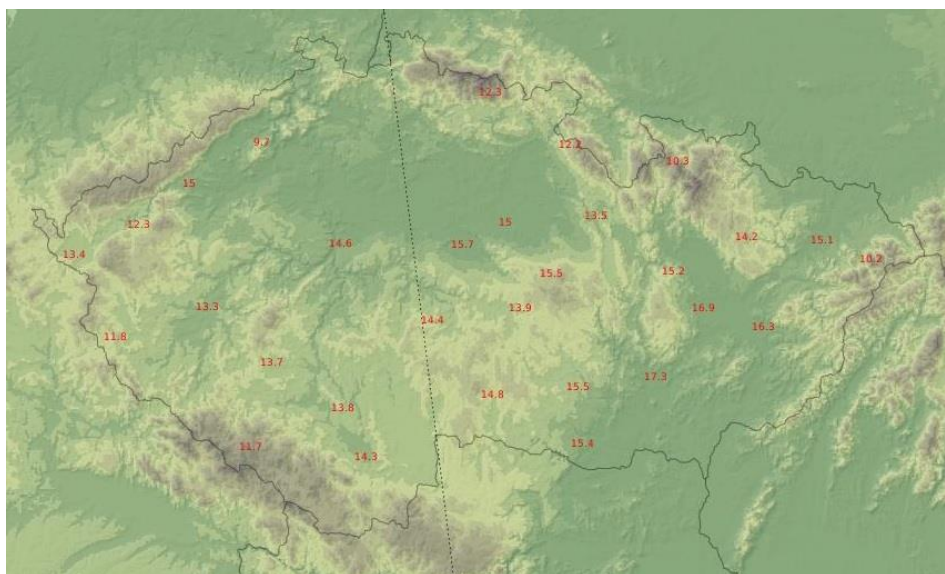
Pro testování možností implementace big dat byla využita vzorová data poskytnutá v rámci instalačních balíčků nebo ukázkových příkladů. Kromě ukázkových dat byly také využity volně dostupné meteorologické datové sady poskytované NOAA (radarová data, archiv teplotních a větrných dat) a ESRI (online služba rastrových datasetů). Vzhledem k charakteru meteorologických dat byly nejčastěji využity vzdálené přístupy k datům pomocí OPeNDAP, THREDDS serverů aj. (vzdálené přístupy k datům již byly implementovány do programů).

2.1.1 ČR datová sada

Pro hodnocení objektivní analýzy na území České republiky byly vybrány tři meteorologické jevy: teplota, tlak a teplota rosného bodu. Výpočet byl proveden ze všech dostupných stanic, které vysílají pravidelnou meteorologickou zprávu SYNOP, ale porovnávání probíhalo pouze na 30 referenčních stanicích. Bylo tak vybráno kvůli časové náročnosti hodnocení. Rozložení stanic vstupujících do hodnocení bylo vybráno na základě konzultací z důvodu velké časové náročnosti tak, aby výběr zachoval tvar území a byly pokryty stanice ve vyšších nadmořských výškách. Seznam stanic, které byly zahrnuty do porovnání (Příloha. 2).

V prvním sloupci je WMO (World Meteorological Organization) identifikační kód dané stanice, ve druhém je její nadmořská výška, která byla důležitá pro výpočet tlaku, třetí je uměle vytvořený klíč pro lepší orientaci v prostoru a poslední je název stanice.

Stanice, v příloze označené tmavší barvou, nebyly vybrány do hodnocení tlaku, z důvodu jejich vysoké nadmořské výšky. Hranice nadmořské výšky, pro kterou se již tlak nevyhodnocuje, by měla být 525 m.n.m. Při porovnávání však bylo zjištěno, že údaj o tlaku obsahují i dvě stanice, které se nachází nad touto hranicí. Konkrétně se jedná o stanice Příbyslav (533 m.n.m.) a Košetice (534 m.n.m.). Zahrnutí těchto stanic může být pravděpodobně z důsledku malého rozdílu výšky, či velkého počtu okolních stanic. Hodnocení tlaku tak probíhalo pouze na 19 stanicích. Výpočty objektivních analýz jsou vztaheny k zemskému povrchu. Prostorové rozložení stanic lze vidět na Obr. 2.1.



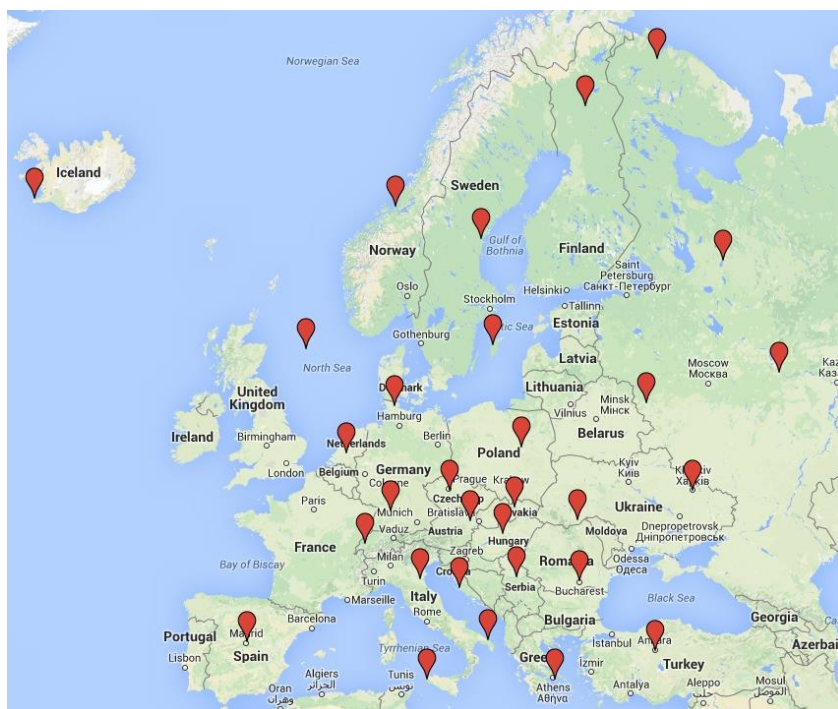
Obr. 2.1 Přehled vybraných meteorologických stanic (VisualWeather).

Testování pro analýzu teploty probíhalo v datech 17.6.2014 06:00 hodin UTC (Coordinated Universal Time). Čas byl, kvůli porovnání výsledků mezi všemi typy objektivních analýz (Barnes, Akima, Conpac), ponechán. Pro výpočet tlaku bylo zvoleno datum 24.6.2014 06:00 hodin UTC. Stejně datum bylo vybráno i pro vyhodnocení teploty rosného bodu.

2.1.2 Evropská datová sada

Pro danou oblast bylo opět vybráno 30 referenčních meteorologických stanic (výpočet bylo počítán ze všech dostupných meteorologických stanic na území). Rozložení stanic bylo provedeno v souladu se snahou pokrytí území celé Evropy. Stejně jako v případě stanic ČR byly porovnávány všechny typy OA a tedy: Barnes, Conpac, Akima. Oproti datové sadě použité pro výpočet analýz na území ČR zde byly tři rozdíly. Prvním rozdílem bylo použití dat z meteorologické zprávy TEMP ve výšce 850 hPa (pro výpočet teploty) místo ze SYNOP zprávy. Druhým rozdílem byla změna meteorologického jevu a místo tlaku byl počítán geopotenciál ve výšce 850 hPa). Výška 850 hPa představuje přibližnou vertikální výšku 1,5 km a je vhodná pro hledání front. Uvedené změny byly v souladu s požadovaným zadáním úkolu. Třetí a poslední změna byla v rozdílném datu výpočtu. Analýzy byly provedeny 25.6.2014 00:00 UTC a opět byly stejné pro Barnes, Conpac i Akima metodu. V Příloze 2 jsou uvedeny konkrétní meteorologické

stanice (ID stanice, umělý klíč sloužící pro lepší orientaci při porovnávání, země/oblast a staniční název). Prostorové rozmístění stanic lze vidět na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Přehled meteorologických stanic TEMP (GoogleMaps).

Po konzultaci s odborníky bylo zjištěno, že pro určování (hledání) určitých meteorologických jevů, např. front, je vhodnější, pokud jsou výsledné analýzy do jisté míry shlazené. Vymizí tak lokální extrémy a lépe je odhadnut celkový průběh daného jevu. Proces shlazení má však za následek zhoršení výsledku analýzy (velké rozdíly mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami). Z uvedeného důvodu vyplývá snaha o navržení správné kombinace a nastavení OA tak, aby výsledné odchylky byly co možná nejmenší a zároveň, aby byl výsledek pro meteorology stále dobře čitelný a přehledný.

2.2 Použité programy

Jak již bylo zmíněno, v práci bylo využito více programů. Pro vytvoření objektivních analýz byl využit software Visual Weather, který je produktem slovenské firmy IBL software engineering. Program je určen pro zpracování a vizualizaci meteorologických dat (lokální a real-time data). Přístup k programu Visual Weather byl zajištěn díky npor. Mgr. Lucii Burianové v rámci magisterské praxe v HMSI AČR, konkrétně Středisko podpory hydrometeorologie (StřPoHM). Pro samotné hodnocení objektivních analýz a vypočítání odchylek mezi naměřenými a vypočítanými daty byl využit MS Office Excel.

Pro práci s big daty byl využit open source framework Hadoop (Hortonworks Sandbox 2.1 dostupný z <http://hortonworks.com/products/hortonworks-sandbox/#install>), VirtualBox (nutný pro fungování Hortonworks, dostupný z <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>) Cygwin (Linuxové prostředí na OS Windows, stažený z <https://cygwin.com/install.html>) a ESRI projekt GIS Tools For Hadoop (nástroje pro integraci big dat a ArcGIS, balíček dostupný z <https://github.com/Esri/gis-tools-for-hadoop>). Vizualizace byla provedena v softwaru ArcGIS. V daném nástroji probíhalo také zpracování vzorových příkladů.

Zpracování a vizualizace meteorologických dat byla provedena v několika různých softwarech za účelem zhodnocení jejich funkcionality. Zpracování radarových dat bylo provedeno v trialové verzi GR2Analyst Version2, (http://www.grlevelx.com/gr2analyst_2/). Pro práci s ostatními meteorologickými daty byl využit open-source IDV (podpora satelitních, radarových i gridovaných dat, dostupný z <http://www.unidata.ucar.edu/downloads/idv/current/index.jsp>), open-source prohlížečka Panoply (jednoduchá kombinace dvou datových zdrojů, zdroj <http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>), open-source GrADS (jednoduché ovládání pomocí příkazové řádky, stažení instalačního balíčku z <http://sourceforge.net/projects/opengrads/files/>), open-source WMS server ncWMS (včetně jeho klienta Godiva2 pro distribuci meteorologických dat, dostupný z <http://www.resc.rdg.ac.uk/trac/ncWMS/wiki/DownloadPage>) a addin DimensionExplorer v ArcMap 10.3 (animace mosaikových datasetů, stažený z <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=7f9f6185681a4be08f899feb5673a264>). Možnosti zpracování a vizualizace dat v rámci uvedených programů jsou detailně popsány v následujících kapitolách.

3 METEOROLOGIE A BIG DATA

Podle Vysoudila je meteorologie věda o zemské atmosféře, o jejím složení, vlastnostech, dějích a jeve v ní probíhajících. Využívá především fyzikálních poznatků a metod řešení a je často označována za fyziku atmosféry (Vysoudil, 2004).

Schopnost předpovědět (vypočítat) předpovědi počasí je stěžejní úkol pro každodenní život. Existuje velká řada různých poskytovatelů meteorologických dat na různých úrovních (lokální, státní, globální). Pro správné pochopení meteorologie a klimatologie jsou tedy nezbytné správné vizualizační metody a datové formáty. Díky správnému využití je tak možné získat mnoho důležitých informací, které nejsou na první pohled zřejmé. Meteorologická data je nutné rozdělit na data o počasí, které se zabývají aktuální situací (nebo krátkou předpovědí v rámci několika dnů) a klimatická data, která se zabývají dlouhodobým měřítkem a vývojem klimatu. Existují historická, aktuální a předpovědní data. Pomocí historických archivů, lze snadněji předpovídat následující stav nebo analyzovat rozdíly v určitém období, např. porovnání teploty. Data klimatická a data o počasí jsou velmi důležitá a vzájemně propojená.

3.1 Historie meteorologie

Lidé jsou závislí na změnách počasí již od doby, kdy se změnil způsob obživy na zemědělský (cca 5000 let př.n.l.). S postupem času a lidským vývojem se zdokonalovaly techniky pro určování počasí až do podob, které jsou známy dnes. První pokusy předpovědět počasí sahají až k roku 650 př.n.l, kdy se babylóňané snažili vytvořit krátkodobou předpověď na základě výskytu mraků a optické iluzi halo. Slovo meteorologie bylo odvozeno od slova meteora, znamenající věci nadzemské (Graham, Parkinson, Chanine, 2002).

Hlavním období pro meteorologii bylo však kolem roku 340 př.n.l kdy řecký filozof Aristoteles napsal svoji knihu Meteorologica. V této knize popsal mnoho teorií, např. o vzniku deště, mraků, krupobití, větru či bouří. Kromě teorií jsou v knize zmiňovány také další přírodní vědy jako astronomie, geografie nebo chemie. Kniha se stala přelomem v meteorologii a byla považována za hlavní zdroj teorie o počasí téměř 2000 let (Graham, Parkinson, Chanine, 2002).

Ve 20. letech 20. století, byl norským meteorologem sestaven koncept vzdušných proudů a front. Díky fyzikálním zákonům tak byly objeveny vzorce pohybů teplého a studeného vzduchu, které se staly základem moderní meteorologie. Ve stejném období byla také vynalezena meteorologická sonda, která byla vybavena meteorologickými přístroji a vynesena do vysoké výšky (až 30 km) pomocí balónu napuštěného vodíkem nebo heliem. Sonda po čas stoupání vysílala naměřené informace. Tento systém se používá do dnešní doby (každých 12 hodin je vypuštěna sonda z vybraných stanic po celém světě) (Graham, Parkinson, Chanine, 2002).

Další důležité vynálezy využívané pro předpovědi a pochopení počasí vznikly v období světových válek, kdy bylo značně investováno do rozvoje nových technologií. Nejdůležitějším vojenským vynálezem (využitým v meteorologii) se tak stal radar (primární použití pro detekci nepřátelských letounů). Později byl upraven tak, aby dokázal detekovat přítomnost, směr a rychlost větru. S rozvojem prvních počítačů byl vytvořen první atmosférický model (v průběhu 50. let 20. století), který byl schopný předpovídat počasí pro velké oblasti jako sérii systému tlakových nížin a výšin. Díky rozvoji počítačů a dalších technologií byla v roce 1962 vytvořena první předpověď počasí z vesmíru pomocí meteorologického satelitu TIROS I. Tyto vynálezy (s postupným

vývojem a úpravami) se staly základními nástroji moderní meteorologie (Graham, Parkinson, Chanine, 2002).

Historie České meteorologie

První souvislé měření bylo započato v pražském Klementinu v roce 1775 a probíhá dodnes. V roce 1971 bylo zahájeno pravidelné měření atmosféry pomocí sond. V roce 1998 byl spuštěn provoz prvního superpočítače pro výpočet numerické předpovědi. Dalším důležitým krokem české meteorologie byl v roce 2011 vstup do EUMETSAT (organizace pro využívání meteorologických družic). V roce 2012 bylo na území ČR (pod správou ČHMÚ) 735 meteorologických stanic (z toho 25 synoptických, 5 leteckých, 1 aerologická, 163 klimatologických a 541 srážkoměrných) (Krška, Šamaj, 2001).

3.2 Meteorologie a data

Je téměř nemožné si představit fungování dnešního světa bez dat. Každý přístroj generuje specifická data, nebo je zpracovává a tím vytváří data nová popř. jejich deriváty. Z časového hlediska pak každý den přibývají nová data, která je nutno efektivně zpracovat a uložit. Navíc se během desetiletí objem světových dat zvětšil několikanásobně a tento trend bude pokračovat. Příkladem může být teleskopický výzkum v Chile kdy je každý den vytvořeno 30 TB dat (Google Joins, 2015), nebo skutečnost, že je každou minutu nahráno a uloženo 300 hodin videa (YouTube, 2015). Další ukázkou nárůstu dat mohou být sociální sítě (Facebook, Twitter) nebo obchodní řetězce (Wal-Mart, Amazon).

Se zvětšujícím objemem dat (v roce 2002 bylo zaznamenáno přibližně 5 exabajtů, kdežto v roce 2009 existovalo 281 exabajtů dat (Haggar, 2011)) začaly být klasické technologie pro zpracování dat nedostačující a bylo nutné vytvoření nového přístupu, díky kterému by bylo nadále možné efektivní zpracování dat.

Big data je termín, o kterém se začalo mluvit v posledních několika letech téměř ve všech oblastech. Výraz big data byl poprvé použit v roce 1997 (Cox, Ellsworth, 1997). Podle Dumbill (O'Reilly Media, 2012) je definice big dat následující: *big data jsou data, která přesáhnou kapacity zpracování konvenčních databázových systémů. Data, která jsou moc velká, pohybují se velmi rychle nebo neodpovídají struktuře databázové architektury. Pro získání hodnot z dat je třeba zvolení jiné, alternativní cesty. Z tohoto pohledu jsou pak big data známé pro svoji 3V charakteristiku (někteří autoři uvádějí i další V):*

- **Volume**, značí objem dat (dle výzkumů je odhadován nárůst dat v roce 2020 na 44 zetabajtů (Executive Summary, 2014))
- **Variety** (různorodost, variabilita) je velmi důležitou vlastností dat, díky které je možné zpracovávat různé typy dat (video, audio, obrázky, web, aj.). Data tak mohou být strukturovaná nebo nestrukturovaná.
- **Velocity** neboli rychlost, s jakou jsou data vytvářena, přenášena a analyzována (velice často real-time zpracování)
- Někdy je také zmiňováno další V, např. **Veracity** (Normandeu, 2013), které zastupuje nejistotu v datech

Kvůli novým požadavkům na rychlé a efektivní zpracování velkých datasetů je nutné nalézat alternativní řešení. Proto vznikly nástroje pro zpracování, mezi které lze zařadit např. Hadoop (podkapitola 3.7). Open source Framework, který dokáže zpracovávat big data. Nový přístup se začal využívat i v meteorologii z důvodu charakteru meteorologických dat, které jednoznačně patří do big dat.

- Datový objem, který je zpracováván pro různé předpovědi, se neustále (kvůli lepším výsledkům) zvyšuje;
- různorodost dat je značná (satelitní snímky, staniční měření, radarová data aj.);
- existující požadavek po okamžitém přenosu a zpracování dat mohou být.

Pro meteorologii může nový přístup k big datům znamenat značný pokrok v přesnosti vytvářených předpovědí. Analýzy a výpočty mohou využívat více vstupních dat (více dimenzí, více senzorů aj.) a objevit tak nové doposud nezjištěné informace. Přibývá tak stále větší počet společností, které využívají tento nový trend, např:

- Společnost OpenSignal vyvinula aplikaci WeatherSignal, která sbírá data naměřená chytrými telefony (pokud disponují patřičnými senzory jako je barometr nebo teploměr) za účelem vytvoření map s aktuálními informacemi o počasí. Big data přístup jim tak dovoluje kombinaci dat získaných z více senzorů nebo správné vypočítání průměru objemu informací (Johnston, 2013).
- EarthRisk je zaměřena na analýzy historických dat a následnou predikci meteorologických jevů. Algoritmus, který je využíván dokáže provést až 4 miliony výpočtu denně pro zpřesnění předpovědi. Firma je zaměřena na vytváření předpovědí pro velké společnosti (americká větrná farma Iberdrola) (Woody, 2012).
- Projekt Deep Thunder od IBM dokázal vytvořit přesnou předpověď objemu velké sněhové bouře v New Yorku (stejná bouře která v únoru pokryla severozápad USA) včetně začátku a konce bouře (Hamn, 2013) a (Gallagher, 2012).
- Jižní Korea, která každoročně odolává písečným bouřím přicházejícím z Číny, zvětšila svoji kapacitu uložených big dat na 9,3 petabajtů. Systém tak zpracovává více než 1,6 TB každý den (hodnoty tlaku, teploty, rychlost větru, snímky ze sond, satelitní data aj.). Ve spolupráci s IBM byl systém upraven tak, aby dovozoval zápis 20 GB za sekundu, tyto data zpracoval okamžitě a propojil je s historickými daty (Wheatley, 2013).
- JPSS mise (Join Polar Satellite Mission, NOAA, NASA, Raytheon (JPSS, 2015), která je náhradou za staré satelity, disponuje novým technickým vybavením, které monitoruje celý svět a každodenně produkuje přibližně 60 GB dat, která jsou zpracována na 5, 4 TB (Knapp, 2013).

3.3 Datové formáty

Neustálý rozvoj a vývoj technologií vede k získávání stále přesnějších výsledků. S tím je tedy spojená zvyšující se náročnost na ukládání takových dat. Navíc se v dnešní době stále častěji používají data multidimenzionální a meteorologie z tohoto pohledu není výjimkou. Právě v tomto oboru počet dimenzí u dat narůstá. Základní známé datové formáty tak nestačily, neboť podporují často pouze 2D zobrazení (někdy 3D). Kvůli charakteristice meteorologických dat a jejich multidimenzionalitě (až 5 dimenzí), je lze řadit do big dat.

Meteorologická data mohou mít i 5 dimenzí: X,Y,Z, čas a teplota. Pro tyto potřeby tak bylo důležité zapisovat data do vhodných formátů, které dokáží rychle pracovat s velkými objemy. Důležitou vlastností, kterou data využitá v meteorologii mají, je možnost real-time zpracování.

V současné době se využívá několik multidimenzionálních formátů (NetCDF, HDF, GRIB), které jsou pro meteorologii velmi vhodné. Tyto datové formáty jsou samo

popisující (čtení a analýza dat pomocí vhodného softwaru bez nutnosti znalosti datové struktury) a přenositelné. Data však lze popsat pomocí metadatových souborů (popisné soubor, které obsahují např. informace o jednotkách, v jakých data jsou). Rozdíl mezi formáty je ten, že netCDF, HDF jsou souborové formáty kdežto GRIB je zápisový formát. Multidimenzionálními daty (konkrétně netCDF) se zabýval také Váša (Váša, 2012).

3.3.1 NetCDF (Network Common Data Form)

Tento otevřený datový formát byl vyvinut Unidata (součást University Corporation for Atmospheric Research, UCAR), který spadá pod OGC standard [44] a slouží pro ukládání multidimenzionálních dat. Je volně šiřitelnou kolekcí knihoven (C, Fortran, C++, Java aj.) pro přístup k datům. Jak již bylo výše zmíněno, datový formát NetCDF je samo popisný. To znamená, že obsahuje hlavičku, ve které jsou potřebné údaje pro čtení dat (Rew, 2011).

Další vlastností formátu je jeho škálovatelnost (účinný přístup jednotlivě k malým částem velkých datasetů), možnost sdílení (jeden uživatel data zapisuje, ostatní mohou číst, existuje i verze kdy zapisuje více uživatelů), platformní nezávislost, možnost archivace (lze číst nové i staré verze) a možnost připojení dalších dat (pouze u správně strukturovaných NetCDF) bez nutnosti kopírování celého datasetu. Nyní existují čtyři varianty formátu: klasický, 64bitový offset, netCDF-4 a netCDF-4 klasický (Unidata, 2015).

- Klasický formát představuje původní a nejpoužívanější formát, ve kterém jsou netCDF data ukládána (vznikl mezi lety 1989 až 2004), někdy označovaný jako netCDF-3. Formát neumožňuje kompresi, proměnou ve formátu string nebo paralelní zpracování (OGC, 2015).
- 64-bit offset formát (2004) je velmi podobný klasickému formátu, který umožňuje přístup k větším datasetům. Pro práci s 64-bitovým formátem není nutné použití 64 bitové platformy operačního systému. Maximální velikost souboru je omezena na 4 GB (Raw, Hartnett, Heimbigner, Davis, Caron, 2009).
- netCDF-4 formát byl vytvořen jako podpora pro kompresi proměnných, neomezenou možnost dimenzí, více komplexní datové typy a lepší provedení navrstvením vylepšeného netCDF přístupového prostředí na vrchol HDF5 formátu. Velikost souboru zde není nijak omezena (Unidata, 2015).
- netCDF-4 klasický formát byl přidán z důvodu potřeby uživatelů, kteří potřebují výhody výkonu nového formátu bez složitosti nového programového prostředí nebo vylepšeného datového modelu (Shea, 2015).

Data se skládají z proměnných, atributů a dimenzí. Proměnná nese datové hodnoty a obsahuje: jméno, tvar, typ, atributy a hodnoty. Navíc lze proměnnou propojit s atributy (ty lze editovat i po vytvoření proměnné).

Proměnná, která má stejný název jako dimenze je nazývána tzv. souřadnicovou proměnnou definující danou dimenzi pomocí souřadnic (zeměpisná délka, šířka, nadmořská výška a čas). Všechny názvy proměnných musejí být unikátní. Dimenze specifikují souřadnicový systém a tvar proměnné. Využívá se pro určení fyzické dimenze či popisu jiných veličin. Dimenze může být v netCDF neomezená (proměnná může narůstat do jakékoliv velikosti dané dimenze). Atributy nesou informace o proměnných nebo celém datasetu (metadata). Atribut není multidimenzionální (na rozdíl od proměnné), může obsahovat pouze žádnou, jedno nebo více hodnot. Způsob pojmenování atributů je standardizován. Díky tomu, že je formát volně šiřitelný

a dokáže zpracovávat velké objemy dat, je používán na celém světě. Využívají jej např. NOAA, EUMETSAT, GOES-R, NASA aj. (Unidata, 2015). Využívaná koncovka pro netCDF data je .nc (do roku 1994 to bylo .cdf, ale kvůli NASA CDF rozšíření tak bylo změněno).

3.3.2 HDF (Hierarchical Data Format)

Jedná se o open-source formát využívaný pro ukládání velkého množství numerických dat vyvinutý NCSA (National Center for Supercomputing Applications). V současné době je spravován HDF Group (HDF Group, 2015).

HDF podporuje více datových typů, např. specifické multidimenzionální data, tabulky, textový popis, některé typy rastrů či binární data. Stejně jako netCDF je HDF také souborem knihoven, platformě nezávislý, rozšiřitelný a škálovatelný (umožňuje tedy přístup k jednotlivým částem souboru bez nutnosti prohledání celého balíčku). HDF povoluje hierarchické zobrazení dat v přirozené podobě (na rozdíl od relačních databází). Podporuje tak n-dimenzionální datasety, kde každý element může být samostatným komplexním objektem. Dokáže zpracovávat velké množství datových modelů, kde každý model definuje specifický sjednocený datový typ a poskytuje API pro čtení, zápis a organizaci dat daného typu. Formát je flexibilní, umožňuje spojovat různé objekty dohromady do jednoho souboru a přistupovat k nim jednotlivě či skupinově. Formát HDF lze konvertovat do netCDF a naopak (nutné přejmenování knihoven z důvodu stejného pojmenování). Existují dvě verze formátu a to HDF4 a HDF5 (jsou velmi rozdílné a vzájemně nekompatibilní). Oba jsou standardem pro NASA EOS (Earth Observing System). Koncovka formátu je .hdf (HDF Group, 2015).

- HDF4 (aktuální vydání je 4.2.11) je starší formát, který se přes svá mnohá omezení stále velmi využívá. Datové soubory nesmí být větší než 2 GB a nesmí obsahovat více než 20000 objektů (tento limit je většinou ještě nižší). Formát má minimální paralelní I/O podporu, podporuje pouze 1D datové typy a 1 neomezenou dimenzi aj. (HDF Group, 2015).
- HDF5 je novější formát v aktuálním vydání HDF-1.8.14, který se snaží odstranit limity předchozí verze. Nová verze nemá žádné limity ve velikosti souboru (data mohou být až ve velikosti TB) a podporuje plnou hierarchickou strukturu. Používá flexibilní datový model, podporuje širokou kolekci datových typů, poskytuje jednoduché mechanismy pro kompresi, podporují I/O na paralelních systémech a je celkově více výkonným formátem než HDF4. HDF5 je stále ve vývoji (HDF Group, 2015).
- HDF-EOS je speciální formát, který je využíván pro uložení NASA EOS datových produktů (satelity Terra, Aqua a Aura). Formát využívá dvě knihovny HDF-EOS2 (založená na HDF4) a HDF-EOS5 (z HDF5). Definuje tři přídavné datové typy založené na HDF objektech: grid, bod a swath. Tyto typy umožňují obsah dat promítnout do zeměpisné šířky, délky a času (NSIDC, 2015).

3.3.3 GRIB (General Regularly-distributed Information in Binary Form)

Binární formát dat, který slouží k ukládání meteorologických dat, převážně výstupy numerického předpovědního modelu (NWP). Byl vyvinut v roce 1985 na základě zasedání WMO a CBS (Commission for Basic System). Nyní je standardem WMO. Důvodem jeho vytvoření byl požadavek na datový formát, který dokáže rychlý přenos

objemných dat (po zabalení více kompaktní než bulletiny) a může sloužit jako datové uložení. Existují dvě verze, GRIB-1 (originální verze) a GRIB-2 (nová verze). Jako předchozí formáty jsou oba typy GRIB samo popisné (obsahují hlavičku, která popisuje daný soubor). Jednotlivé záznamy mohou být sjednoceny do jednoho, pouze pokud je dodrženo správné pořadí. GRIB formáty jsou rozdělené do několika částí (GRIB1 má šest z nichž dvě jsou nepovinné a GRIB2 má devět a jedna je nepovinná). Používaná koncovka formátu je .grb (WMO, 2015).

- GRIB1 je většinou složen z kolekce záznamů, kde každý obsahuje 2D (zeměpisná šířka a délka) gridovaná data konkrétního času a vertikální úrovně. 4D GRIB je pak kolekcí 2D záznamů, které mohou narůstat v čase a vertikální úrovni. Formát je kompatibilní s GRIB2. GRIB1 povoluje reprezentaci pouze jediného pole v zprávě. Počet záznamů je omezen na 256 (z toho 0 – 127 jsou pro souřadnice, 128 – 254 jsou pro daný záznam a 255 je pro chybějící parametr) (WMO, 2003).
- GRIB2 má komplexnější soustavu popisných hlaviček pro metadata a umožňuje kompresi dat. GRIB2 může obsahovat ensemble informace, které vytváří 5D datovou sadu či mohou kódovat dlouhé předpovědi aj. Struktura je opakovatelná (lze zobrazit více polí) a více objektově orientovaná než u GRIB1. Počet záznamů je 65536. Jednotlivé části obou verzí GRIB formátů (tučně jsou znázorněny nepovinné části) (WMO, 2003), (Shea, 2015).

3.3.4 Další datové typy

Existují i další datové formáty, které jsou schopny ukládat meteorologická data než výše zmíněné. Mezi tyto typy lze zařadit formáty pro ukládání radarových dat (nejčastěji se používají v zabaleném formátu .z nebo jako surová .raw data) nebo speciální číselné (kódové) typy pro staniční záznamy.

Nejčastějšími typy jsou: SYNOP, METAR, TEMP, BUOY, SHIP a mnoho dalších. Uvedené typy jsou ukládány jako textové soubory, kde každý typ má vlastní způsob dekódování. Tyto kódy jsou většinou znázorněny přímo v mapě dle zavedeného systému symbolů (Dobesch, Dumolard, Dyras, 2013).

- SYNOP obsahuje synoptické záznamy z povrchové observační stanice (tvořeny automaticky nebo manuálně nejčastěji v intervalu šesti hodin);
- METAR slouží nejčastěji pro podporu letištního provozu (každou hodinu, na frekventovaných letištích každou půl hodinu a podle situace může být vydána speciální zpráva SPECI) nebo pro podporu tvorby předpovědi;
- TEMP je alfanumerický kód používaný pro upper-air zprávy (vyšší vrstvy atmosféry) pomocí meteorologických balónů vždy v 00 a 12 hodin (někdy i více);
- BUOY zprávy vysílány ze zařízení umístěných na bójích;
- SHIP zpráva povrchového pozorování z mořské stanice.

Ukázka kódu SYNOP ze stanice Ostrava-Mošnov, 28.4.2015 (Avimet, 2015):

```
11782 21456 83304 10044 20027 39867 40176 51043 76366 885//  
333 60025 85712 88620  
555 389//
```

Každé číslo je specifickým údajem zprávy, podle schématu (Rwic.und.edu, 2015):

```
AAAAA BCDEE FGGHH 1IJJJ 2KLLL 3MMMM 4NNNN 5OPPP 6QQQR 7SSSS  
8TUVW ###
```

11782 je identifikační číslo stanice, **21456**: první pozice označuje zahrnutí nebo vynechání dat (hodnota 2 znamená, že naměřená data jsou pouze pro skupinu 3), druhá pozice indikuje typ stanice (číslo 1 značí obyvatelná), třetí pozice je pro nejnižší viditelnou základnu mraků (hodnota 4 představuje výšku 300 – 600 metrů), pátá a poslední pozice společně určuje horizontální viditelnost na povrchu (hodnota 56 znamená viditelnost 6 km), **83304**: první je pokryv oblohy mraky (maximum je 9), druhá a třetí je pro směr odkud vane vítr (33 znamená 330°) a poslední dvě hodnoty označují rychlost větru v metrech za sekundu. // čárky znamenají chybějící údaje.

3.4 Zpracování meteorologických dat

Samotná naměřená data nemusí automaticky dávat žádnou informační hodnotu. Jsou to tzv. surová data (naměřené hodnoty). Jak již bylo výše zmíněno, JPSS satelity vygenerují každodenně 60 GB dat, které je však nutné upravit. Jejich zpracováním se pak objem navýší na přibližně 5,4 TB. Tento nárůst objemu je důsledkem vyhodnocení naměřených dat a jejich transformace do informací.

Existuje mnoho metod a způsobů jak meteorologická data zpracovat, primárně však vždy záleží na konkrétním typu dat. Data ze synoptických stanic se ukládají do textové podoby a je potřebné jejich dekódování, které je znázorněno v předchozí podkapitole. Samotné dekódování dat však nestačí, neboť stanice nepokrývají celé území a tak musejí být použity interpolační metody (určení hodnot v místech, kde se originální data nenacházejí). Interpolací pak vznikají gridy o určité velikosti (záleží pro jak velké území se interpolace provádí). Velice často se využívají porovnání s historickými daty, modely a různé analýzy. Konkrétním příkladem interpolace je objektivní analýza, která je popsána v podkapitole 3.6 a vyhodnocena v 4.8.1.

Hlavním požadavkem na zpracování meteorologických dat je rychlost. Jelikož jsou meteorologické jevy přímo spjaté s časem, je důležité, aby data byla zpracovávána okamžitě. Díky tomu je pak možné vytvářet aktuální předpovědi nebo analyzovat aktuální situaci. Meteorologická data se však ke koncovým uživatelům dostávají většinou již zpracované, připravené k použití v daných formátech (zmiňovaných v předchozí podkapitole). Existuje mnoho systémů, které data přijímají, analyzují, zpracovávají, uloží a distribuují je uživatelům. Jedním z mnoha systémů je MADIS (Madis, 2015), který zpracovává (nejen) data vzniklá v rámci NOAA. Systém konvertuje přijatá data (včetně observačních) do běžného formátu s uniformními jednotkami a časovými známkami. Po zpracování jsou data distribuována pomocí např. THREDDS serverů (Unidata, 2015) využívající technologie OPeNDAP (open source framework pro přenos dat (OPeNDAP, 2015)), OGC WMS (OGC, 2015) aj.

3.4.1 Frameworky pro zpracování objemných meteorologických dat

Apache Hadoop

Je open source framework, který umožňuje rozdělit zpracování velkých datasetů mezi jednotlivými clustery, které využívají stejný model (Apache Hadoop, 2015). Výpočty mohou probíhat na jednom nebo více stroji (až 4000), kde každý z nich provádí výpočty a ukládá data. Knihovny jsou navrženy tak, aby byly schopné detekovat chyby v aplikační vrstvě a zabránily tak zastavení celého chodu procesu či zamezení ztrátě dat. Hadoop byl vytvořen Dougem Cuttingem. Mezi základní principy Hadoopu patří (White, 2012):

- Zpracování dat na velkém množství počítačů (není nutné speciálního hardwaru)
- MapReduce (původně představen Googlem v roce 2004, (Dean, Ghemawat, 2004)
- HDFS (Hadoop Distributed File System) je distribuovaný souborový systém pro uložení dat, který zabezpečuje ztráty dat pomocí redundance dat (data jsou uložena na více místech po celém clusteru).

MapReduce

Základem jsou dvě funkce *Map* a *Reduce* a framework *MapReduce* automaticky zajistí řízení distribuovaných serverů, rozdělení úloh, vyřízení komunikace a datových přenosů mezi jednotlivými uzly a zajištění redundance dat. Vstupním prvkem do výpočtů je set *key/value* (White, 2012).

Během *Map* fáze framework rozdělí vstupní data na velké množství malých částí a přiřadí každé části tzv. *map task* (úkol). Hadoop tak distribuje mnoho *map task* mezi jednotlivými nody v clusteru se kterými pracuje. Každý *map task* zpracuje *key/value* pár, který byl přiřazen dané části a vytvoří další *key/value* (klíč/hodnota) pár. Pro každý vstup *key/value* (K,V), *map task* spustí uživatelsky definovanou *map* funkci, která přemění vstupy do jiného páru *key/value* (K',V'). Framework poté třídí datovou sadu podle klíče a vytvoří matici K'V', kde jsou všechny hodnoty spojeny s daným klíčem dohromady. Podmínkou je rozdělení matice do stejného počtu částí jako je počet *Reduce* úloh (Apache Hadoop, 2015).

V *Reduce* fázi, každá *Reduce* úloha zpracuje danou část K',V' hodnot matice, která je k ní přiřazena. Poté uživatelsky definovaná *Reduce* funkce přemění matici do výsledných K,V párů. Následně Hadoop rozdělí *Reduce* úlohy mezi jednotlivé uzly clusteru a zajistí přiřazení příslušných částí dat ke správným *Reduce* úlohám.

Celý systém je tzv. *Fault-tolerant* což znamená, že pokud uzel (uzly) přestanou fungovat uprostřed procesu na výpočtu, úlohy, které jim byly přiřazeny, jsou re-distribuovány mezi ostatními uzly (Apache Hadoop, 2015).

Architektura MapReduce frameworku je založena na principu *master/slave*. Skládá se z single master server (hlavní server) nebo *JobTracker* a několika slave serverů nebo *TaskTrackerů*, jeden v každém uzlu clusteru. *JobTracker* slouží pro interakci mezi uživatelem a frameworkem. Uživatel tak předá *MapReduce* požadavek *JobTrackeru*, který jej zařadí a zpracuje v pořadí, v jakém jej přijal. *Jobtracker* také přiřazuje *MapReduce* úlohu *TaskTrackeru*, který práci provede na základě přijatých instrukcí a zajišťuje také přenos dat mezi jednotlivými fázemi. *MapReduce* framework také dokáže přeřadit jednotlivé úkoly z pomalejších uzlů na jiné, které jsou rychlejší nebo svoji práci již dokončily. *MapReduce* zpracovává primárně Java příkazy, ale je schopen využít i jiné jazyky, např. C, C++, PHP, Python nebo Pearl (Olson, 2010), (Apache Hadoop, 2015).

HDFS

Jedná se o souborový systém velmi odolný proti vzniku chyb a inspirovaný Google souborovým systémem, který je navržen pro ukládání velkých souborů na jednom a více počítačích v clusteru. Při zpracování jsou data rozdělena do více malých souborů (*MapReduce*) a vzniklé části jsou uloženy do více bloků (většinou 3). HDFS je složen z *NameNode* a *DataNode*.

NameNode lze označit za kontrolora (manažera) celého procesu neboť celou práci řídí. Také ukládá aktuální stav celého systému (jména bloků, kolik bloků je obsazeno atd.),

kdy tyto informace může využít při obnovení chodu systémů z důvodu jeho pádu. Pokud je *NameNode* zastaven (obsahuje chybu), celý cluster se stává nefunkčním. HDFS však obsahuje tzv. *Secondary NameNode*, který je přesnou kopií hlavního *NameNode*. Díky němu tak může systém okamžitě fungovat i přes chybu hlavního uzlu (Apache Hadoop, 2015).

DataNode komunikuje s klientem, vykonává práci, ukládá data a posílá každé 3 sekundy všechny informace (tzv. *Heartbeat*). Na základě těchto informací, *NameNode* ví, že je funkční. Pokud *DataNode* nevyšle signál do 10 minut, *NameNode* jej považuje za nefunkční a provede jeho replikaci (Olson, 2010).

Kromě *MapReduce* a HDFS existují také další nástroje pro zpracování dat, Hive (podporuje dotazování pomocí jazyka SQL, tzv. HQL) (Apache Hive, 2015), Pig (jazyk určen pro tvorbu analýz, programy převedeny do série *MapReduce* úloh (Apache Pig, 2015)), Hbase (sloupcově orientovaný databázový systém fungující nad HDFS pro velké tabulky, až biliony řádků (Apache HBase, 2015)) aj, pro řízení dat slouží Zookeeper, Oozie.

Díky tomu, že je Hadoop open source, existuje velká řada jeho derivátů. Nově vzniklé projekty většinou obsahují kompletně připravené balíčky včetně přídatných funkcí, které byly potřebné pro konkrétní řešení v rámci dané firmy. Mezi zástupce velkých firem, které Hadoop využívají, patří IBM, Hortonworks, Cloudera, Amazon, Google, Yahoo, Facebook, Twitter, NASA a MapReduce (Duffy, Schnase, Thompson, Freeman, Clune, 2015), (Hadoop Summit, 2013), Esri aj.

Díky vlastnostem Hadoopu je jeho využití velmi široké. Existují také více specializované projekty na určité typy dat, např. SciHadoop, který umožňuje práci s netCDF daty nebo projekt společnosti Esri s názvem GIS Tools For Hadoop. (Esri Github, 2015).

SciHadoop

Je plugin, který podporuje logické dotazy nad gridovými daty. Návrháři SciHadoop se snažili zredukovat na minimum datové přenosy, čtení vzdálených dat a nepotřebného čtení souboru (díky tomu, že jsou netCDF data velmi strukturovaná, nemusí Hadoop prohledávat celé soubory a filtrovat potřebná data). SciHadoop zatím podporuje pouze čtení souborů kvůli limitaci HDFS databáze. Rozšíření o možnost zápisu je předmětem další práce týmu sciHadoop (Buck, Watkins, Lefevre, Ionnadio, Maltzahn, Polyzotis, Brandt, 2011).

Integrace netCDF byla umožněna kvůli úpravě netCDF Java knihoven a vytvoření přídatného softwaru (netCDF je hodně spojen s POSIX rozhraním, kdežto HDFS jej nepodporuje) a pomocného API. Testování sciHadoop potvrdilo funkčnost pluginu a díky určitým redukcím datových přenosů byl snížen objem čtených dat ze 132 GB na 105 GB s časovou úsporou 17 minut. Autoři také zmiňují budoucí implementaci HDF5 formátu a další vylepšení zpracování (Buck, Watkins, Lefevre, Ionnadio, Maltzahn, Polyzotis, Brandt, 2011).

3.5 Vizualizace meteorologických dat

Velmi důležitým krokem pro získání správných informací je využití vhodného způsobu vizualizace dat. Z tohoto pohledu jsou možnosti vizualizace meteorologických dat velmi široké. Záleží na konkrétním typu dat (staniční data, radarová data), požadavku na zobrazení a zobrazovacím médiu. Možnosti vizualizace se navíc neustále

vyvíjí v návaznosti na dostupné technologie. Doba, kdy byla data zobrazována pouze v tištěné podobě (2D mapy, grafy, tabulky) je již téměř minulostí. To však neznamená, že se tento způsob dodnes nevyužívá (synoptikové dodnes mapy kreslí z důvodu jejich praktických zkušeností a vědomostí).

Meteorologická data jsou velmi specifická a při jejich správné interpretaci je možné odhalit nové doposud nezjištěné souvislosti. V dnešní době také vznikají zcela nové způsoby vizualizace kvůli vývoji nových technologiím (interaktivní mapy). Meteorologická data jsou multidimenzionální a jsou promítnuta do určitého prostoru (X,Y,Z), kde znázorňují dané veličiny (teplota, tlak, směr větru aj.) v určitém čase.

Díky uvedeným vlastnostem je nejčastějším způsobem vizualizace v podobě mapového výstupu. Může jít o jednoduchou mapu, která zobrazuje pouze jeden prvek (teplota), mapu kombinovanou zobrazující více prvků (více datových vrstev), 3D mapu (např. zobrazení objemu tornáda), časovou řadu map (statické mapy různého času), animovanou mapu (zobrazení daného jevu v určitém časovém období) nebo interaktivní mapu (uživatel může vybírat vrstvy, pohybovat s mapou, měnit zobrazení aj.). Součástí meteorologických map bývají velmi často také různé grafy a profily. Může jít o klasické zobrazení dané hodnoty na vybraném místě nebo o speciální typy, např. Hovmollerův diagram (zobrazující většinou na jedné ose čas a na druhé zeměpisné souřadnice (Hovmoller, 1949). Díky animačním možnostem lze lépe pochopit vývoj určitého jevu (využití historických map). Vznikají tak speciální mapy, kde jsou znázorněny např. vývoj teploty, pohyb větru v určitém čase. Časová složka ovšem není jedinou, kterou lze animovat. Animovat lze například teplotu v různých výškách (lze provádět i real-time animace).

Meteorologické systémy často okamžitě zpracovávají naměřená data a předávají je dál uživatelům v podobě real-time zobrazení. Nejčastěji se tento způsob využívá pro zobrazení radarových dat, které jsou aktualizovány v určitém intervalu (většinou minuty). Uvedené způsoby vizualizace lze kombinovat a vytvářet specifikované nástroje (data lze často kombinovat s Google Earth).

Správná interpretace výsledků také závisí na provedení. Bez správné barevné legendy mohou být některé informace přehlédnuté nebo špatně pochopené. Aby se zamezilo uvedeným problémům, vznikají specifické legendy pro konkrétní typy dat a jejich využití. Kvůli různorodosti meteorologických dat, je tak vždy nutné uvážení jaká data jsou k dispozici a jakým způsobem je možné jejich zobrazení. Správným zobrazením včetně vývoje nových metod a nástrojů se zabývá velká řada vědeckých pracovníků.

Vizualizace dat slouží nejen odborníkům, ale také veřejnosti. Nutnost propagace vědy lze demonstrovat na příkladu NASA, která se snaží upoutat širokou veřejnost vědeckým výzkumem. Pro tyto propagační účely vytvořili Scientific Visualization Studio (vědecké vizualizační studio (NASA, 2015)), které má za cíl zlepšit a zatraktivnit zobrazení vědeckých (tedy i meteorologických) dat a jejich výstupů. Sanyal, Zhang a Dyer, 2010 ve svém výzkumu popisují možnosti vizualizačního nástroje Noodles, který slouží je využíván pro správné zobrazení ensemble předpovědí. Vizualizací meteorologických dat se také zabývali na Katedře Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Konkrétně v magisterského práci *3D vizualizace meteorologické situace pro potřeby sportovního letectví*, ve které autor vytvořil webovou aplikaci s podrobným 3D obrazem vzdušného prostoru (Válek, 2010). Jelikož jsou meteorologická data velmi specifická, pro zpracování a vizualizaci jsou vyžadovány speciální softwary, které tuto práci umožňují. Možnostem zpracování a vizualizace meteorologických dat je věnována kapitola 4.

3.6 Objektivní analýza (OA)

Důležitou metodou zpracování a vizualizaci meteorologických dat představuje objektivní analýza, která určuje způsob interpolace dat. Podle (Škoda, 1975) je OA založena na požadavku automatického výpočtu hodnot výšek, resp. jiných meteorologických prvků v libovolné izobarické hladině v síti uzlových bodů a to na základě pozorování aerologických stanic rozmístěných nepravidelně po zemském povrchu. Kvalita OA se posuzuje podle velikosti rozdílů mezi vypočteným polem a údaji naměřené na stanicích. Na základě zjištěných rozdílů se postupně upřeshňují jednotlivé metody či parametry analýzy. Škoda dále říká, že základem OA metodou optimální interpolace je metoda mnohonásobné lineární regrese. Uvádí také možné metody pro zlepšení výpočtu OA: zjištění minimálního počtu stanic nutných k výpočtu OA, upřeshnění výpočtu pomocí iterací, pomocí řešením soustavy, zvětšením hustoty uzlových bodů a upřeshnění OA geopotenciálních výšek větrem.

Existuje více typů OA, např.: Barnes, Akima, Conpas metody. Všechny tři metody jsou popsány, vyhodnoceny a upraveny v podkapitole 4.8.1, která se věnuje vyhodnocení objektivních analýz.

4 TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ

Následující kapitola je věnována vybraným software, které dokáží vizualizovat a zpracovávat (nejen) meteorologická data. Vybrané softwary jsou zástupci jak open-source, tak komerčních produktů. Vzhledem k velkému množství dostupných meteorologických dat a možnostem vizualizace je stěžejní použití správného softwaru, který dokáže odhalit nebo vypočítat nové informace.

4.1 GIS Tools For Hadoop

Jedná se o open source framework a API vzniklé na základě propojení Hadoop frameworku s technologií Esri. Nástroj umožňuje propojení ArcGIS platformy a Hadoop pro práci s prostorovými big daty a umožňuje vytváření specifických prostorových aplikací pro Hadoop. Zpracování probíhá v prostředí ArcGIS geoprocessingových nástrojů (Esri Github, 2015).

V současné době projekt podporuje pouze jednoduchá vektorová data a základní analytické operace. Projekt a jeho části včetně vývojářských částí jsou umístěny na GitHub.

Nástroj GIS Tools for Hadoop je složen ze tří projektů (Esri Github, 2015):

- ESRI Geometry API for Java – je základním prvkem, který se skládá knihoven obsahujících geometrické objekty (bod, linie, polygon), prostorové operace (buffer) a prostorové indexování. Při propojení knihoven (JAR) je možné vytvoření vlastních MapReduce aplikací využívající Javu pro dokončení analýz nad prostorovými daty.
- Spatial Framework for Hadoop – knihovny, které podporují uživatelsky vytvořené funkce, které rozšiřují Hive a jsou postaveny na ESRI Geometry API. Pokud jsou knihovny povoleny v Hive, je možné vytvářet dotazy pomocí HQL.
- Geoprocessing Tools for Hadoop – stažitelné nástroje, které jsou využity v ArcMap pomocí nichž lze propojit data mezi HDFS a ArcGIS (včetně konverze do (z) JSON. Nástroj tak může vizualizovat výsledky z Hadoop.
- GIS Tools For Hadoop – kompletní balíček nástrojů, který obsahuje předchozí tři včetně vzorových dat a ukázkových příkladů.

Pro hodnocení bylo (podle doporučení) využito virtuálního počítače (Oracle VirtualBox) s Hadoop prostředím Hortonworks Sandbox (verze 2.1) a pro zjednodušení Cygwin (využití openssh klíčů).

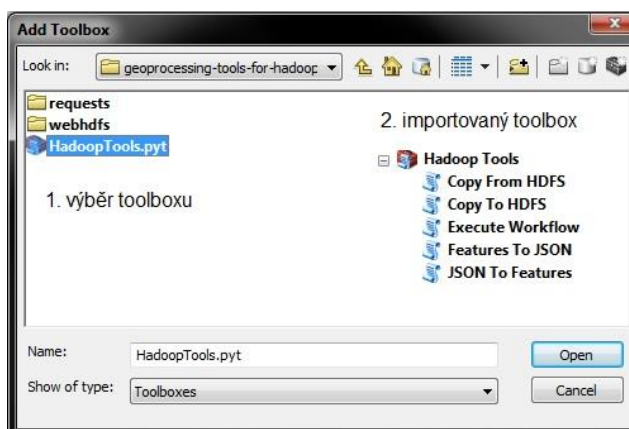
Balíček Hortonworks Sandbox 2.1 obsahoval veškeré nastavení Hadoop a tak bylo prvním krokem po instalaci přihlášení (ALT + F5) pomocí uživatelského jména root a hesla hadoop.

Druhým krokem bylo stažení nástrojů GIS Tools For Hadoop. Bylo vhodné vytvoření předem určeného adresáře, do kterého byl balíček stažen. Příkaz `mk-dir esri-git` pro vytvoření složky a `cd esri-git` pro její zvolení. Následné stažení balíčku bylo provedeno pomocí `git clone git@192.30.252.131:Esri/gis-tools-for-hadoop.git` VirtualBox neuměl rozeznat GitHub adresáře a bylo tedy nutné zadání IP adresy (např. Cygwin, `ping github.com`). Aby bylo možné ovládat Sandbox pomocí Cygwin, musely být vzájemně propojeny. V Cygwin příkaz `ssh root@127.0.0.1 -p 2222` s heslem hadoop. Pro využití nástrojů bylo vhodné přesunutí se do vytvořené složky `esri-git`.

Daným krokem mělo být vše hotové, ale při testování byl objeven problém v komunikaci mezi Sandbox, VirtualBox a Windows (OS na kterém bylo testováno). Problém byl odstraněn pomocí editace host souboru v C:\Windows\System32\drivers\etc přidáním 127.0.0.1 sandbox.hortonworks.com. Tím byl Hortonworks, GIS Tools For Hadoop a Cygwin správně nastaven a spojen a bylo umožněna práce s nástroji pro big data a GIS.

Import dat do HDFS

- Prvním důležitým krokem byl import GP Tools do ArcGIS Toolboxu (Obr. 4.1)



Obr. 4.1 GP Toolbox (ArcMap).

- Výběr dat, pro import (uměle vytvořená data 11 bodů s atributy geometry a type, vložená do prostorové geodatabáze)
- Pomocí ModelBuilderu byl proveden výběr dvou nástrojů Features to JSON a Copy to HDFS
- V Cygwin byl spuštěn HIVE a přidány potřebné knihovny

```
hive
add jar
    gis-tools-for-hadoop/samples/lib/esri-geometry-api.jar
    gis-tools-for-hadoop/samples/lib/spatial-sdk-
    hadoop.jar;
```

- Prvním nástrojem, který bylo třeba použít, byl Feature to JSON, kde byl vybrán importovaný prvek. Poté bylo nutné spuštění nástroje.
- Po vytvoření JSON souboru bylo nutné zjistit, jaké byly jeho atributy (otevření soubor a vyhledání „attributes“). Názvy atributů byly využity při vytvoření prázdné tabulky, kde byl uložen požadovaný soubor.
- Vytvoření prázdné tabulky bylo provedeno v terminálu pomocí:

```
DROP TABLE pokus;
CREATE EXTERNAL TABLE pokus(type int, geometry binary)
ROW FORMAT SERDE 'com.esri.hadoop.hive.serde.JsonSerde'
STORED AS INPUTFORMAT
'com.esri.json.hadoop.UnenclosedJsonInputFormat'
```

```

OUTPUTFORMAT
'org.apache.hadoop.hive.ql.io.HiveIgnoreKeyTextOutputFormat'
;

```

kde pokus byl uživatelem zvolený název souboru, do kterého byl uložen json. Atributy spolu s jejich typem byly definovány v prvním řádku tabulky.

- Pro zobrazení popisných informací (pro druhý nástroj Copy to HDFS) souboru sloužil příkaz `describe formatted pokus`;
- Potřebné informace do dalšího kroku (Location, Owner) jsou znázorněny červeným rámečkem na Obr. 4.2

```

root@sandbox:~/esri-git
> OUTPUTFORMAT 'org.apache.hadoop.hive.ql.io.HiveIgnoreKeyTextOutputFormat';
OK
Time taken: 1.138 seconds
hive> describe formatted pokus;
OK
# col_name          data_type          comment
type               int                from deserializer
geometry           binary             from deserializer
# Detailed Table Information
Database:          default
Owner:             root
CreateTime:       Sun May 03 08:40:12 PDT 2015
LastAccessTime:   UNKNOWN
Protect Mode:     None
Retention:        0
Location:         hdfs://sandbox.hortonworks.com:8020/apps/hive/warehouse/pokus
Table type:       EXTERNAL_TABLE
Table Parameters:
EXTERNAL          TRUE
transient_lastDdlTime 1430667612
# Storage Information
Serde Library:    com.esri.hadoop.hive.serde.JsonSerde
InputFormat:     com.esri.json.hadoop.UnenclosedJsonInputFormat
OutputFormat:    org.apache.hadoop.hive.ql.io.HiveIgnoreKeyTextOutputFormat
Compressed:      No
Num Buckets:    -1
Bucket Columns: []
Sort Columns:   []
Storage Desc Params:
  serialization.format 1
Time taken: 1.063 seconds, Fetched: 28 row(s)
hive> |

```

Obr. 4.2 Výpis informací importovaného souboru (Cygwin).

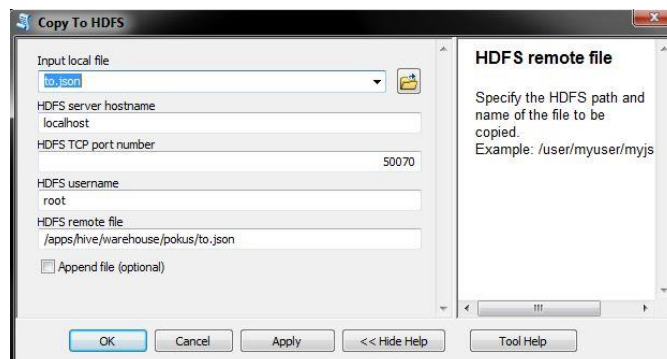
- Nástroj Copy to HDFS potřeboval nastavení čtyř parametrů pro svůj chod
- Důležité byly dvě položky, Owner a Location.

Location:

`hdfs://sandbox.hortonworks.com:8020/apps/hive/warehouse/pokus`

Kde `/apps/hive/warehouse/pokus` je odkaz na pozici souboru (pokus je název souboru) + přidání vstupního JSON. Sandbox by měl být název HDFS serveru, při použití VM byl však správně `localhost`.

Ukázka správně vyplněného nástroje zobrazuje Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Ukázka správně vyplněného nástroje Copy To HDFS (ArcMap).

Pokud vše proběhlo správně, nástroj lze spustit a data jsou převedena do HDFS.

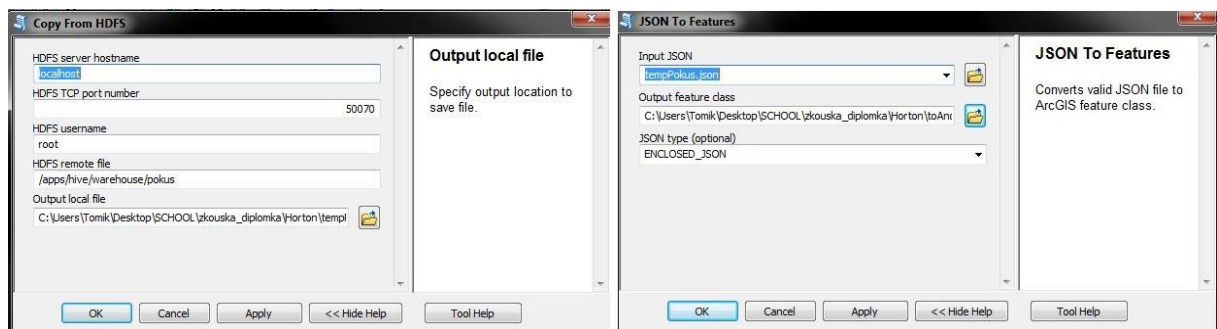
Import dat do ArcGIS

Cílem importu je vytvoření Hive dotazu, který je exportován a použit v ArcGIS. Při použití VirtualBoxu byly upozorovány určité problémy, které byly aktivně řešeny ESRI Hadoop týmem (tzn. problémy by se již neměly vyskytovat). Pro export dat z HDFS a následného importu do ArcGIS byl použit stejný dataset jako v předchozím případě (z ArcGIS do HDFS).

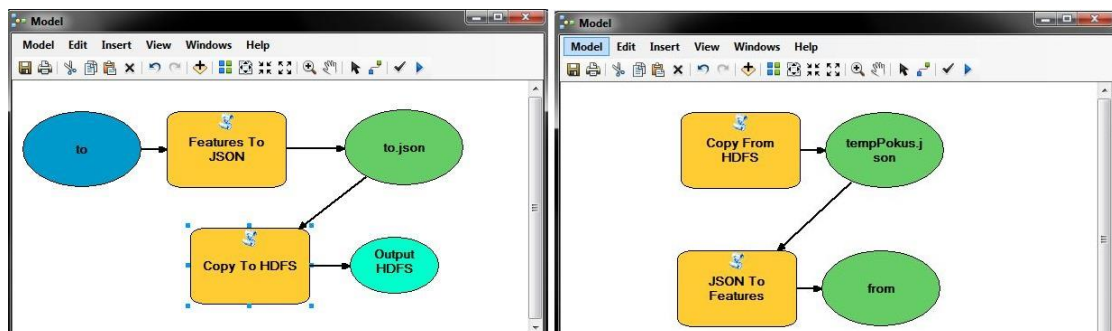
- 1) Prvním krokem, je spuštění Hive příkazu a přidáním funkce a zdrojové knihovny:

```
add jar
  gis-tools-for-hadoop/samples/lib/esri-geometry-api.jar
  gis-tools-for-hadoop/samples/lib/spatial-sdk-hadoop.jar;
create temporary function ST_Point as 'com.esri.hadoop.hive.ST_Point';
create temporary function ST_Contains as 'com.esri.hadoop.hive.ST_Contains';
create temporary function ST_Bin as 'com.esri.hadoop.hive.ST_Bin';
create temporary function ST_BinEnvelope as
'com.esri.hadoop.hive.ST_BinEnvelope';
```

- 2) Vložená data do HDFS se exportují stejným způsobem, jako byla importována, nástroje však budou opačné: Copy from HDFS a JSON to Feature. Obr. 4.4 je ukázka nastavení nástrojů. Obr. 4.5 zobrazuje výsledné modely pro import.



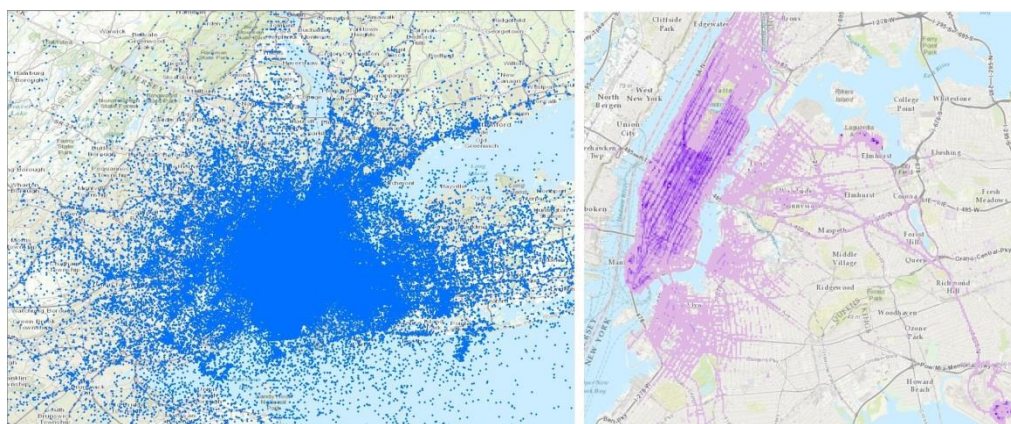
Obr. 4.4 Nastavení nástrojů Copy From HDFS a JSON To Feature (ArcMap).



Obr. 4.5 Vytvořené modely, vlevo import do HFDS, vpravo z HDFS (ArcMap).

Další příklady využití GIS Tools For Hadoop nebyly dokončeny z důvodů neznámých chyb, které byly během řešení práce konzultovány s Esri pracovníky. Příkladem

(Murphy, 2015) bylo zpracování a agregaci datové sady 2013 NYC Taxi data (volně dostupný dataset, obsahující všechny cesty taxi vozů v New Yorku v roce 2013, dataset přibližně obsahoval více než 170 milionů bodů, <http://www.andresmh.com/nyctaxitrips>). Pro zrychlení práce byl vybrán pouze jeden soubor o přibližné velikosti 1 GB (rozbalená velikost 2,3 GB). Princip agregace využitě v nástroji spočívá ve vytvoření čtvercové sítě uživatelsky definované velikosti, do kterých jsou jednotlivé body sjednoceny dle počtu (Obr. 4.6 zobrazuje původní data a agregovaná). Podobný postup by šel aplikovat také na meteorologická data v podobě bodové vrstvy.



Obr. 4.6 Vlevo ukázka vstupních surových dat a vpravo upravená sjednocená data (Murphy, 2015).

4.2 IDV (Unidata Integrated Data View)

Jedná se o framework, který slouží pro vizualizaci a analýzu geodat. IDV balíček obsahuje Java založené knihovny a aplikace a využívá ViSAD knihovnu (Java knihovna pro zobrazení a analýzy numerických dat) pro data a zobrazení modelů. Tento Framework byl vyvinut pod záštitou Unidata Program Center, která je součástí výzkumu na univerzitě Boulder, Colorado. Software je šířen volně pod GNU licenci (Unidata, 2015).

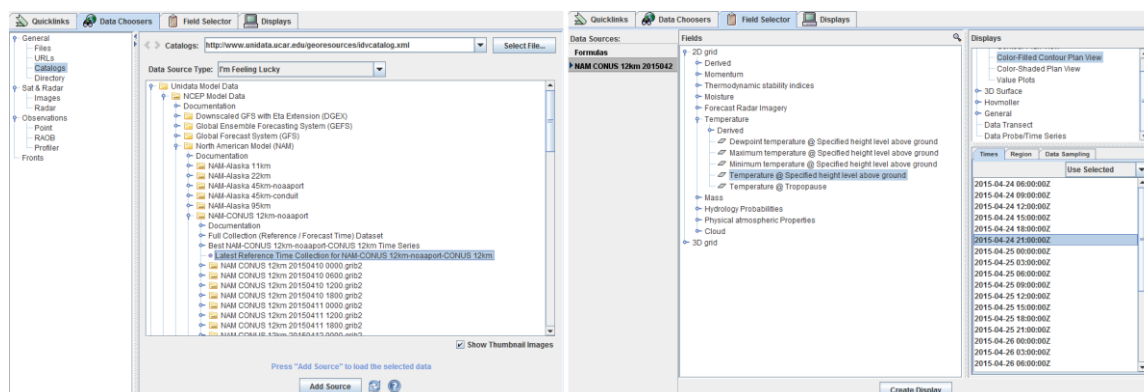
IDV je dostupné pro Windows, Mac a Linux. Pro každou platformu jsou dostupné vlastní instalační balíčky. Program lze instalovat čtyřmi způsoby.

- 1) Instalační soubor, který obsahuje veškeré knihovny, včetně Javy
- 2) Pomocí Java Web Start, kde je nutná předinstalace Javy v počítači
- 3) Manuální stažení knihoven
- 4) Stažení zdrojového kódu

IDV podporuje mnoho datových formátů (gridded data, satelitní snímky, radarová data, METAR/SYNOP/BUOY data, data z observačních balónů, GIS data apod.) Data lze importovat načtením z lokálního úložiště nebo použitím ADDE serverů, které poskytují real-time data (Unidata, 2015)

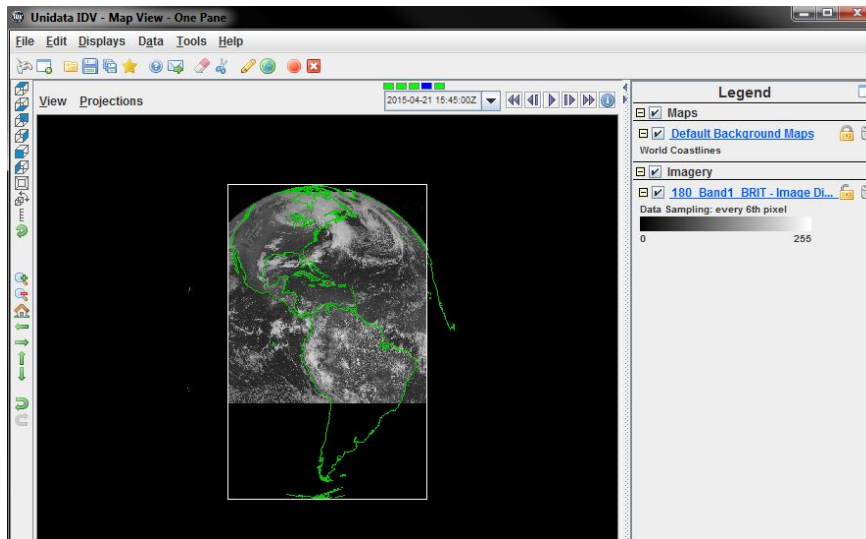
- Gridded data – netCDF, GRIB(1,2), Vis5D, GEMPAK
- Satelitní snímky – ADDE, McIDAS AREA
- Radarová data – level II, level III
- GIS data – Esri shapefile, db.
- Webové kamery a speciální formáty – ASCII bodová data, polohové XML, obrazové XML, meteorologické symboly (speciální znaky)

Samotné rozhraní softwaru je složeno ze dvou oken, hlavní (*Dashboard*, Obr. 4.7) a zobrazovací (*Map View*, Obr. 4.8). *Dashboard* slouží k výběru datových sad, nastavení parametrů pro zobrazení, zvolení typů zobrazení, projekce (je možná vlastní editace), nastavení času, volba rychlého nastavení a dalších.



Obr. 4.7 Dashboard, Výběr teploty v určité výšce ve 2D, datum 24.4.2015, čas 21:00 z datasetu NAM-CONUS 12 km (IDV).

MapView pak slouží k zobrazení dat zvolených pomocí *Dashboard*. Uživatel lze může nastavit legendu, kontrolu animace (časová distribuce dat), způsob vizualizace (2D,3D či měnit různé náhledy), zoom, pohyb po mapě a jiné. Primárně IDV nabízí pouze podkladové mapy celého světa, USA či Antarktidu (liniový obrys). Je zde však možnost vlastní editace a vytvoření nové podkladové mapy, např. pomocí importu shapefile. Kromě hranic území, lze v IDV vykreslit také topografie (bez volby interpolace, pouze barevná legenda a způsob vykreslení). Lze zobrazit více oken najednou.



Obr. 4.8 MapView (IDV).

Při volbě datových sad IDV přečte pouze jejich metadata, nikoliv hodnoty a parametry. Tyto hodnoty jsou načteny až při zvolení vizualizace. Veškeré vizualizace lze exportovat buď do obrazové podoby (JPEG, PNG, GIF atd.) nebo do video podoby (QuickTime).

Import dat - Dashboard

IDV nabízí několik způsobů jak importovat data (Unidata, 2015).

- 1) Lokálně z PC
- 2) Pomocí URL – samotná webová stránka nebo datový soubor, který lze zpracovat formou URL
- 3) Katalogovaná data – tato možnost zobrazuje data, která jsou umístěna na vzdálených serverech (nejčastěji TDS či OPeNDAP) a přístup k nim je umožněn přes WMS server. IDV nabízí defaultní katalog „idvcatalog.xml“, pomocí kterého lze připojit real-time modelová data, shapefile národních cest, hydrografie a sbírku užitečných webových mapových serverů. Tyto data lze prohlížet jak v absolutní časové podobě (konkrétní datum a čas) tak v relativní podobě (posledních 5 modelů). Pokud jsou použita relativní data (nejnovější model) a program je uložen a ukončen, po dalším otevření jsou znovu načtena aktuální data.
- 4) Satelitní data – při zvolení této možnosti se program připojuje na vzdálené ADDE servery. IDV má opět přednastaven list ADDE serverů, které jsou dostupné. Stejně jako v předchozí volbě importu dat, i zde je možnost absolutních a relativních časových řad.
- 5) NEXRAD Level III radarová data – nabízí 3 další možnosti odkud lze data importovat (ADDE servery, NEXRAD Level II/III lokální data nebo THREDDS datový server). Další nastavení, které je navíc oproti předcházejícím je volba stanice, pro kterou budou data zobrazena. Opět se zde nachází volba mezi relativními a absolutními časovými řadami.
- 6) NEXRAD Level II radarová data – zde je import pouze lokálních souborů, kdy je v některých případech nutné zvolení názvu stanice a její pozice.
- 7) Vzdálený přístup k radarovým datům – opět tři možnosti (ADDE server, NEXRAD Level II/III lokálně nebo THREDDS Data Server). Kromě Level II/III je zde možnost importu Terminal Doppler Weather Radar data (TDWR). Jako v předchozím případě je nutné vybrání požadované stanice a času.
- 8) Bodové observační data – METAR, SYNOP data dostupná pomocí ADDE serverů
- 9) RAOB Data (atmosférické balóny) – přístup buďto lokálně nebo pomocí ADDE serverů. IDV je schopné zpracovávat GEMPAK upper air data, pouze pokud je dostupná „gem“ extenze.
- 10) NOAA národní profilová data – dostupná pomocí ADDE serverů

Poté co jsou data naimportována, je lze znázornit (pouze textově) pomocí „*Field Selector*“. Zde je možný výběr konkrétních nahraných data, vrstvy a její způsob zobrazení či subset času/prostoru.

Kromě vizualizací, IDV nabízí také určité derivované parametry, např. teplota rosného bodu (pokud je k dispozici vrstva teploty a vlhkosti). Nově vypočítané parametry jsou nabízeny automaticky podle importovaných vstupních dat (na základě jejich názvu IDV automaticky vyhodnotí, co lze z dat vypočítat).

Kvůli častému použití stejných názvů IDV využívá aliasy pro datové zdroje. Pro výpočet nových parametrů však musejí zdrojové vrstvy pocházet z jediného zdrojového souboru. Kromě známých datových zdrojů IDV nabízí možnost tzv. „*formula data source*“. Tyto zdroje jsou uživatelsky vytvořené a často potřebují k vizualizaci další data.

Nastavení dat je pro každý datový zdroj individuální. Základní nastavení obsahuje změnu jména souboru a volbu automatické aktualizace dat (pokud byly importovány nejnovější datové sady). U bodových dat pak možnost zobrazení dat po určitém času, např. po 15 minutách obdržení dat apod.)

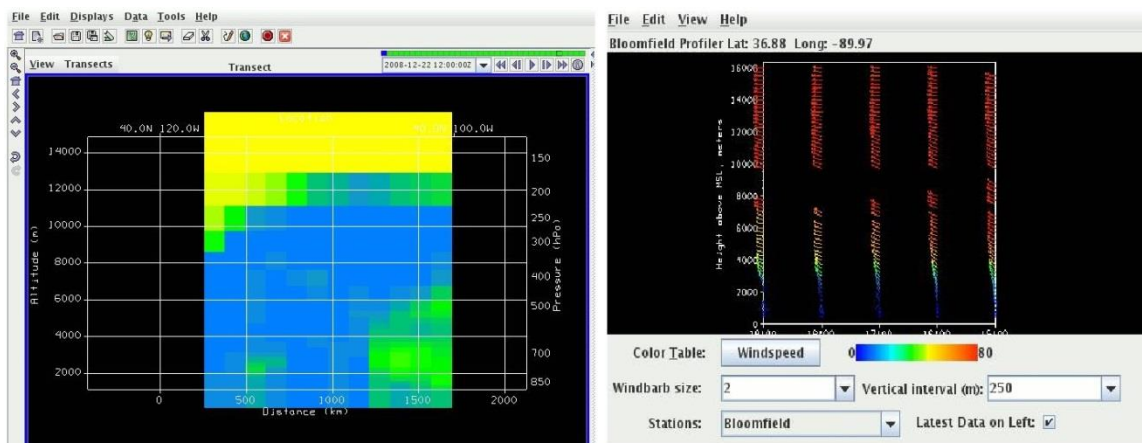
Map Window (Map View)

Slouží pro zobrazení dat, importovaných pomocí Dashboard. Map View obsahuje 3D pohled, legendu, ovládací panel, panel pro ovládání navigace a navigační panel. Lze vytvářet záložky pohledů, měnit pozadí, mapy, barvu legendy, layout, projekci atd. V jednom okně, lze zobrazit více datových zdrojů. IDV nabízí několik možností nahlížení na data:

- Nejlepší výhledy podle ortogonálního směru
- Alternativní 3D pohled (základní je paralelní projekce)
- Volba azimutu (od Severu ve směru hodinových ručiček do 360 stupňů) a sklonu.
- Vertikální rozsah mezi vrchní a spodní částí zobrazení
- Auto rotační pohled

Kromě již zmíněného nastavení lze volit např. poměr stran scény, osvětlení, upravování měřítka os. Důležitý prvek, který se nachází v okně *Map View* je *Time Animation*, díky kterému lze ovládat časové animace dat. V animačním widgetu lze nastavit rychlost animace, doba trvání snímku, které snímky budou animovány či vybrání vlastního časového rozmezí.

V *Map View* lze také vytvářet další 2D náhledy, které jsou otevřeny v samostatném okně. Patří mezi ně např. *Transect* (Obr. 4.9, vlevo), kdy levá osa zobrazuje nadmořskou výšku v metrech, pravá osa znázorňuje hodnoty tlaku (hPa) a horizontální osa vzdálenosti mezi jednotlivými řezy. Nastavení linií jde měnit pomocí nástroje umožňující kreslení (*Transect Drawing Control*).



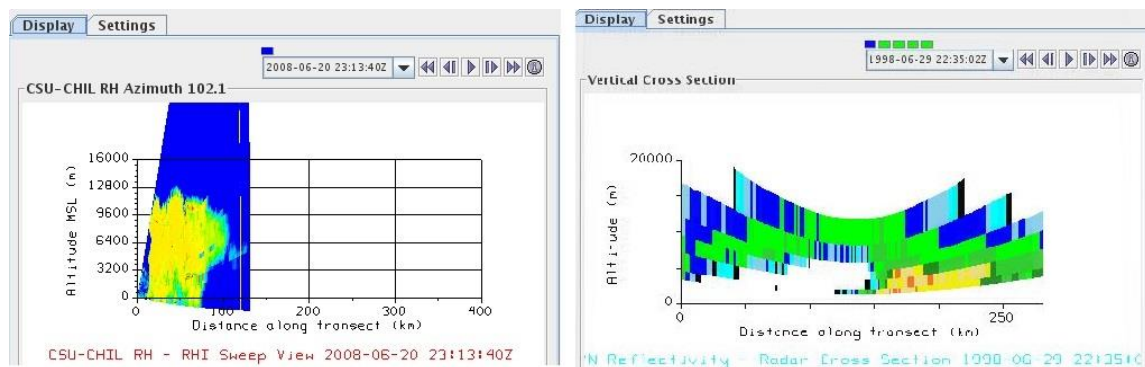
Obr. 4.9 Transect a profil čas/výška (IDV).

Další zajímavou možností, jak lze data prohlížet je možnost tzv. *Flythrough* (Příloha 4). Tato funkce nabízí přelet nad daty ve 3D hned dvěma způsoby. První volný přelet, kdy uživatel udává směr samostatně. Druhý způsob je nastavení bodů přeletu (tyto body lze importovat/exportovat).

Nastavení legendy je velmi rozsáhlé. Dají se měnit barvy, fonty, průhlednost, styl linií, zobrazení času atd. Veškeré nastavení lze uložit pro pozdější použití. IDV nabízí také vytvoření makra pro legendu (název, název datového zdroje nebo časovou známku). Pro gridovaná data IDV nabízí možnost zobrazení 3D isolinií (linie, která zobrazuje místa se stejnou hodnotou), výpočet objemu (celého zobrazení nebo jednotlivých bodů), časové sekce podle zeměpisné šířky/délky (Howmoller graf) nebo možných předpovědí (Field Selector – Display panel – Ensemble možnost).

Satelitní/radarová data

Pro tento typ dat je možné nastavení sekvence snímků, barvy zobrazení, převzorkování či pozici zobrazení. Kromě klasického zobrazení dat, IDV nabízí další možnosti pro radarová data. RHI (range-height indicator, Obr. 4.10, vlevo), která data vykresluje vertikálně pomocí cross-section. Tato možnost umožňuje 2D i 3D zobrazení pro Level II/III radarová data (u Level II lze navíc nastavit pozici či autorotaci ve 3D). Další ukázka vizualizace satelitních a radarových dat je vidět v Příloze 4.



Obr. 4.10 RHI (vlevo) a cross section (vpravo) (IDV).

Stejně jako u gridovaných dat, je i zde volba zobrazení objemu a isosurface. Dále je zde možnost radar cross-section (Obr. 4.10, vpravo), zobrazení dat podle soustředných kružnic, dle zadaného poloměru od středu nebo různých profilů (větrná data z NOAA národní sítě profilů).

V IDV lze vytvořit tři typy profilů. První je čas/výška nad stanicí (Obr. 4.9, vpravo). Druhý profil znázorňuje vítr v určité úrovni nad jednou nebo více stanicemi (3D). Poslední je kombinace předchozích, a tedy vítr ve všech úrovních nad jednou nebo více stanicemi (3D).

Datové sondy/časové série

Tento způsob vizualizace dokáže zobrazit časovou sérii grafů na dané lokaci. Kromě grafu je také zobrazena hodnota konkrétního animovaného kroku. Pozice sondy se vizualizuje také v mapě. IDV umožňuje export daného časového kroku (nebo všech časů) do formátu CSV.

Observační data (METAR, SYNOP, RAOB)

Lze vizualizovat bodová data podle zvoleného času, vykreslovat grafy daných stanic, zobrazit všechny stanice nebo vybrané. K dispozici jsou filtry, podle kterých lze nastavit zobrazovaná data (časový, prostorový filtr nebo filtrovat podle měřených hodnot).

Pro data ze stanic je navíc možnost vytvoření gridového pole pomocí **Barnesovy objektivní analýzy** (výsledek lze zobrazit jako vrstevnice, grafy či mapy). Nastavení Barnesovy OA lze provést podle několika parametrů: *Spacing*, *Grid Size*, *Passes*, *Search Radius* a *Gain*. Tyto parametry lze nastavit v *Dashboard – Field Selector* – zvolení požadované datové sady – *Grid Parameters*.

- *Spacing* – udává prostorové rozmístění a má tři další možnosti. První je automatické rozmístění (spočítáno podle hustoty stanic). Druhá možnost je nastavení stupňů (šířka, výška). Poslední je přímé nastavení gridových bodů v X,Y směru.

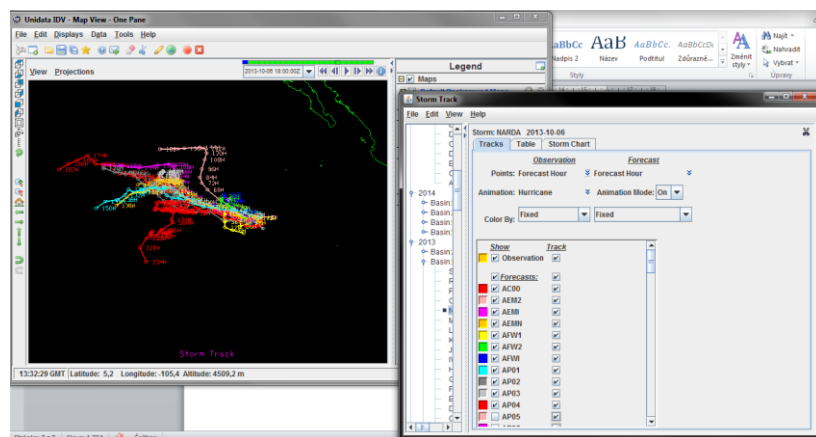
- *Grid size* – specifikuje velikost gridu, pokud nebyla v předchozím bodě zvolena možnost automatic.
- *Passes* – množství iterací nutných pro výpočet. Doporučená hodnota je pro každé použití jiná. Hodnotu 4 je vhodné použít, pokud jsou vypočítané hodnoty velmi důležité. 3 iterace se použijí pro ostatní pole a 2 pouze pokud je nutný rychlý přehled nad daty.
- *Search Radius* – udává váhu bodů, které se podílejí na výpočtu daného gridového bodu. Hodnota se udává v gridových jednotkách.
- *Gain* – faktor ovlivňující korekci výpočtů. Měl by být v rozmezí 0,2 – 1. Pokud je nastavena hodnota 0,2 tak by data měla být více přesná, kdežto pokud je použita vyšší hodnota, je výsledek více shlazený. Doporučená hodnota je 1 a tento parametr by se měl nastavovat po každé iteraci, kromě první.

Kromě výše uvedených parametrů, je možné zvolit tzv. First Guess Field. Pomocí parametru je vybrán model, který slouží jako první odhad analýzy (porovnání výsledků) (Unidata, 2015).

RAOB data (meteorologický balón)

Zobrazení pomocí hodografu (křivka, která znázorňuje hodnotu vektoru charakterizujícího pohyb hmotného bodu) nebo tzv. sounding display (způsob zobrazení RAOB dat).

V IDV je možnost různých kontrol. Může jít o kontroly lokací stanic, států, geografických jevů (program obsahuje seznam dostupných lokací, které lze aktualizovat) nebo specializovanou verzi, která obsahuje data z WorldWind Viewer projektu (světový vítr, NASA). Další zajímavé možnosti jsou: kontrola pohybu datových sad, např. loď. Výhodou je možnost nastavení sledování požadovaného času (např. 30 minut před aktuálním časem). Kontrolu tropických bouří (seznam dostupných bouří poskytuje ATCF (Automated Tropical Cyclone Forecasting System) a Shanghai Typhoon institut). Obr. 4.11 ukázka hurikán Narda, 2013 (vybrané předpovědi).



Obr. 4.11 Ukázka vybraných pozorování, hurikán Narda (IDV).

V IDV je také možné měřit vzdálenosti, azimut, směr dvou zvolených bodů, vytvářet řezy či kreslit nové prvky (bod, linie, polygon, text jak ve 2D tak 3D). U kreslení je pak možné zvolit pozici (X,Y / X,Y,Z / zeměpisná výška, šířka a nadm. výška) nebo čas.

Pro náročnější úkoly (nebo uživatele) je zde možnost psaní v Jythonu (implementovaný jazyk Python do Javy) a XML nebo tvorba Toolbaru či pluginů (další

barevné legendy, modely zobrazení, mapy atd.). Celkové nastavení IDV je velice detailní a uživatel může měnit téměř vše podle svých potřeb (vlastní layout, pozici legendy, barvy legendy, velikost písmen, styl linií, způsob pohybu v mapě, cache programu, maximální rozlišení zobrazených gridů apod.). IDV nabízí také možnost uložení „bundles“, které obsahují datové zdroje, mapy, zobrazení a další parametry daného nastavení. Uživatel si tak může uložit konkrétní nastavení celého programu a později ho znovu použít pomocí jednoduchého importu. V Příloze 5 jsou ukázky dalších možností vizualizace (SYNOP data, isosurface, teplota ve 2D a teplota s topografií).

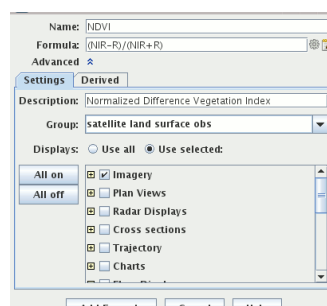
Analýzy

Kromě vizualizace dostupných datových zdrojů, nabízí program také možnost výpočtu analýz. To lze dosáhnout několika způsoby: pomocí formule (matematický vzorec), automatická derivace dat (seznam dostupných možností z importovaných dat), Jython Shell (příkazový řádek) a Jython knihovny.

Výpočet analýz pomocí formule se provádí následovně:

- 1) Definování formule pomocí názvu, popisu a matematického zápisu
- 2) Uložení formule
- 3) Výběr vizualizace dat
- 4) Výběr dat, na kterých má být formule aplikována

Jazyk, ve kterém je formule psána je Jython. Na Obr. 4.12 je ukázka editoru pro tvorbu formulí.



Obr. 4.12 Editor Formulí (IDV).

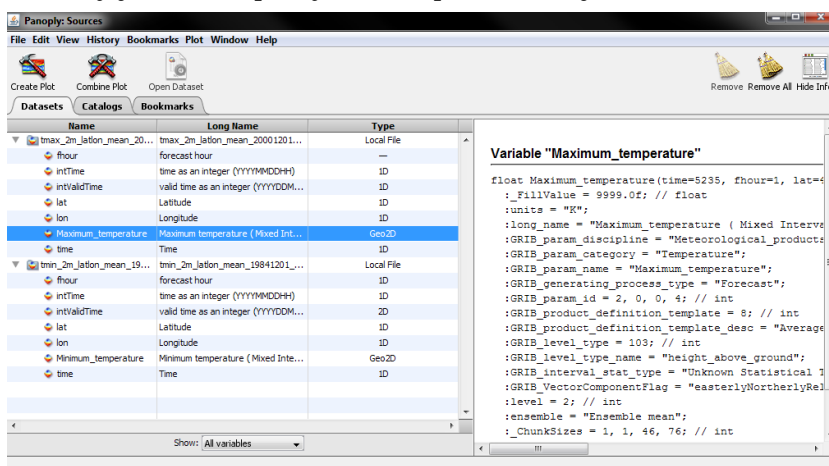
4.3 Panoply

Je open source Java aplikace (dostupná na stránkách NASA), která umožňuje vytváření grafů 2D geo-gridovaných dat (grafy mohou být uloženy jako PDF, PNG nebo GIF). Pro spuštění vyžaduje Panoply Java 7 nebo 8 Runtime Environment. Aplikace je dostupná pro Windows, Mac či Linux. Pro Windows je připraven zazipovaný balíček, který obsahuje pouze spouštěcí .EXE aplikaci a soubory zdrojového kódu programu (JAR). Spouštěcí soubor musí zůstat ve stejné složce spolu s JAR knihovnami, jinak je Panoply nefunkční. Nyní je aktuální verze 4.1.2.

Panoply podporuje tyto formáty dat: NetCDF, GEMPAK, GRIB, HDF, GRIB-1. Výběr datového zdroje je prvním krokem při spuštění programu. Data lze importovat buď z lokálního úložiště, nebo pomocí URL. Po stažení lze do Panoply importovat další barevné schémata (legendu nelze upravovat přímo v programu) a podkladové mapy (obrysy států, kontinentů).

Tato aplikace slouží pouze k vizualizaci dat, nenabízí žádné možnosti analýz. Po importu se data zobrazí textově ve formě metadat. Teprve pak je možný výběr konkrétního pole, které bude vizualizováno. Panoply dokáže zobrazit dvě datové sady

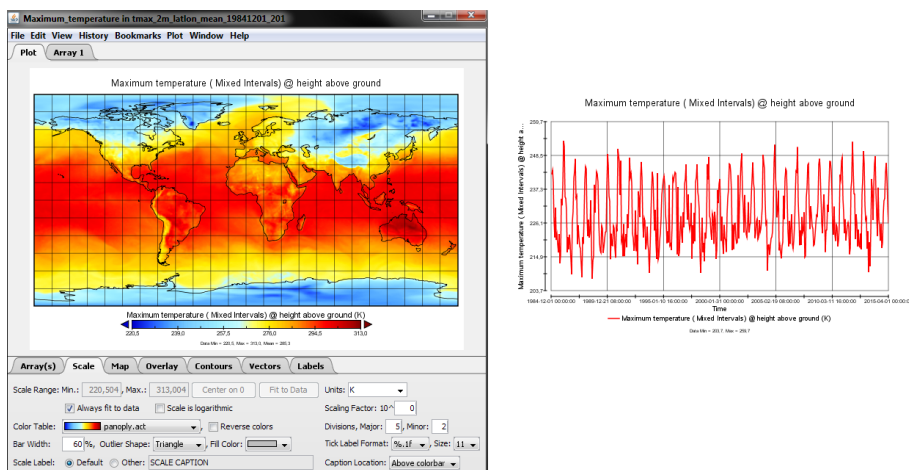
(Obr. 4.13, maximální a minimální teplota) v jednom náhledovém okně najednou. V levé části jsou zobrazeny jednotlivé prvky dat a v pravé části jsou metadata.



Obr. 4.13 Importovaná data maximální a minimální teploty (Panoply).

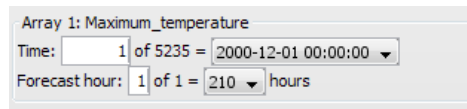
Pro zobrazení dat je nutné vybrání požadovaného pole. Po vybrání je nutné zvolit, způsob vizualizace prvku. Panoply nabízí tři možnosti. První je samotná mapa (pro správné zobrazení je třeba zvolit možnost Longitude-Latitude). Druhou možností je tvorba grafu, kde lze nastavit, co budou osy X a Y představovat (zeměpis. šířka, výška nebo čas). Poslední možnost představuje graf s jednou osou, na které se vykreslí data. Obr. 4.14 znázorňuje vykreslení maximální teploty formou mapy a formou grafu.

Veškeré nastavení lze nalézt na záložkách v okně vizualizací dat. Toto nastavení neovlivní způsob interpolace dat, upravuje pouze metodu vizualizace (graf/mapa), čas, měřítko (jeho velikost, barevnou legendu), typ zobrazení (lze vycentrovat konkrétním zadáním hodnot), podkladovou mapu, isolinie a jejich způsob vykreslení a popisky.



Obr. 4.14 Maximální teplota vizualizovaná formou mapy (vlevo) a grafu (vpravo) (Panoply).

V záložce Array, je možnost měnit časovou složku a hladinu (pokud ji data obsahují, např. tlak). Panoply však nenabízí přímou možnost animace, ale pouhý výběr ze seznamu dostupných časů (Obr. 4.15). Mapa se pak automaticky překreslí.



Obr. 4.15 Ovládání časové složky dat (Panoply).

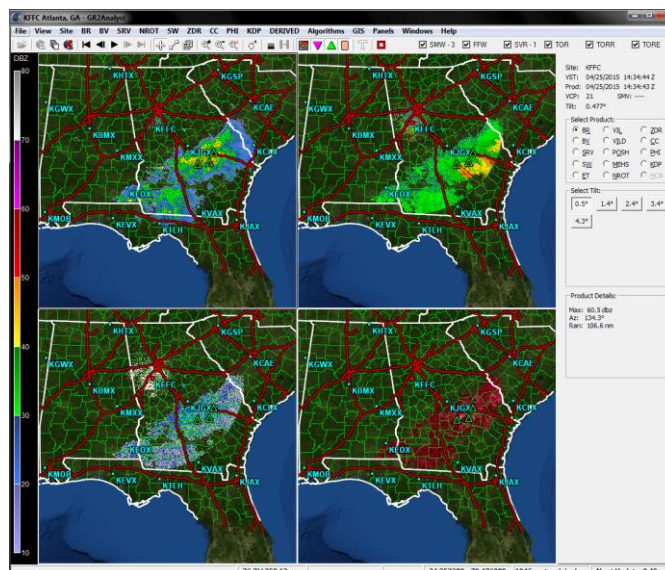
Pokud je použit nástroj pro kombinaci dat (lze kombinovat pouze dvě datové sady najednou), není možné měnit barevnou legendu u každého prvku samostatně. Zvlášť pro oba prvky lze měnit pouze datum, čas a hladinu dat. Příloha 6 je ukázka kombinace zonálního a poledníkového větru.

4.4 GR2Analyst Version 2

Program firmy Gibson Ridge Software je nabízen komerčně, nebo v trial verzi na 21 dní. Firma nabízí i další produkty, které se zabývají vizualizací meteorologických dat. Všechny jejich softwary jsou psány v jazyce C++ s použitím Windows API. Hlavní specializace firmy je na zpracování a vizualizaci radarových dat (GRLevelX, 2015).

Software GR2Analyst Version 2 je pokročilá aplikace pro vizualizaci Nexrad Level II/III radarových dat. Jeho hlavní síla spočívá v možnostech zpracovávat data s velkým rozlišením, duálně polarizovaná data, derivované produkty s vysokým rozlišením, řezy, objemy, živá nebo archivovaná radarová data, lokální bouřkové zprávy. Do softwaru lze importovat lokální radarová data, shapefile nebo real-time data daných radarů. Při prvním zapnutí je nutná volba zdroj real-time dat (Iowa feed, jiný feed, GR2 analyst nastavení a pozdější nastavení). Zdroj lze později změnit přímo v programu.

Program je určený pouze pro území USA a data z jiných států nelze ani importovat. Při spuštění je software automaticky nastaven na radar KFFC, Atlanta (lze změnit). Data jsou vždy vztažena k jednomu radaru. To platí, i když je aktivních více zobrazovacích oken (maximum jsou 4). Vektorová vrstva (cesty, hranice, názvy) je zobrazena vždy kolem zvoleného radaru (podle jeho dosahu). Program v sobě obsahuje databázi 157 radarů a možnost volby ze tří podkladových map prostřednictvím dostupných WMS služeb. Data se aktualizují každou 1 minutu. Na Obr. 4.16 lze vidět rozložení 4 oken, kde každé znázorňuje jiný produkt radaru KFFC a neúplnost vektorů na území Floridy.



Obr. 4.16 Vizualizace KFFC radarových dat (zleva doprava: BR, PHI, ZDR a KDP) (GR2Analyst).

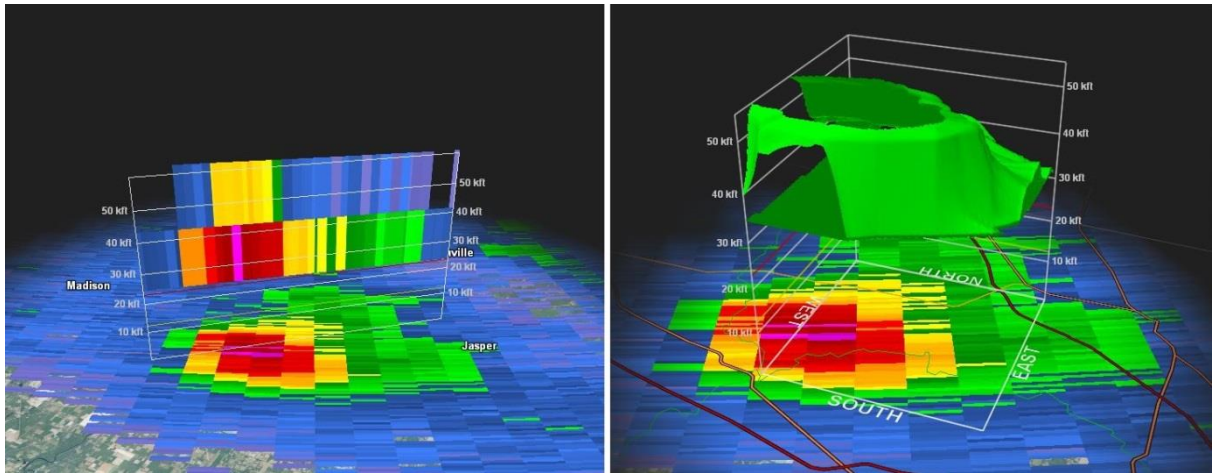
Při zvolení radaru lze vybrat, jaký produkt bude vizualizován. GR2Analyst nabízí 15 produktů, z nichž u některých lze vybírat, které pásy budou zobrazeny (0,5°;1,4°;2,4°; 3,4°; 4,3°;6°; 9,9°). Níže je uveden seznam produktů NEXRAD radaru (GRLevelX, 2015):

- *BR (Base Reflectivity)* – jeden ze základních produktů, který má možnost výběru pásů zobrazení. BR představuje základní odrazivost.
- *BV (Base Velocity)* – základní produkt Dopplerova radaru, kterým se zjišťuje směr pohybu daných jevů (např. vítr).
- *SRV (Storm Relative Velocity)* – směr pohybu bouří (co je ve směru k radaru a co je ve směru od radaru).
- *SW (Spectrum Width)* - rozložení rychlostí v rámci jednoho radarového pixelu.
- *ET (Echo Tops)* – rozsah, ve které je radar schopný zaznamenávat data (přibližně 1,5 – 21 km), limity kvůli sklonu antény, radar pak nemusí vidět meteorologické jevy, které jsou velmi blízko.
- *VIL (Vertically Integrated Liquid)* – množství vody, kterou radar detekuje v měřené oblasti (použití pro hledání dešťů, bouří, krupobití).
- *OHP (One Hour Precipitation)* – hodinový odhad deště.
- *STP (Storm Total Precipitation)* – celkový dešťový odhad pro celou událost (odhad záplav kvůli bouři).
- *ZDR (Differential Reflectivity)* – rozdíl mezi vertikální a horizontální odrazivostí (vhodné pro zjišťování tvarů a velikosti dešťových kapek).
- *CC (Correlation Coefficient)* – korelace mezi vertikální a horizontální odrazivostí (vhodné pro predikci, pokud jsou hodnoty nízké, znamenají možnost deště, sněhu, krupobití aj.).
- *KDP (Specific Differential Phase)* - porovnání rozdílů mezi horizontálními a vertikálními pulsy (rozdíl mezi Dopplerovým posunem), vhodné pro odhad velikosti deště.
- *HCA (Hydrometeor Classification Algorithm)* – komplex algoritmů, které se snaží odhadnout nejčastější typy echa radarového paprsku. Vznikají kombinací produktů (BR, BV, ZDR, CC, KDP) a dat o životním prostředí. Určují 10 meteorologických jevů (krupobití, silný déšť, mokrý sníh, suchý sníh, ledové krystalky aj). Odhad jevů probíhá ve výšce radarového paprsku, nikoli na úrovni zemského povrchu.
- *DOD (One Hour Difference)* – rozdíly mezi duálně polarizovanými radary a algoritmy pro jedno hodinovou předpověď.
- *DSD (Storm Total Difference)* - rozdíly mezi duálně polarizovanými radary a algoritmy pro předpovědi bouří [15]

Další typy produktů jsou derivovány z BR, patří mezi ně (GRLevelX, 2015):

- *ET (Echo Tops)* – rozsah zaznamenávání radaru, základní hodnota je 18,5 dbz.
- *VIL (Vertically Integrated Liquid)* – vytváří odhadované množství vody v pixelu.
- *VILD (VIL Density)* – hustota odhadovaného množství vody.
- *POSH (Probability of Severe Hail)* – algoritmus pro odhad krupobití.
- *MEHS (Maximum Expected Hail Size)* – algoritmus pro výpočet maximální velikosti krupobití [16].

Kromě samotné vizualizace dostupných dat, program podporuje tvorbu 2D řezů nebo 3D objemů. Oba zmíněné typy vizualizace, vznikají dle zadání uživatele (vybráním nástroje a nakreslení požadované oblasti). Na Obr. 4.17 lze vidět 2D řez (vlevo) a isosurface (vpravo) produktu BR.



Obr. 4.17 Řez a isosurface, Base Reflectivity, KFFC Atlanta radar (GR2Analyst).

Součástí programu jsou také aktuální varovné zprávy (záplavy, pobřežní zprávy, některé bouře a tornáda). Tato varování jsou stahována programem a zobrazována automaticky včetně lokálních zpráv o bouřích (zobrazení na 60 minut). Zdroj varovných zpráv lze v programu editovat (v základním nastavení je zdroj nastaven na <http://warnings.cod.edu/>). Obr. 4.17 zobrazuje příklad varovných zpráv.

Type	State	Counties	Expires
TOR	TX	Lubbock, Lynn	02:45 Z
TOR	OK	Osage	02:45 Z
SVR	OK	Beaver, Texas, Hansford, Hutchinson, Li...	03:30 Z
SVR	TX	Hockley	03:15 Z
SVR	OK	Alfalfa, Woods	03:00 Z
SVR	KS	Clark, Comanche, Ford, Kiowa	03:00 Z
SVR	KS	Bourbon, Vernon	03:00 Z
SVR	OK	Garfield, Grant	02:45 Z
SVR	TX	Swisher	02:45 Z

Obr. 4.17 Příklad varovných zpráv (GR2Analyst).

Pokud je importováno více dat o různých časech a datech, lze je pomocí GR2Analyst také animovat. Animaci lze pustit plynule, nebo manuálně přepínat mezi časy. Součástí animačního widgetu je jednoduché nastavení rychlosti animace a doby zobrazení jednotlivých časů.

Přizpůsobení programu

Možnosti nastavení jsou v GR2Analyst velmi malé, software neposkytuje velké možnosti pro uživatele. Běžné možnosti nastavení, jako např. barevná legenda je u každého produktu přednastavena a jediná možnost změny je vytvoření nové legendy a její import (tato možnost je stejná i pro import radarových ikon). Pod záložkou GIS jsou možnosti úpravy popisků a linií (barva, velikost).

V programu jsou automaticky vloženy podkladové mapy a to: BMNG (Blue Marble Next Generation, NASA WMS), Landsat (NASA WMS) a NAIP (National Agriculture Imagery Program, NationalMap).

4.5 OpenGrADS (Open Grid Analysis and Display System)

OpenGrADS je volně šiřitelný program (GNU licence), založený na GrADS jádře, distribuovaný bez jakékoliv záruky. Je dostupný pro operační systémy Windows, Linux

a MAC OS. OpenGrADS je světově využívaný produkt, který vznikl pod záštitou NASA výzkumného programu. Tento nástroj slouží k jednoduchému přístupu, manipulaci a vizualizaci geodat. Skládá se ze dvou modelů, které spravují gridová a staniční data. Aktuální verze programu je 2.0.2.oga.2 (OpenGrADS, 2014).

Podporuje velkou řadu datových formátů: binární data, GRIB (verze 1 a 2), NetCDF (včetně kompresovaných), HDF, BUFR (staniční data), shapefile a vzdálená data (pomocí OPeNDAP prostředí). Používá 5D datové prostředí, čtyři základní dimenze (zeměpisná šířka a výška, čas a výška) včetně pátého, který je určen pro gridy. Data, která jsou z rozdílných datových zdrojů, mohou být graficky překrytá, pokud jsou správně časově a pozičně nastavená. OpenGrADS obsahuje mnoho vestavěných funkcí, ale uživatelé mohou vytvářet vlastní funkce v kterémkoli programovacím jazyku. Možnosti vizualizace dat jsou v programu také velmi široké. Data je možno zobrazit pomocí grafů, vrstevnic, větrných vektorů, grafů staničních dat, map apod. Tyto vizualizace lze exportovat do PostScriptu nebo do obrazových formátů (PNG, SVG, PDF, JPEG, GeoTIFF, KML). Uživatel může kontrolovat a měnit všechny grafické prvky programu. Kromě grafických úprav, lze doprogramovat (pomocí skriptu) více sofistikované způsoby zobrazení nebo analýzy. Programovatelné prostředí je dostupné pro Python, PHP, Perl, Java a TLC (nutná doinstalace). V poslední aktuální verzi jsou také implementovány veškeré uživatelské doplňky, které musely být v předchozích verzích doinstalovány (OpenGrADS, 2014).

Instalační balíček (pro OS Windows) existuje ve dvou verzích. První je Win32 Superpack (.ZIP nebo .EXE), který obsahuje vše potřebné pro správný chod OpenGrADS v systému Windows. Druhou variantou, je odlehčená verze pro zkušenější uživatele, kteří pracují s Cygwin prostředí. Pro zjednodušení je v programu využíván Xming server, který je spuštěn každým souborem OpenGrADS (vždy je zachována pouze jedna aktivní kopie). V předchozích verzích bylo nutné X server instalovat samostatně. V aktuální verzi 2.0.2 je X server implementován.

Program je složen z více aplikací, které lze používat, patří mezi ně [18]:

- Grads – GrADS s rozhraním příkazového řádku, který dokáže číst všechna dostupná GrADS data (NetCDF, HDF, GRIB) a má přístup k OPeNDAP serverům;
- GradsGUI – stejné jako předchozí, ale kromě příkazového řádku má grafické rozhraní;
- GradsDAP – původní aplikace ze starší verze programu, která přistupovala k OPeNDAP serverům (nyní již není potřeba, protože je tato funkce implementována, ale přesto je tato aplikace nainstalována s celým balíčkem);
- Gv32 – aplikace pro prohlížení metadat;
- GxYAT – pro konverzi metadat do PNG, SVG, PDF, PostScrip aj. (stejná funkce jako aplikace Gxeps);
- Gribmap – nástroj pro GRIB mapování (Gribscan pro kontrolu GRIB);
- Stnmap – nástroj pro mapování.

Kromě výše vypsanych aplikací, které jsou součástí GrADS je možné využít ještě další části programu. Tyto aplikace přistupují ke vzdáleným serverům a zobrazují tak aktuální datové sady.

- MERRA Browser (retrospektivní historické analýzy z GEOS-5) využívající 3 OPeNDAP NASA servery (data jsou rozdělena podle časových kroků na hodinové (1, 3 a 6 hodin), denní a měsíční. Některá data jsou zobrazena i ve 3D. Data

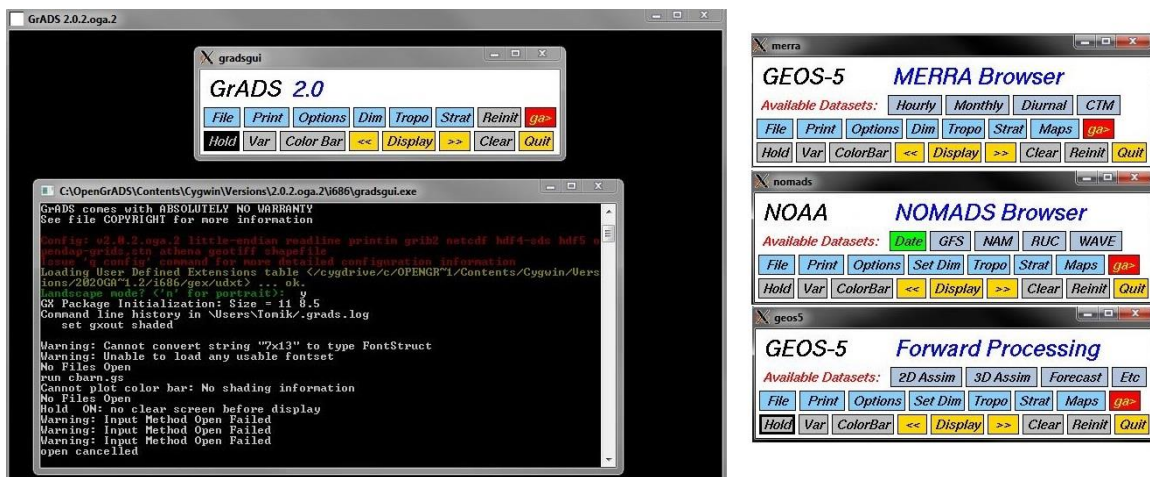
obsahují nejčastější meteorologické veličiny jako tlak, teplotu, vlhkost, geopotenciál, vítr, radiaci, oblačnost, déšť, sníh aj. [14].

- NOMADS Browser (retrospektivní a real-time data). Projekt, který je řízen NOAA přistupuje k různým datovým zdrojům (NWP, NCEP, GCM aj). Poskytovaná data jsou předpovědi a analýzy (Nomads, 2015).
- GEOS-5 Browser (systém integrovaných modelů, NASA). Tento prohlížeč poskytuje výstupy z GEOS-5 systému: 2D/3D asimilace a předpovědi. U předpovědi lze vizualizovat teplotu povrchu, sněžení, LAI (leaf area index), vodní zásoby aj.(NASA GEOS, 2015).

Práce s aplikacemi, které poskytují vzdálená data je stejný jako s celým OpenGrADS (úpravy, psaní příkazů, skriptování atd.). Jsou zde však malé rozdíly v GUI např. volba rozlišení mapových podkladů, která se v klasickém OpenGrADS musí manuálně dopsat příkazem a skriptem. Na Obr. X vpravo jsou vidět GUI jednotlivých aplikací (postupně MERRA, NOMADS a GEOS-5 prohlížečky).

Uživatel si tak může vybrat, kterou část programu spustí. Vždy se však otevře hlavní panel, kterým je příkazová řádka a vizualizační okno výsledků. Po startu se OpanGrADS uživatele zeptá, jestli mají být data vizualizována na šířku, nebo na výšku. Bez tohoto kroku se nespustí žádné další okna. V Obr. 4.18 (vlevo) je ukázka GradsGUI (grafické rozhraní), příkazového řádku a zobrazovacího okna (největší). Operace s daty jsou v programu prováděny pomocí příkazů a proměnných.

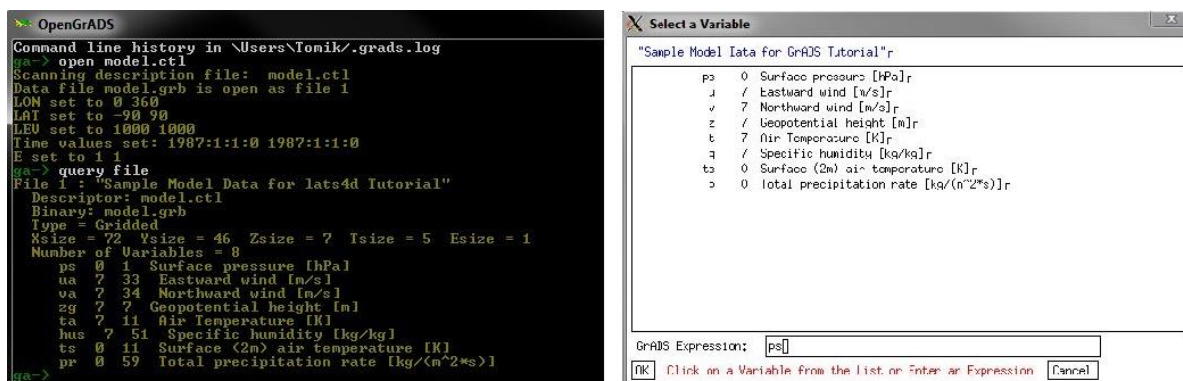
Lze psát příkazy rovnou pomocí příkazového řádku, nebo pomocí grafického rozhraní (GUI). Pokud jsou data importována pomocí GUI, v příkazovém řádku se automaticky objeví rozepsán stejný postup (do příkazového řádku nelze nic psát, slouží pouze pro vypsání informací, po zvolení `ga->` se aktivuje). Uživatel tak může zvolit, která možnost je více vyhovující a pracovat s ní. Po importu dat je (v případě GUI) nutný výběr veličiny pro vizualizaci. OpenGrADS automaticky soubor prohledá a zjistí, o jaký typ se jedná a na tomto základě nabídne seznam dostupných veličin (musí být dostupný popisný soubor).



Obr. 4.18 Ukázka zobrazovacího okna, grafického rozhraní a příkazového řádku (vlevo) a prohlížeček vzdálených dat (vpravo) (OpenGrADS).

Pokud jsou data importována pomocí příkazového řádku (pomocí příkazu `open „název souboru“`) je nutné zjistit, jaké veličiny jsou obsaženy v datech. Tyto informace

lze zjistit s použitím příkazu `query file`, který vypíše seznam dostupných veličin pro konkrétní data. V Obr. 4.19 je ukázka importu dat a výběru veličin. Vlevo je postup pro příkazový řádek a vpravo veličiny pro GUI.



Obr. 4.19 Import dat a výběru veličin, příkazový řádek (vlevo), GUI (vpravo) (OpenGrADS).

Po zvolení požadované veličiny se data zobrazí do vizualizačního okna. Display (zkráceně d) zobrazí data, která byla importována pomocí příkazového řádku. V tomto okně lze zobrazit více veličin naráz (překrývají se přes sebe). Pro smazání displeje se použije příkaz `clear` (zkráceně c) nebo tlačítko `clear` v GUI. Příloha X je ukázka zobrazení více veličin najednou s různým typem zobrazení (tlak pomocí barevného kartogramu a teplota pomocí izolinií).

Gridovaná data a jejich metadata jsou pro použití v OpenGrADS uložena samostatně. Při importu GrADS otevírá právě metadata (.ctl), kterým se říká kontrolní soubor nebo také popisný datový soubor. Tyto metadata jsou v ASCII formátu a obvykle obsahují tyto informace: název binárních dat, chybějící nebo nedefinované hodnoty, konverze mezi mapovými a zeměpisnými souřadnicemi a popis veličin, které je možno vizualizovat. Ukázka .ctl souboru:

```
DSET ^gridded_data_sample.dat
INDEX ^sample.idx
TITLE Gridded Data Sample
OPTIONS yrev
UNDEF -9.99E33
XDEF 180 LINEAR 0.0 2.0
YDEF 90 LINEAR -90 2.0
ZDEF 10 LEVELS 1000 850 700 500 400 300 250 200 150 100
TDEF 4 LINEAR 0Z10apr1991 12hr
VARS 4
slp 0 99 sea level pressure
hgt 10 99 heights
temp 10 99 temperature
shum 6 99 specific humidity
ENDVARS
```

Z metadat lze vyčíst, že hodnota -9,99e33 je nedefinovaná, soubor obsahuje 180 bodů na ose X, 90 na ose Y a 10 vertikálních úrovní, 4 časové kroky a 4 proměnné. Čísla 0,10 a 6 u proměnných `slp`, `hgt`, `temp`, `shum` označují jejich vertikální úroveň (`slp`

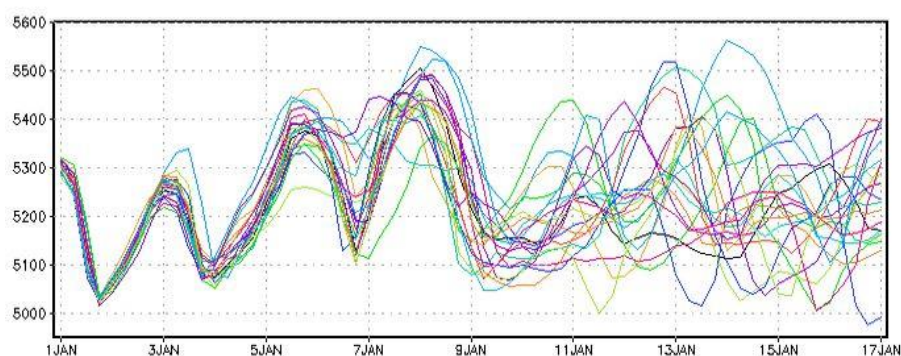
má nulovou hodnotu, která značí, že jde o pozemní veličinu). GrADS používá základně griby orientované od jihu na sever (-90 do 90). Pro griby, které jsou orientovány opačně (S-J) je nutné použití `OPTIONS yrev` příkazu (pokud není definováno přímo souřadnicemi). Metadata lze vytvořit (OpenGrADS, 2015)

- 1) Manuálně pomocí aplikací *gribscan* (součástí GrADS) nebo *wgrib* (podpora GrADS od NOAA), které dokáží prohledat GRIB soubory a zjistit požadované informace (souřadnice, vertikální úroveň, časy, proměnné, ensemble aj.). Ze získaných informací se vytvoří `.ctl` soubor včetně indexového souboru, který zpracovává název popisného souboru jako svůj argument. Tento soubor lze vytvořit pomocí aplikace *gribmap*;
- 2) Automaticky s použitím dostupných externích aplikací *grib2ctl* a *g2ctl* (NOAA, 2015), které data prohledají, zjistí potřebné informace a vytvoří index i popisný soubor.

Struktura 5D gridových dat: X,Y (zeměpisná délka a šířka), Z (vertikální úroveň), VAR (proměnnou), T (čas) a E (ensemble). E dimenze může být použita vícero způsoby, avšak její hlavní účel je pro ensemble data (GRIB2 formáty).

Příklad ensemble:

16 denní předpověď, kde jsou k dispozici 4D data (X,Y,Z a T) o pevných X,Y,Z. Výsledkem by mohl být liniový graf signalizující předpověď. S použitím ensemble (vytvoření 20 téměř stejných předpovědí = *ensemble members*, které budou vykonány opět ve stejném čase) lze lépe odhadnout reálnou úspěšnost předpovědi. Jelikož se změní počáteční podmínky (malé rozdíly), za 16 dní mohou být tyto rozdíly velké. Díky tomu lze odhadnout, jestli se předpověď vyvíjí správným směrem nebo ne. Uvedený princip je znám také jako motýlí efekt. Tento systém je využit např. v GEFS (Global Ensemble Forecast System, NOAA), který představuje globální ensemble předpovědní model (21 rozdílných předpovědí) fungující právě v GrADS. Obr. 4.20 zobrazuje ukázkou 21 ensemble předpovědi (OpenGrADS, 2015).



Obr. 4.20 Liniový graf ensemble předpovědi (OpenGrADS).

V OpenGrADS lze vytvořit a číst data, která obsahují E dimenzi pomocí EDEF klíčového slova, který je zapsán do metadatového souboru. E dimenze nemá žádné souřadnice, je to pouze lineární E osa, která je označena gridovými indexy (1,2 ...). Po vytvoření metadat pro 5D ensemble data je nutné zvolit správnou organizaci dat. Je možné mít všechna data dohromady v jednom souboru, ale výhodnější je použití jednotlivých souborů, které jsou agregovány a organizovány pomocí šablon (data musí mít identické X,Y,Z souřadnice a stejný seznam proměnných). GrADS dokáže v aktuální verzi využívat šablony i pro poslední E dimenzi (ensemble název poskytnutý EDEF

zápisem v metadatech). Název pro ensemble nesmí být delší jak 15 znaků a lze použít pouze jednoho člena ensemble v jednom souboru.

Import NetCDF a HDF

Tyto data se označují jako SDF (Self Describing files). To znamená, že jejich data a metadata jsou zabalená do jednoho souboru. Import dat je velmi podobný jako u gridů. GrADS opět potřebuje určitá metadata aby umístil data do správné pozice. To lze provést třemi způsoby:

- 1) Nejjednodušší je pomocí *sdfopen*, kde je nutné zadat pouze název datového souboru, který je vizualizován. GrADS provede veškeré dodatečné operace automaticky. Není tedy nutné použití žádného popisného souboru. Pokud je tento krok nedostačující, je nutné zvolit další.
- 2) Pomocí *xdfopen* je nutné přepsat manuálně popisný metadatový soubor, tak aby GrADS rozuměl zvoleným datům (syntaxe psaní popisného souboru je jiná než u gridů). Tento způsob importu nepodporuje HDF5 formáty (komprimované NetCDF). Pokud ani s použitím daného kroku nelze otevřít požadovaný soubor, je nutné zvolit třetí krok.
- 3) Tento krok je nejnáročnější pro uživatele, neboť je zapotřebí napsat kompletně celý popisný soubor, který přepíše dostupná metadata v souboru. Vhodné pro zpracování dat s velkým počtem souborů nebo pro HDF5 formáty (jediný způsob).

Import HDF5 (komprimované NetCDF)

Použití daného typu dat je ve většině případů rychlejší než klasické NetCDF. HDF5 data využívají tzv. chunk (nejmenší datová jednotka). Tyto soubory se zpracovávají samostatně pro kompresi, čtení a zápis na disk a ukládání do paměti cache. Princip chunk je v jeho uchování v paměti cache. GrADS při čtení komprimovaného souboru přečte komprimovaný chunk, rozbálí ho, použije získané hodnoty (data) a ponechá použitý chunk v cache paměti v případě pozdějšího použití. Tato metoda čtení dat je velmi rychlá za předpokladu dostatečné paměti cache, jinak je velmi pomalá (program zobrazí upozornění) a může vést až k zastavení GrADS. Uživatel může dodatečně měnit velikost chunk i cache přímo v GrADS prostředí. Každý chunk má stejný počet dimenzí jako proměnných a jeho velikost v jakékoliv dimenzi je stejná (nebo nižší) než dimenze proměnné [OpenGrADS, 2015].

Příklad velikosti dat, chunk a cache:

Existují data o gridovém rozlišení 0,1 stupňů a 3600 body na X ose, 1800 bodů na ose Y a chunk velikost 360 x 180. Velikost jednoho chunk na disku je přibližně 256 Kb a v celém gridu existuje 100 chunk (celková velikost přibližně 25 Mb). GrADS automaticky nastaví velikost cache 51,84 Mb. Tento proces by měl zajistit rychlou a plynulou práci s daty.

Staniční a BUFR data

Tyto datové formáty, lze používat v GrADS v jejich nativním formátu, s podmínkou existujících metadatových popisných souborů. Pro každý z nich existuje vlastní popisný soubor, který obsahuje různé proměnné (musí mít shodné pořadí s datovým souborem), příkazy a má jinou syntaxi. Pro prohledání BUFR dat slouží externí aplikace *bufscan*, která automaticky vytvoří popisný soubor.

Projekce map

GrADS používá dva rozdílné typy projekcí pro vizualizaci importovaných dat, projekci dat (gridy už mají určitou projekci) a projekci displaye. Kromě dvou typů projekce, GrADS používá ještě dva typy datových gridů: Gridy lon/lat (zeměpisná šířka, délka) a předprojektované gridy.

Předprojektovaná data, jsou ta data, která už mají určitou projekci. GrADS podporuje více typů daných dat: polární stereo předprojekci, lambertovo conformální, nebo šikmé polární stereo gridy pro CSU RAMS model (aerosolový model pro emise či nukleární radiaci) aj. Použití předprojektovaných dat však má i své nedostatky, např. jednotky pro proměnnou u a v (vítr) musí být 33k a 34k (GRIB standard), směr rotace větru pouze pro polární stereo projekce ne pro Lambertovo conformální. Některé projekce jsou pořád v experimentální či vývojové fázi (OpenGrADS, 2015).

Grafika v GrADS je počítána relativně pro interní GrADS datové gridy (i,j), pak je transformována na souřadnice displaye (obrazovka) a poté vizualizována. V současné době jsou podporovány čtyři typy projekce:

- Lat/lon (sférické zobrazení)
- Severní polární projekce
- Jižní polární projekce
- Robinsonova projekce (lon -180 180, lat -90 90)

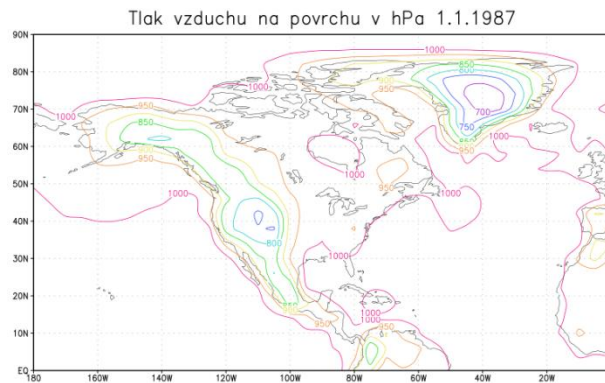
Tyto možnosti (předprojektovaná data a displayová projekce) jsou zatím značně omezené. GrADS podporuje málo typů projekcí. Tento problém by se měl změnit, protože je snaha o implementaci co největšího počtu dostupných projekcí.

Zobrazení dat

GrADS dokáže importovaná data vizualizovat vícero způsoby, vždy záleží na nastavení dimenzí dat.

- Zobrazení daného bodu (hodnota) lze provést, pokud jsou všechny dimenze fixně zvoleny: `Set lon -180, Set lat -90, Set lev 500, Set t 1`. Při tomto zápisu jsou dimenze neměnné a výsledkem bude pouze číslo zvolené proměnné. Příkaz `set t 1` znamená zvolení prvního časového kroku dat (pouze jeden). Tento zápis lze provést jak v příkazovém řádku tak pomocí GUI tlačítek.
- Pro zobrazení 1D mapy (grafu) musí být jedna dimenze zapsána pomocí pole. `Set lon -180, Set lat -90, Set lev 500, Set t 1 10`. Změna proběhla v nastavení `set t 1 10`. Tento příkaz oznamuje programu, aby zobrazil prvních 10 časových kroků. Výsledkem je liniový graf.
- Pro zobrazení 2D mapy (grafu) musí být dvě dimenze zapsány pomocí pole. `Set lon -180 0, Set lat 0 90, Set lev 500, Set t 1`. Pomocí daného zápisu program vykreslí data se zvoleným prostorovým umístěním (Severní Amerika).
- Pro zobrazení sekvence 2D map/grafů (animace) musí být tři dimenze zapsány pomocí pole. `Set lon -180 0, Set lat 0 90, Set lev 500, Set t 1 50`. Data budou opět vizualizována na území Severní Ameriky včetně animace časových kroků (prvních 50).

Na Obr. 4.21 je ukázka zobrazení 2D mapy nad územím Severní Ameriky. Zobrazovaná veličina je povrchový tlak (hPa) v roce 1987.



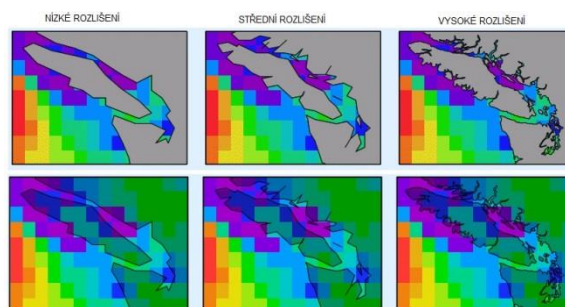
Obr. 4.21 Tlak vzduchu (hPa) na povrchu 1.1.1987 (OpenGrADS).

Jak již bylo výše zmíněno, program dokáže kombinovat více proměnných a zobrazovat je dohromady v jednom vizualizačním okně. Pro každou vizualizovanou veličinu lze specifikovat její způsob vykreslení (záleží na typu dat a proměnných). Kombinace izolinií (barevně vyplněných a klasických linií) lze vidět v Příloze 7 (zobrazení více veličin). GrADS nabízí tyto možnosti vizualizace:

Izolinie, vybarvené izolinie, barevný grid, hodnoty jednotlivých gridových bodů, vektory, proudové linie, grafy (liniový či sloupcový) avětrné značky

Pro různé typy zobrazení lze měnit barevnou legendu jednotlivých linií/výplní a intervalů (včetně transparentnosti barev) či dokonce měnit minimální a maximální rozsah hodnot, které budou vizualizovány. Příloha 7 (zobrazení více veličin) byla legenda upravena tak, aby nebyly zobrazeny hodnoty větší než 1000 hPa (nevhodné pro tisk).

Kromě změny barev importovaných dat, lze také měnit barvu podkladové mapy včetně rozlišení její linie a masky (vizualizace dat končí s linií podkladové mapy). Na Obr. 4.22 je ukázka dat, které jsou ořezány podkladovou mapou (horní část) a data, která volně přecházejí přes linie mapy. Na obrázku lze také vidět rozdíl mezi rozlišením linie podkladové mapy. Danou úpravu lze provést pomocí úprav skriptů a příkazů, které jsou součástí GrADS (samostatně pro data kontinentů a oceánů) (OpenGrads, 2015).



Obr. 4.22 Různé úrovně rozlišení podkladové mapy a možnost maskování dat (OpenGrADS).

Jelikož GrADS využívá převážně příkazy v příkazovém řádku a možnosti skriptování, má tak velmi mnoho možností úprav. Uživatel může libovolně měnit barevné legendy (přidávat vlastní barvy pomocí RGB kódu), měnit intervaly vizualizovaných dat či dokonce vytvářet vlastní proměnné (nejčastěji spojení několika vzorců dohromady). Zajímavým příkladem uživatelsky vytvořené proměnné může být funkce pro výpočet

lineární regrese (psáno ve FORTRAN). Z jednodušších proměnných lze zmínit možnost uložení operací přímo do konkrétní proměnné, se kterou GrADS může později pracovat. V programu je také možné provádět matematické operace, a to: sčítání, odčítání, násobení, dělení, průměry aj. Příklad výrazu: `ave (ta, t=1, t=5)` znamená průměr teploty během prvních 5 časových kroků. GrADS zvládá také animaci dat (pokud je to možné). Primárně jsou data animována podle časové složky, to však lze upravit a zvolit jakoukoli dimenzi pro animaci (např. pohyb v prostoru).

Skriptování

Možnosti skriptování v programu jsou velké, jelikož lze používat více jazyků (Python, PHP, Perl, Java a TLC). Tyto rozšíření je však nutné doinstalovat. Primárně obsahuje stažitelný archiv softwaru mnoho použitelných skriptů, které většinou potřebují pouze malou úpravu. V programu lze skriptováním vytvářet widgety nebo tlačítka. Na obr. 4.23 je zobrazena ukázka widgetu dropdownu, který nahrazuje GUI pro uživatele programu. Daným způsobem lze zobrazovací okno velmi přizpůsobit a nastavit tak, aby jej mohly ovládat i méně zkušené uživatele. Pomocí skriptu je možné ovládat program pouze myší a přidávat další potřebné funkce.



Obr. 4.23 Ukázka widgetu dropdownu (OpenGrADS).

Ukázka kódu pro zobrazení dat

V následující části je znázorněn postup importu dat do programu, výběr požadovaných veličin a jejich zobrazení včetně jednoduchých úprav. Tento postup probíhal pouze za pomoci příkazů. Pomocí zobrazeného kódu byla provedena vizualizace dat, znázorněna v Příloze 7 (zobrazení více veličin, v příloze jsou další ukázky vizualizace).

```
open model.ctl ...otevření popisného souboru
query file ... prozkoumání souboru (dimenze, proměnné)
set lon -180 0 ... nastavení zeměpisné šířky
set lat 0 90 ... nastavení zeměpisné délky
set lev 500 ... nastavení vertikální úrovně
set t 1 ... nastavení časového kroku
set map 0 ... nastavení barvy linie podkladové mapy na bílou (při tisknu černá)
set gxout shaded ... nastavení volby zobrazení na vybarvené izolinie
set cmax 1000 ... zvolení maximální hranice pro vykreslení dat
d ps . . . vizualizace tlaku
set gxout contour ... nastavení volby zobrazení na vrstevnice
set ccolor 4 . . . volba barvy vrstevnice
d ta ... vizualizace teploty vzduchu
run cbar ... zobrazení barevné legendy
draw title Tlak & Teplota ... zobrazení titulku
```

4.6 ncWMS

Je opensource WMS služba (server ncWMS a klient Godiva2) pro geoprostorová data, která jsou uložena v NetCDF, HDF a GRIB formátu. Výstupem je jednoduchá WMS,

kteřá potřebuje pouze minimum informací a je schopná zpracovat velké množství různých typů zobrazení dat (mapy, řezy aj.) včetně transformace dat do mnoha souřadnicových systémů. Služba je vyvíjena na Univerzitě v Readingu (Velká Británie) a aktuální verze je 1.2.

ncWMS je implementováno do Javy jako webová aplikace, která pro svůj chod potřebuje aplikační server (např. Tomcat). Volba serveru je však zcela na uživateli. NcWMS je závislé na Java NetCDF prostředí od Unidata (společnost, která vytvořila také software IDV), jejichž knihovny pracují s metadaty a datovou extrakcí nebo čtou NetCDF soubory uložené na HTTP či OPeNDAP serverech. Aktuálně je ncWMS implementováno do THREDDS data serveru (webový server vytvořený Unidata, který poskytuje metadata a data využívající OPeNDAP, OGC WMS aj.) a OSGeo-Live DVD (bootovací DVD s virtuálním počítačem fungující na Lubuntu, které obsahuje open source GIS softwary GRASS, gvSIG, Kosmo, OpenJUMP, QGIS, SAGA aj). ncWMS funguje na BSD licenci, kdy je nutné zveřejnění kreditů pro Univerzitu Reading. Pokud je využito webového rozhraní, je nutné uvést logo (ncWMS, 2015).

Instalace

Jelikož se jedná o WMS službu, je nezbytné použití aplikačního serveru. Pro tyto účely byl zvolen server Tomcat verze 7.0.61. Kromě serveru byla nutná instalace Java JDE a JDK. NcWMS je stažitelný WAR soubor, který bylo nutné vložit do Tomcat adresáře webapps. Spuštění ncWMS bylo provedeno pomocí Tomcat startup.bat souboru a následovným zadáním URL <http://localhost:8080/ncWMS-1.2> do prohlížeče. Přihlašovací údaje do serveru byly nastaveny primárně na uživatelské jméno admin a heslo ncWMS (později lze měnit). Na Obr. 4.24 lze vidět rozhraní po přihlášení do serveru včetně importovaných dat.

ncWMS Admin page

[Godiva2 interface](#)
[WMS 1.3.0 Capabilities](#)
[WMS 1.1.1 Capabilities](#)
[Usage monitor](#)
[ncWMS Front page](#)

Datasets

Edit variables	Unique ID	Title	Location	State	Last update
edit	1	Wind	C:\Users\Tomik\Desktop\me	READY	2015-04-30T18:19:09.977Z
edit	2	Omi	dods://eosdap.hdfgroup.uiuc:	READY	2015-04-30T18:31:44.732Z
edit	3	Air	C:\Users\Tomik\Desktop\me	READY	2015-04-30T18:35:38.515Z

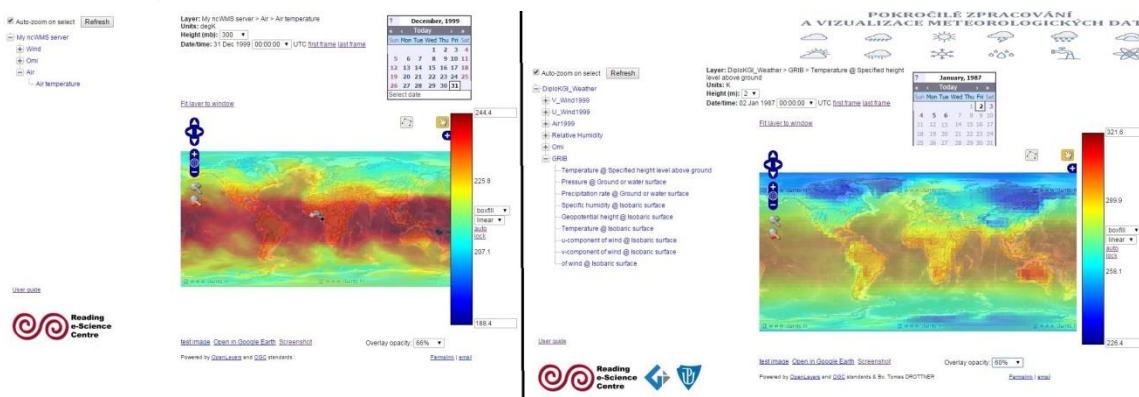
Obr. 4.24 Ukázka admin rozhraní (ncWMS).

Pro import dat je důležité nastavení tří hodnot:

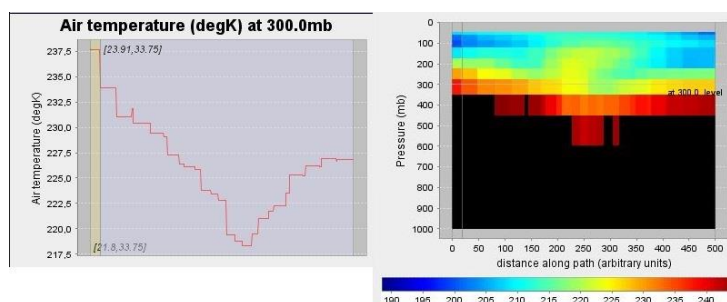
- Unique ID – může být jakýkoliv znak
- Title – popis dat, který se zobrazí v klientovi
- Location – přesný popis uložení dat (může být lokálně či vzdáleně)

Proměnná State signalizuje připravenost dat pro použití. Dalšími volbami jsou např: automatické zobrazení, viditelnost vrstvy, zda se lze na vrstvu dotazovat aj. Možnost Edit variable pak nabízí úpravu barevné legendy, rozsah hodnot, titulek nebo počet barevných pásem. Najednou lze importovat pouze 3 datové sady.

Na Obr. 4.25 je ukázka klientu Godiva2 (vlevo, vpravo je ukázka uživatelského upravení), který je součástí ncWMS. Data znázorňují teplotu vzduchu (degK) ve výšce 300 MB. Na obrázku lze vidět seznam dostupných datových vrstev, volba výšky a času a mapovou část včetně legendy. Dále lze také volit průhlednost zobrazení dat (primárně 100% - 66 % - 33%), podkladovou mapu (pokud má podkladová mapa jiný souřadnicový systém než zobrazená vrstva, budou data přepočítána a promítnuta do stejného systému), upravovat rozsah hodnot, měnit možnost vizualizace (vybarvené nebo vrstevnice), nastavit animaci a možnosti exportu (Google Earth nebo obrazová forma). Poslední je nástroj na tvorbu profilů (Obr. 4.26), kde jsou výsledkem dva grafy, první zobrazuje teplotu liniově a druhý barevným vyplněním (osa X představuje samotný řez, osa Y výšku)



Obr. 4.25 Ukázka klienta Godiva2 (vlevo původní, vpravo upravené) (ncWMS).



Obr. 4.26 Zobrazení profilů teploty vzduchu (ncWMS).

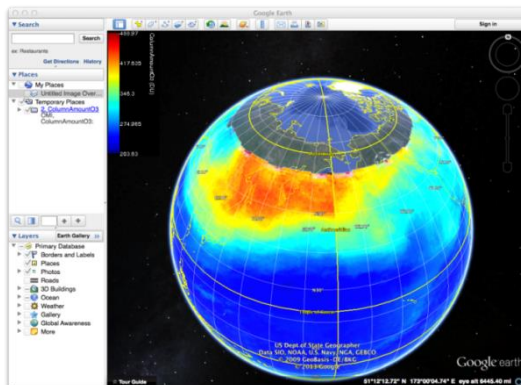
Animaci lze vytvořit zvolením prvního časového kroku (vybráním požadovaného data a možnosti *first frame*), posledního časového kroku (stejně jako u prvního) a tlačítkem *create animation*. Při spuštění animaci lze při kliknutí do mapy vytvářet vertikální grafy či časové série daných bodů. NcWMS zobrazí pop-up okno s výběrem časových kroků (podle možnosti dat a rozsahu animace, např. každodenní, týdenní, měsíční). Konkrétní zvolené zobrazení lze uložit pomocí *Permalink*, které poskytne URL celého nastavení (aktivní vrstva, legenda, pozice mapy).

Prizpůsobení

Jelikož se jedná o WMS server, jsou možnosti úprav rozhraní opravdu velké. Uživatel (resp. administrátor) tak může zobrazení klienta Godiva2 velmi přizpůsobit svým potřebám (HTML, CSS, JSP). Na obr. 4.25 (vpravo) jde vidět mírná úprava vzhledu.

ncWMS je celosvětově velmi využívána služba kvůli svojí jednoduchosti a zpracování meteorologických dat. Kromě využití jako prohlížečky daného typu dat je často

využívána jako zdroj mapových služeb použitých v dalších aplikacích, např.: United States Geological Survey (vyhledávání dat modelování oceánů), Plymouth Marine Laboratory (distribuce operačních předpovědí a vizualizace satelitních dat vytvořených z NetCDF), National Geophysical Data Centre, NOAA aj. Na Obr. 4.27 lze vidět využití WMS služby v aplikaci GoogleEarth.



Obr. 4.27 Využití ncWMS služby v GoogleEarth (ncWMS).

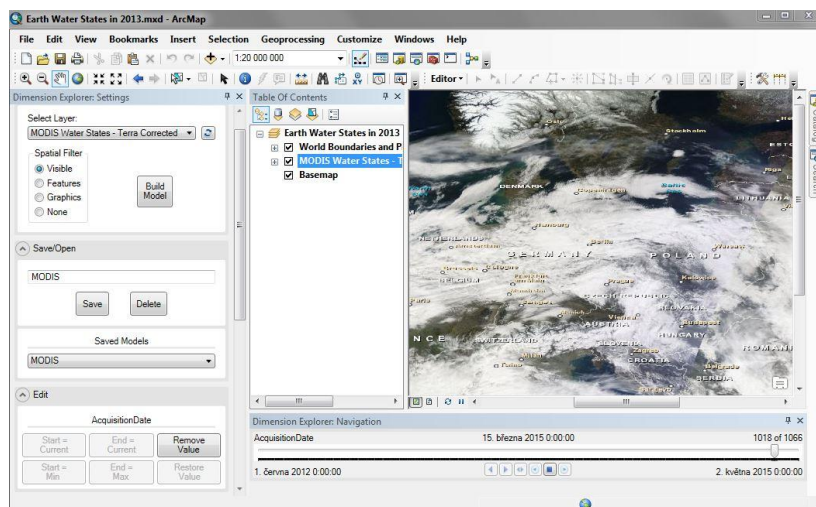
4.7 Dimension Explorer ArcMap 10.3

Dimension Explorer je jediný z testovaných programů, který není samostatný software ale přidáný nástroj do ArcGIS 10.3 (ve starších verzích není nástroj podporován). Tento doplněk je tak jeden z produktů firmy Esri (Johnson, 2015).

Nástroj vychází z předchozího produktu firmy Esri, Timeliner, který také splňoval animační funkci. Rozdíl mezi Timeliner a Dimension Explorer je ten, že druhý zmíněný dokáže pracovat s více rozměrnými časovými daty.

Jedná se tedy o datovou prohlížečku, která uživateli umožňuje zobrazit (nejenom) časové řady importovaných dat. Nástroj dokáže pracovat s NetCDF, GRIB a HDF datovými formáty, pod podmínkou jejich importu do mozaikového datasetu.

Data mohou být uložena lokálně, či na serveru. Navíc Dimension Explorer dokáže využívat webové obrazové služby společnosti ESRI. Nástroj vytváří z multidimenzionálních dat model, který lze uložit a později použít. Na obr. 4.28 je vidět ukázka rozhraní nástroje a vizualizace dostupné obrazové služby ze stránek Esri (MODIS data).



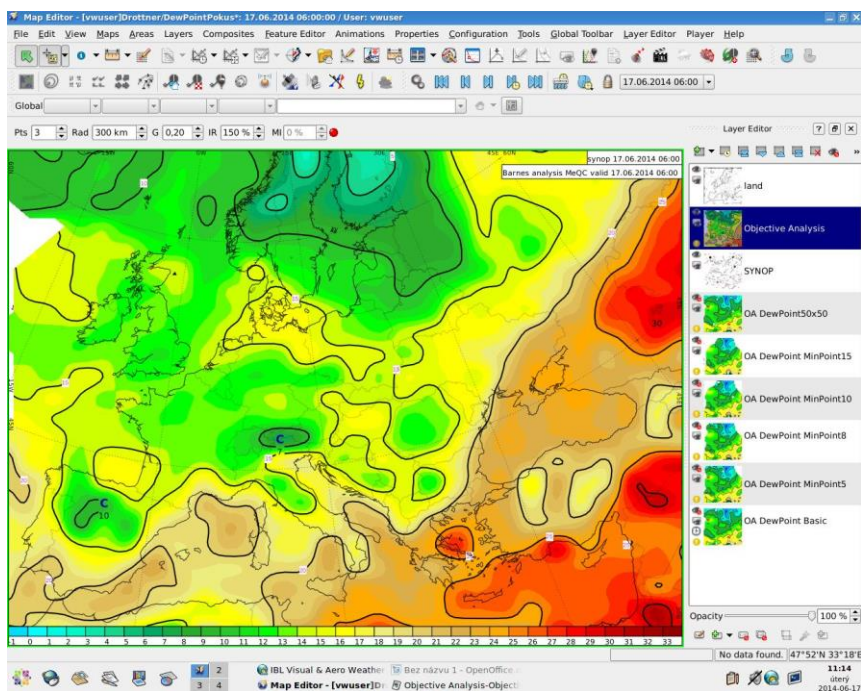
Obr. 4.28 Dimension Explorer, MODIS obrazová služba ESRI (ArcMap).

4.8 Visual Weather

Software pro meteorologická data vyvinutý Slovenskou firmou IBL software engineering (IBL, 2015). Program je celosvětově využívaný (asi 50 států) včetně velkého zastoupení v České republice, např. ČHMÚ, VGHMÚř. Implementuje velkou řadu známých meteorologických standardů (WMO, NOAA, EUMETSAT aj.). Program je ohodnocen jako nejlepší systém pro vizualizaci a zpracování meteorologických dat. VisualWeather je složen z několika dalších podprogramů a podporuje real-time zpracování dat (všechna data jsou okamžitě zobrazena). Hlavní části jsou Forecaster/Map Editor (meteorologické modely, prohlížení předpovědí, aktuální počasí SYNOP, TEMP, frontální analýzy, tvorby mapy, grafy, animace, tvorba nových vzorců aj.) Task Editor (tvorba plánovaných úloh jako jsou tisk mapy, odesílání předpovědí, výpočty aj), Field Diagnostics (GRIB data) a mnoho dalších. Program je nabízen v klient-server architektuře nebo samostatně. Podporuje GIS data a zvládá jejich editaci, vrstvy dat, výpočty, objektivní analýzy, grafy aj. Do softwaru lze importovat data ze satelitů, radarů, modely (Aladin aj.), SYNOP, METAR, upper air (IBL, 2015).

Implementovaná data, jsou součástí meteorologického systému (real-time datový tok, výměna s dalšími pracovišti, státy). Data jsou většinou získána prostřednictvím ČHMÚ (někdy jsou data naopak posílána do ČHMÚ), armádní data mají jinou hlavičku. Systém uchovává data až 10 dní, poté jsou smazána (denní datový tok je přibližně 10 – 30 GB). Velká řada datových sad a produktů vytvořených v softwaru nebyla určena veřejnosti (armádní data). Během řešení práce byl přístup k aplikaci Visual Weather časově omezený (pouze v průběhu praxe na StřPoHM, VGHMÚř).

Rozhraní programu je vidět na Obr. 4.29, konkrétně se jedná o Map Editor část. Následující část práce se věnuje objektivním analýzám a jejich vyhodnocení pro vybrané meteorologické jevy. Analýzy byly počítány nad objemnými real-time daty, které lze řadit do big dat.



Obr. 4.29 Rozhraní MapEditor (VisualWeather).

4.8.1 Hodnocení objektivních analýz

V následující podkapitole je popsán postup pro jednotlivé meteorologické jevy a dané typy objektivních analýz. Dále jsou zde uvedeny výsledky a krátké vyhodnocení jednotlivých výsledků a porovnání analýz mezi sebou.

Objektivní analýza - Barnes

Tato metoda objektivní analýzy je založena na výpočtu váženého průměru každého gridového bodu v kružnici. Metoda má hodně parametrů nastavení, takže ji lze velmi dobře a detailně přizpůsobovat charakteru území či meteorologickému prvku. Pro vyhodnocení bylo použito 125 kombinací různého nastavení pro každý zkoumaný jev. V možnostech programu lze nastavit následující parametry (v závorce jsou vždy uvedeny hodnoty základního nastavení softwaru, Obr. 3.3):

- *Trivariate analysis (Univariate)*
- *Minimum Data Points (3)*
- *Radius of Influence (500 km)*
- *Gamma (0,2)*
- *Interest ratio (150%)*

První parametr, *Trivariate analysis* slouží pro upřesnění výpočtu tlaku (geopotenciálu). Jeho možnosti jsou: *Univariate*, *Trivariate* a *Trivariate Sea Only*. První možnost použije pro výpočet pouze naměřené hodnoty ze stanic. Další metoda zahrne do výpočtu také geostropický vítr, který by měl zlepšit analýzu na místech s malým počtem stanic a také by měl nalézt tlaková centra. Není doporučen pro území, které je kopcovité a nachází se v malých zeměpisných šířkách (pod 20°). Poslední možnost je stejná jako předchozí pouze pro použití výpočtu pro oblasti nad mořem. Při změnách těchto parametrů nebyla vypořazována žádná změna (program sám okamžitě vrátil původní hodnotu *Univariate*) a tak byla ponechána v základním nastavení (VisualWeather, 2014).

Druhý parametr, *Minimum Data Points*, určuje minimální hranici počtu stanic pro výpočet analýzy. To je důležité pokud je nutné provést výpočet pro oblasti s menším počtem stanic, či menším interpolačním výběrem (*Radius of Influence*, *Interest ratio*). Při změnách tohoto parametru se však téměř nijak nemění vypočtená OA a byl tedy ponechán na základní nastavení, hodnotu.

Další tři parametry nastavení jsou již mnohem důležitější a velmi ovlivňují výslednou analýzu. Určují totiž velikost oblasti pro interpolaci, váhy daných stanic a hodnotu korekce.

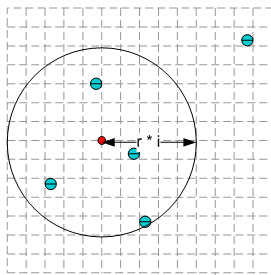
Parametr *Radius of Influence (R)* určuje velikost oblasti pro interpolaci udávanou v kilometrech a také přiřazuje jednotlivým stanicím jejich váhy ve výpočtu. Při použití nízkých hodnot jsou výsledky přesnější ale členitější, při vyšších hodnotách jsou výsledky naopak shlazené.

Dalším a pravděpodobně nejdůležitějším parametrem je *Gamma (convergence parameter, G)*, protože definuje korekce mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami. Pokud je její hodnota ponechána na 0, nad analýzou neproběhla žádná korekce a výsledky jsou nejméně přesné. Podle manuálu softwaru je předpokládán nejlepší nastavení v intervalu <0,2;0,4>.

Poslední volba nastavení, *Interest ratio (IR)* opět udává velikost interpolované oblasti a je udávána v procentech. V této oblasti musí být zahrnuto tolik datových bodů, kolik jich je definováno pomocí parametru *Minimum Data Points*].

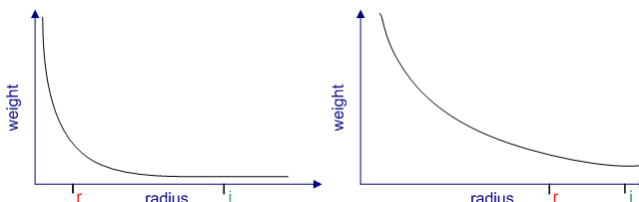
Pro výpočet je tedy důležitá oblast, ve které jsou hodnoty interpolovány a jejich hodnota korekce. Tato oblast (Obr. 4.30) je vypočítána jako součin parametrů *Radius of*

Influence a Interest ratio ($r * i$). Červeně je znázorněn gridový bod (bod, pro nějž je hodnota počítána), modře jsou znázorněny stanice (data points), ze kterých jsou hodnoty interpolovány. Kružnice zobrazuje velikost oblasti pro interpolaci.



Obr. 4.30 Interpolační schéma (VisualWeather).

Důvod proč se oblast definuje dvěma parametry, je ten, že *Radius of Influence* udává váhu datového bodu (stanice) založenou na vzdálenosti od gridového bodu. Závislost je exponenciální (Obr. 4.31).



Obr. 4.31 Závislost parametrů Radius of Influence a Interest Ratio (VisualWeather).

Radius of Influence určuje, jak rychle se mění dané hodnoty v závislosti na vzdálenosti. Pro často měnící se meteorologické jevy (ve vzdálenosti alespoň 100 km), např. teplota, se doporučuje nastavit hodnoty na nižší, aby se dosáhlo lepších výsledků.

Po vypočtení hodnoty gridového bodu, je tento výsledek porovnáván s datovým bodem. Toto porovnání je základem pro parametr *Gamma*. Jedná se o iterační proces, který každým průchodem zlepšuje výsledky (snižuje odchylky mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami). Základní nastavení programu je znázorněno na obr 4.32

Popis výpočtu:

P_i je pozice datových bodů a v_i jejich odpovídající hodnoty
prvním průchodem jsou hodnoty gridového bodu X určeny takto:

$$w_i = e^{-\left(\frac{|P_i - x|}{r}\right)^2} \quad (1)$$

$$val = \frac{\sum v_i w_i}{\sum w_i} \quad (2)$$

Kde

w_i je váha bodu i

r je *radius of influence*

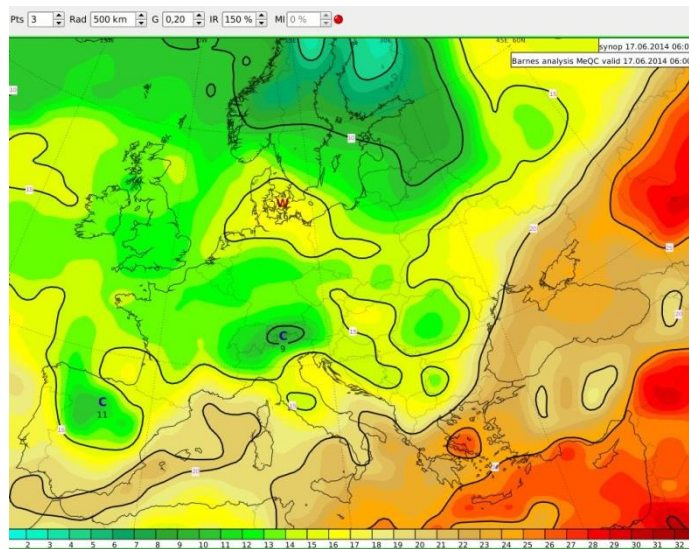
druhým průchodem je spočítána oprava pro gridový bod spočítaný z prvního průchodu

g_i je hodnota interpolovaná z gridového bodu P_i . Γ je konvergence parametr (gamma)

hodnota korekce Δval je spočítána následovně:

$$w_i = e^{-\left(\frac{|P_i - x|}{\Gamma r}\right)^2} \quad (3)$$

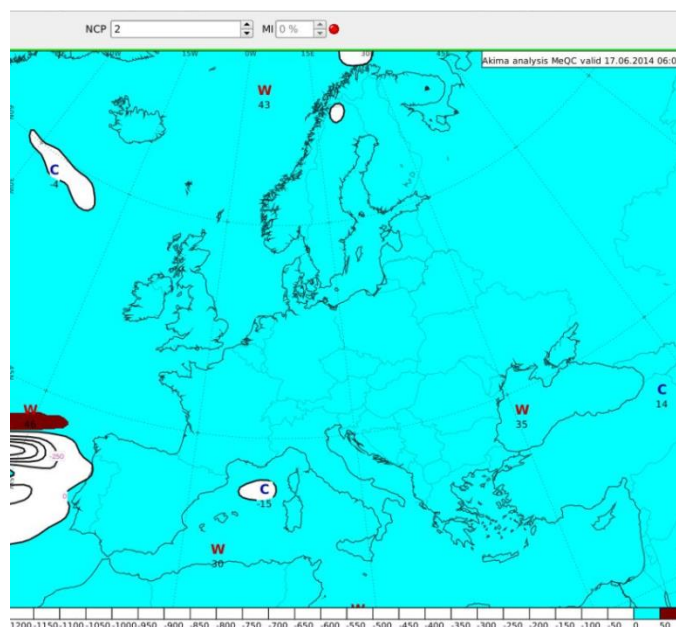
$$\Delta val = \frac{\sum(v_i - g_i)w_i}{\sum w_i} \quad (4)$$



Obr. 4.32 Základní nastavení programu pro Barnesovu analýzu teploty (VisualWeather).

Objektivní analýza - Akima

V druhé metodě Akima pro výpočet objektivní analýzy je nutné nastavení pouze jednoho parametru: *NPC*. Udává počet bodů, které budou použity při interpolačním procesu (počet spojnic mezi gridovými body). Vyšší číslo by mělo znamenat lepší a kvalitnější výpočet. Podmínkou je pouze existence stejného počtu datových bodů (meteorologických stanic). Metoda je založena na triangulaci datových bodů. Trojúhelníky jsou použity pro interpolaci. Povrch pátého řádu je umístěn napříč každým trojúhelníkem ve směru jeho trendu. Nevýhodou metody jsou značně odlišné vypočítané hodnoty od hodnot okolních v oblastech s malým počtem zdrojových dat. Důsledkem jsou jevy, které se na daných místech vůbec nevyskytují. *NPC* hodnoty lze nastavit v intervalu $\langle 2, 25 \rangle$. Při výpočtu existuje velký rozdíl mezi Z a V (VisualWeather, 2014) Základní nastavení metody znázorňuje Obr. 4.33.



Obr. 4.33 Základní nastavení programu pro Akima analýzu teploty (VisualWeather).

Objektivní analýza - Conpac

Poslední metoda Conpac se používá nejvíce pro výpočty diskretních dat, zejména tam kde se plochy mění plynule, ale může dojít k diskontinuitě. Metoda má pět parametrů k nastavení (v závorkách je opět základní nastavení programu)(VisualWeather, 2014):

- *Trivariate Analysis (Trivariate, Sea Only)*
- *Minimum number of data points (8)*
- *Method to be used (Distance weighted average)*
- *Search circle definition (digitised contour data)*
- *Destination GRID spacing (50 km)*

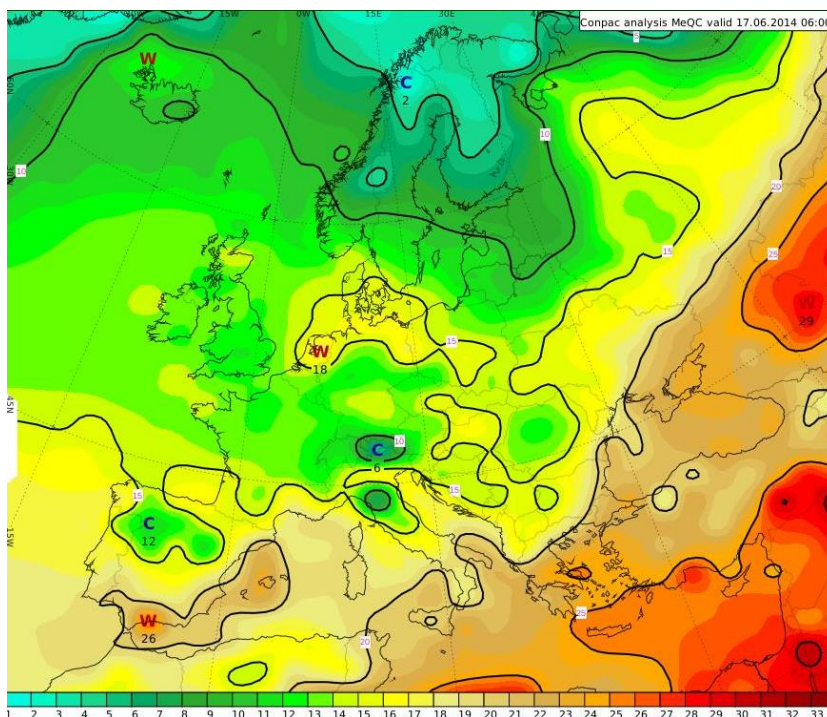
První dva parametry jsou stejné jako u metody Barnes.

Method to be used parametr slouží k volbě interpolace a umožňuje výběr mezi třemi možnostmi: *Distance weighted average*, *Least square fit of plane surface* a *Least square fit of parabolic surface* (Chernov, 2015). Tyto metody nejsou nijak popsány v manuálu IBL.

Search Circle definition parametr slouží k výběru oblasti pro interpolaci. Tento parametr také nabízí tři možnosti: *Fixed search radius*, *Variable search radius (line oriented data)* a *Fixed search radius (digitised contour data)*.

Posledním parametrem je *Destination GRID spacing* určuje hustotu gridu nastavením vzdálenosti mezi jednotlivými gridovými body v kilometrech.

Na základě konzultací s odborníky bylo rozhodnuto ponechat základní nastavení (Obr. 4.34) uvedené metody pro výpočet objektivní analýzy z důvodu jejího malého využití.



Obr. 4.34 Základní nastavení programu pro Conpac analýzu teploty (VisualWeather).

TEPLOTA ČR

Hodnocení teploty pro území ČR, bylo provedeno s použitím SYNOP zpráv všech 30 meteorologických stanic, které jsou znázorněny v Příloze 2. V následujících podkapitolách jsou uvedeny jednotlivé výsledky daných metod objektivních analýz.

Barnes metoda

Podle popisu parametrů v předchozí podkapitole tedy vyplývá, že porovnávání bylo uskutečněno na základě kombinací právě těchto tří parametrů (*Radius of Influence*, *Gamma*, *Interest Ratio*). Vždy bylo vybráno 5 možností nastavení ($5 * 5 * 5 = 125$ kombinací). Tyto kombinace byly vybrány na základě pochopení manuálu softwaru a fungování výpočtu, ale převážně na empirickém hodnocení. Nejdůležitější bylo správné nastavení hodnoty *Gamma*. Pro prvních pět kombinací byla hodnota nastavena na 0; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3 na základě informací získaných z manuálu k software, kde byly uvedeny pravděpodobné optimální hodnoty v intervalu $\langle 0,2; 0,4 \rangle$. Po vyhodnocení bylo zjištěno nejlepšího (nejmenšího) rozdílu při použití *Gamma* 0,1 a 0,15. Na základě daného výsledku byly hodnoty *Gamma* upraveny na ještě nižší a to: 0; 0,01; 0,02; 0,03 a 0,2. V následující tabulce (Tab. 4.1) jsou uvedeny výsledné sumy rozdílů mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami.

Tab. 4.1 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Barnesovu metodu OA pro teplotu ČR.

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
300	0	36,4	39,6	41,3	41,9	42,1	201,3
300	0,01	9,8	10	10	10	10	49,8
300	0,02	10,1	10,3	10,3	10,3	10,3	51,3
300	0,03	10,6	10,9	10,9	10,9	10,9	54,2
300	0,2	30	29,3	28,8	29	28,9	146
SUMA300		96,9	100,1	101,3	102,1	102,2	502,6
350	0	37,3	41,1	42,7	42,5	43	206,6
350	0,01	9,7	9,9	9,7	9,8	9,4	48,5
350	0,02	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	51,5
350	0,03	11,3	11,5	11,5	11,5	11,5	57,3
350	0,2	28,6	29,9	30,2	29,5	29,5	147,7
SUMA350		97,2	102,7	104,4	103,6	103,7	511,6
400	0	38,3	42	43,4	42,9	43	209,6
400	0,01	10,4	10,3	10,4	10,2	10,2	51,5
400	0,02	10,6	10,5	10,4	10,4	10,4	52,3
400	0,03	12	12,1	12,1	12,1	12,1	60,4
400	0,2	30,8	31,1	31,3	31,5	31,6	156,3
SUMA400		102,1	106	107,6	107,1	107,3	530,1
500	0	41,3	43,5	43,5	43,8	43,8	215,9
500	0,01	10,1	10,4	10,4	10,4	10,4	51,7
500	0,02	11,3	11,4	11,4	11,4	11,4	56,9
500	0,03	13,8	13,8	13,7	13,7	13,7	68,7
500	0,2	33,3	33,6	33,1	33,2	33,2	166,4
SUMA500		109,8	112,7	112,1	112,5	112,5	559,6

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
600	0	42,3	43,9	44,3	44,3	44,3	219,1
600	0,01	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	51
600	0,02	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	61,5
600	0,03	15,6	15,5	15,6	15,5	15,5	77,7
600	0,2	35,5	35,4	35,3	35,3	35,3	176,8
SUMA600		115,9	117,3	117,7	117,6	117,6	586,1
SUMA CELKEM		521,9	538,8	543,1	542,9	543,3	

V levé části tabulky jsou hodnoty *Radius of Influence* (300, 350, 400, 500 a 600) v kilometrech. Další hodnoty představují parametr *Gamma*. Parametr IR50 až IR200 zobrazuje velikost *Interest Ratio* v procentech. Zeleně jsou vždy vyznačeny nejlepší hodnoty v dané části plus jejich celková suma. Z tabulky lze vidět, jak se mění dané sumy rozdílů s použitím vyšších hodnot *Radiusu*, *Gamma* a *Ratio*. Základní nastavení programu (R500, G0,2 a IR150) je označeno žlutě a jeho hodnota je 33,2. Toto číslo označuje sumu všech rozdílů daných stanic, na kterých probíhalo hodnocení. Naopak nejmenší suma byla vypočtena při použití následujícího nastavení: R350, G0,01 a IR200 (označena červenou barvou) a její hodnota je 9,4. Vzhledem k tomu, že bylo porovnáváno pouze 30 stanic, byl tento rozdíl velmi vysoký a objektivní analýza se základním nastavením programu je značně odlišná od skutečnosti. Nejvyšší rozdíly jsou však při použití $G = 0$, protože při interpolaci nebyla provedena žádná korekce hodnot. Z tabulky vyplývá, že čím vyšší *Gamma*, tím horší výsledky. Při použití různých hodnotách *Radius* nejsou odchylky až tak patrné (při hodnotě G0,01; R300 je suma 49,8 a R600 je suma 51). Lze tedy konstatovat, že nastavení parametru *Radius* je více variabilní a lze ho ve větší míře nechat na uživateli v závislosti na nutnosti více shladené analýzy. Malé rozdíly jsou také při použití různého nastavení *Interest ratio*. Hodnoty je vhodné zvětšovat, pokud je nutné zahrnutí většího území nebo se ve zkoumané oblasti nenachází dostatečný počet stanic při výpočtu. Z konzultace s odborníky bylo zjištěno, že pro některé meteorologické jevy je vhodnější použití více shladených výsledků. Vzhledem k malým rozdílům mezi různým nastavením parametrů *Radius of Influence* a *Interest Ratio* je tedy možné ponechat hodnoty vyšší (právě kvůli dosažení shladených výsledků) a přitom výsledná analýza i tak odpovídá ve velké míře skutečnosti. Hlavní tedy je použití hodnoty 0,01 u parametru *Gamma*. Při ostatních hodnotách jsou již výsledky objektivní analýzy značně rozdílné, nezávisle na použití ostatních parametrů.

Akima metoda

Pro porovnání bylo opět vybráno pět různých nastavení metody: *NPC2*, *NPC3*, *NPC4*, *NPC8* a *NPC10*. V následující tabulce (Tab. 4.2) jsou uvedeny výsledky.

Tab. 4.2 Výsledek objektivní analýzy Akima metody pro teplotu ČR.

	NPC2	NPC3	NPC4	NPC8	NPC10
TEPLOTA	15,4	8,6	11,9	12,1	12,5

Z tabulky lze vidět, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití NPC3 a nejhorsích při NPC2 (což je zároveň základní nastavení programu). Jak již bylo v popisu metody zmíněno dříve, výsledné hodnoty, které byly vypočítány pro místa

s malým množstvím vstupních dat, jsou značně odlišené od okolních hodnot v prostoru. Právě tento případ nastal při použití NPC3. Detailnější popis hodnocení metody se nachází v další podkapitole věnující se porovnání všech tří metod analýz.

Conpac metoda

Jelikož bylo po konzultacích s odborníky domluveno ponechání pouze základního nastavení Conpac metody, existuje tedy jediná výsledná odchylky naměřené a vypočítané hodnoty (Tab. 4.3).

Tab. 4.3: Výsledek objektivní analýzy Conpac metody pro teplotu ČR.

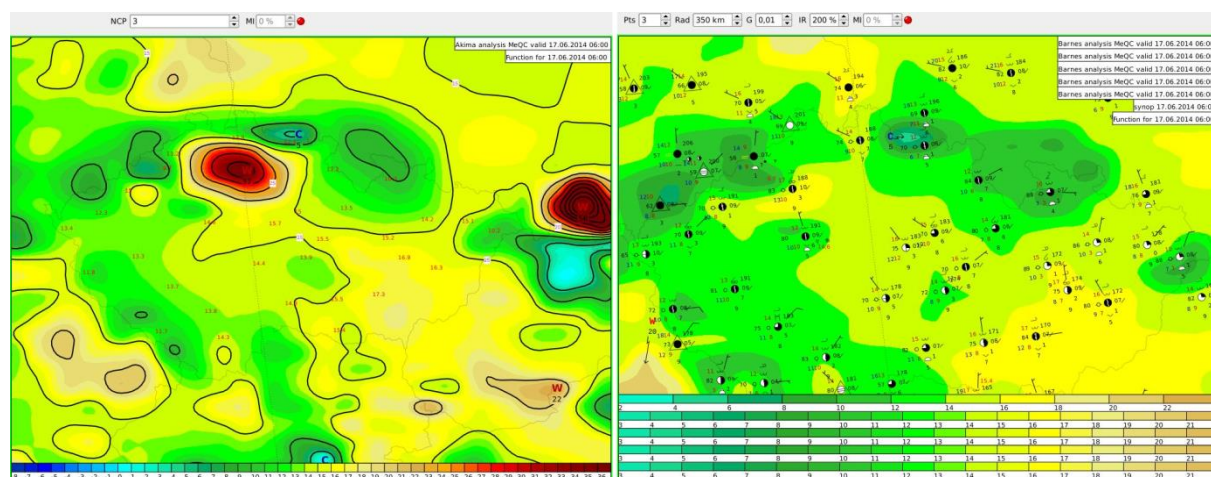
	VÝSLEDEK
TEPLOTA	18,5

Výsledná suma rozdílů hodnot při použití základního nastavení metody Conpac je tedy 18,5.

VYHODNOCENÍ – Teplota ČR

Nejlepších výsledků dosahovala metoda Akima při použití NPC3 (suma byla pouhých 8,6). I když byly vypočítané odchylky nejnižší a analýza se tak blížila nejvíce skutečnosti, je těžké posoudit, zda se dá považovat za nejhodnější výsledek. Na některých místech se mohou vyskytovat nesmyslné údaje, což má za důsledek znehodnocení celé analýzy pro její využití. Na Obr. 4.35 (porovnání obou metod) lze vidět, že rozdíly jsou opravdu velké a Akima metoda vytváří tzv. „bull's-eyes“. Druhá nejlepší (nejnižší odchylky) byla Barnesova metoda s parametry R350,G0,01, a IR200 (suma 9,4. Různé nastavení Barnesovy metody jsou uvedeny v Tab. 3. Nejhorší výsledky měla metoda Barnes při R600,G 0,02 IR50).

Jak již bylo zmíněno v částech práce zabývající se popisem Barnesovy metody, nastavení parametrů závisí na požadavku shlazené analýzy. Výsledky, kterých dosahuje metoda při použití R350,G0,01 a IR200 mohou být v konečném důsledku méně přehledné a informativní než při použití R600, G0,01 a IR50 a přitom rozdíly sum jsou velmi malé. Rozhodnutí, které nastavení metod tak závisí na synoptikovi, pro kterého bude shlazená analýza více odpovídat reálné situaci



Obr. 4.35 Porovnání Akima NPC3 (vlevo) a Barnes R350,G0,01, a IR200 (vpravo) (VisualWeather).

TLAK ČR

Jak již bylo na začátku práce zmíněno, do výpočtu tlaku nebyly zahrnuty všechny měřicí stanice z důvodu jejich vysoké nadmořské výšky. Porovnání tedy probíhalo z 19 stanic (uvedených Příloze 1 nebarevně / světlou barvou). Datum bylo ponecháno stejné: 24.6.2014 06:00 UTC. V následujících tabulkách jsou uvedeny sumy rozdílů mezi nastaveními. Parametry nastavení (Radius, Gamma, Interest Ratio, NPC) byly ponechány stejně jako při výpočtu teploty z důvodu jejich vhodného nastavení, pokud nebyly nalezeny nové (lepší) možnosti.

Barnes metoda

Kvůli použití stejného nastavení metody jako v případě teploty, bylo předpokládáno dosažení stejných výsledků. V následující tabulce (Tab. 4.4) jsou zobrazeny výsledné sumy odchylek mezi naměřenými a vypočítanými daty.

Tab. 4.4 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Barnesovu metodu OA tlaku ČR.

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
300	0	7,8	11,4	13	14,1	13,8	60,1
300	0,01	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	93
300	0,02	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	2,9
300	0,03	0,4	0,5	0,7	0,6	0,6	2,8
300	0,2	4	4,1	4,3	3,9	4	20,3
SUMA300		31,3	35,2	37,2	37,8	37,6	179,1
350	0	8,7	12,7	13,8	13,7	13	61,9
350	0,01	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
350	0,02	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
350	0,03	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	3
350	0,2	4,2	5,2	5	4,9	5	24,3
SUMA350		14,5	19,5	20,4	20,2	19,6	94,2
400	0	10	13,3	13,9	14,4	14,5	66,1
400	0,01	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5
400	0,02	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	2,9
400	0,03	0,6	1	1,3	1,7	2,1	6,7
400	0,2	5	5,6	5,4	5,3	5,3	26,6
SUMA400		16,6	21	21,7	22,5	23	104,8
500	0	12,8	14,1	14,7	14,8	14,8	71,2
500	0,01	0,6	0,7	1,7	2,7	3,7	9,4
500	0,02	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	3,1
500	0,03	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	6,3
500	0,2	6,8	6,9	6,8	6,7	6,7	33,9
SUMA500		22,3	23,6	25	26	27	123,9
600	0	13,6	14,1	15	15,3	15,3	73,3
600	0,01	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	3
600	0,02	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	2,9
600	0,03	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	4,2
600	0,2	8,3	7,7	7,9	7,9	7,9	39,7

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
SUMA600		24	23,8	24,9	25,2	25,2	123,1
SUMA CELKEM		108,7	123,1	129,2	131,7	132,4	

V tabulce jsou barvami rozlišeny výsledky podle stejného vzorce jako u analýzy teploty (červená je nejnižší dosažený rozdíl mezi vypočítanou a naměřenou hodnotou, žlutě je vyznačeno základní nastavení programu, zeleně jsou vždy nejnižší dílčí rozdíly pro dané nastavení). Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití R300; G 0,03 a IR50; suma odchylek ze stanic představovala hodnotu **0,4**. Avšak celková suma odchylek při použití R300 není nejnižší (2,8) a lze tedy konstatovat, že daný výsledek byl dosažen možnou chybou při vyhodnocování. Celkově nejlepší výsledky (odchylka pro různé IR 0,5, celková suma 2,5) byly při použití R350 a G 0,01 (0,02). Nejhorší výsledky byly opět získány nastavením parametru Gamma na hodnotu 0 (bez korekce). Základní nastavení programu dosáhlo odchylky 6,7. Se zvyšující hodnotou *Radius* se odchylky zvětšují (méně přesně). Tento trend byl zpozorován také u počítání odchylek teploty. Naopak čím nižší je IR, tím přesnější je výsledek (rozdíl oproti teplotě, kde při hodnotách G 0,01 a 0,02 byly dosaženy nejnižší odchylky při vyšších hodnotách IR).

Akima metoda

Při porovnávání výsledků bylo zjištěno, že s větší hodnotou NPC jsou výsledky přesnější a na tomto základě bylo rozhodnuto o přidání dalších hodnot. Analýza byla tedy provedena navíc pro NPC12 a NPC15. Vypočítané odchylky jsou znázorněny v Tab. 4.5.

Tab. 4.5 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Akima metodu tlaku ČR.

	NPC2	NPC3	NPC4	NPC8	NPC10	NPC12
TLAK	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2

Pro nově přidané hodnoty nastavení byly vypočítány stejné odchylky, a tedy 0,2, které představují nejlepší výsledek analýzy. Vyšší nastavení NPC hodnoty již vykazovalo horší výsledky. Z toho důvodu je v tabulce zobrazena suma pouze pro NPC12. Nejhoršího výsledku (nejvyšší odchylka) bylo dosaženo při použití NPC2 (suma odchylek 0,7).

Conpac metoda

Pro vyhodnocení tlaku na území ČR byla Conpac metoda opět ponechána v základním nastavení a výsledkem je tak pouze jedna hodnota zobrazená v Tab. 4.6.

Tab. 4.6: Výsledné hodnoty různého nastavení pro Conpac metodu tlaku ČR.

	VÝSLEDEK
TLAK	3,8

Výsledná suma rozdílů naměřených a vypočítaných hodnot Conpac metody objektivní analýzy je 3,8.

VYHODNOCENÍ – Tlak ČR

Stejně jako u teploty, i u tlaku platí, že nejlepší výsledky dosáhla analýza Akima, která však zde v případě tlaku byla použita s nastavením NPC12. Bylo dosaženo odchylky 0,2. Druhých nejlepších výsledků dosahovala opět Akima s NPC10 a NPC8 (rozdíl 0,3). Tyto sumy odchylek jsou velmi malé a nejlépe odpovídají naměřeným hodnotám tlaku. Pokud je však nutné detailnější nastavení analýzy a ne jen jednoho prvku, s použitím Barnesovy metody bylo dosaženo nejnižší možné odchylky 0,4 a 0,5, které jsou také velmi uspokojivé. Vzhledem k charakteru meteorologického jevu jakým je tlak, je výhodnější pro synoptiky, aby byl výsledný povrch více shlazený. Lze tedy konstatovat, že použití Barnesovy metody může být za určitých podmínek (nutnost většího shlazení) lepší, než použití Akima metody i když byly vypočítané hodnoty nižší.

Nejhorších výsledků bylo dosaženo při použití Barnesovy metody s nastavením R600, G0,02 a IR50. Sumy vypočítané s parametrem G 0 nebyly zahrnuty do porovnání z důvodů nulové korekce. Výsledek metody Conpac s základním nastavením nedosáhl při porovnání tak dobrých výsledků jako ostatní dvě metody a není tedy nejvhodnějším výběrem analýzy.

TEPLOTA ROSNÉHO BODU ČR

Do výpočtu teploty rosného bodu bylo zahrnuto všech 30 meteorologických stanic jako v případě výpočtu teploty. Datum 24.6.2014 06:00 UTC bylo shodné pro všechny tři metody analýz. Hodnoty nastavených parametrů byly ponechány jako u předchozích meteorologických jevů, změny nastaly pouze v případě zjištění lepších výsledků.

Barnes metoda

V následující tabulce (Tab. 4.7) jsou uvedeny vypočítané odchylky daného nastavení Barnesovy metody objektivní analýzy pro výpočet teploty rosného bodu. Grafické znázornění barev tabulky je zachováno z důvodu lepší orientace a porovnání.

Tab. 4.7 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Barnesovu metodu teploty rosného bodu ČR.

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
300	0	48,8	61,6	69,8	77,8	78	336
300	0,01	9,5	9,6	9,6	9,6	9,6	47,9
300	0,02	9,3	9,4	9,2	9,2	9,2	46,3
300	0,03	10	9,9	9,8	9,8	9,8	49,3
300	0,2	34,6	36,2	35,5	36	35,9	178,2
SUMA300		112,2	126,7	133,9	142,4	142,5	657,7
350	0	53,1	67,3	76,4	81,7	81,9	360,4
350	0,01	9,5	9,4	9,6	9,6	9,6	47,7
350	0,02	9,6	9,5	9,6	9,5	9,5	47,7
350	0,03	10,8	10,4	10,4	10,5	10,5	52,6
350	0,2	37,6	38,9	38,4	39	38,9	192,8
SUMA350		120,6	135,5	144,4	150,3	150,4	701,2
400	0	58,6	72,4	81,7	84,8	84,9	382,4
400	0,01	9,3	9,8	10,8	11,8	12,8	54,5
400	0,02	7,2	7	7	7	7	35,2

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
400	0,03	8,2	8,4	8,5	8,5	8,5	42,1
400	0,2	39	39,4	40,4	40,6	40,5	199,9
SUMA400		122,3	137	148,4	152,7	153,7	714,1
500	0	69,1	86,3	89,9	91,3	91,3	427,9
500	0,01	6,4	6,9	7,9	8,9	9,9	40
500	0,02	7,5	7,5	7,2	7,4	7,4	37
500	0,03	9,8	10	9,8	9,8	9,9	49,3
500	0,2	43,2	44,9	45	44,9	44,9	222,9
SUMA500		136	155,6	159,8	162,3	163,4	777,1
600	0	77,5	90,9	93,2	93,2	93,2	448
600	0,01	6,7	6,6	6,5	6,5	6,5	32,8
600	0,02	8,2	12,9	12,7	12,7	12,7	59,2
600	0,03	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	52,3
600	0,2	47,2	49,2	49,4	49	49	243,8
SUMA600		150	170	172,3	171,9	171,9	836,1
SUMA CELKEM		641,1	724,8	758,8	779,6	781,9	

Z uvedené tabulky výsledků (Tab 4.7) lze vidět opačný trend snižování sumy odchylek, než tomu bylo v případě teploty a tlaku. Hodnota odchylek klesá s narůstající hodnotou parametru Radius. Stále, ale platí, že celkově nejlepší výsledky jsou dosaženy pomocí nižších hodnot IR. Nejlepší výsledky byly získány při použití R500, G0,01, IR50. Hodnota sumy odchylek byla **6,4** (červeně). Konečná suma odchylek při použití R500, G0,01 však nebyla nejnižší (hodnota 37), stejně jako tomu bylo u porovnávání tlaku. Analýza s daným nastavením (IR50) nebyla považována za příliš adekvátní výsledek z důvodu velmi neshlazeného povrchu. Nejlepších celkových výsledků bylo dosaženo při použití R600, G0,01 kdy byla suma všech IR 32,8 (IR100, 150 a 200 mělo hodnotu 6,5). Se základním nastavením této metody analýzy byl výsledek 44,9. Celkově nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití R600, G0,01 kde suma odchylek byla 32,8. Největší rozdíly mezi vypočítanou a naměřenou hodnotou (pro dané nastavení IR se rozdíl pohyboval v rozmezí 47,2 až 49, celková suma 243,8) byly získány při použití R600, G0,2.

Akima metoda

Pro výpočet teploty rosného bodu Akima metodou byly použity stejné parametry nastavení jako v případě výpočtu teploty. Následující tabulka (Tab 4.8) znázorňuje výsledné odchylky.

Tab. 4.8 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Akima metodu teploty rosného bodu ČR.

	NPC2	NPC3	NPC4	NPC8	NPC10
TAPLOTA ROSNÉHO BODU	14,4	9,6	9,8	10,5	11,3

Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití NPC3 (9,6) a nejhorších při NP2 (14,4). V případě porovnávání teploty rosného bodu nebylo třeba přidání dalších nastavení parametru NPC jelikož odchylky neklesaly s jeho zvětšováním.

Conpac metoda

Výsledná suma odchylek mezi naměřenými a vypočítanými daty je zobrazena v Tab. 4.9. Opět bylo použito pouze základní nastavení metody.

Tab. 4.9 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Conpac metodu teploty rosného bodu ČR.

	výsledek
TEPLOTA ROSNÉHO BODU	27

Továrním nastavením dané analýzy byla vypočítána suma odchylek 27.

VYHODNOCENÍ – Teplota rosného bodu ČR

V případě porovnávání výsledků rozdílů vypočtené a naměřené hodnoty u teploty rosného bodu bylo poprvé dosaženo nižších (lepších) výsledků při použití Barnesovy metody objektivní analýzy, nikoli Akima metody jak tomu bylo u předchozích meteorologických jevů. Nejlepší výsledek byla tedy odchylka 6,5 při použití R600,G0,01 IR100,150,200 a celková suma odchylek (při R600, G0,01) byla 32,8. Tyto rozdíly lze považovat za velmi dobré (odpovídající skutečným naměřeným hodnotám a zároveň je výsledný povrch shlazený a tedy lépe čitelný). Překvapivé však bylo zjištění, že klesající hodnoty odchylek jsou nepřímo úměrné hodnotám parametru Radius.

Nejhorších výsledků bylo opět dosaženo při použití nulové korekce ($G = 0$) a také G0,02.

TEPLOTA EVROPA

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.1.2, výpočet byl proveden z vybraných meteorologických stanic a jejich zprávy TEMP se sledovanou výškou 850 hPa, nikoli zprávy SYNOP. Datum analýzy by 25.6.2014 00:00 UTC. Hodnoty parametrů daných analýz měly být ponechány stejné jako při porovnávání nad území ČR, aby bylo zjištěno, zda lze dané nastavení použít i na větší území. Nastavení však bylo nutné upravit právě kvůli charakteru území. Při provedení výpočtu byl jeho proces zastaven a program byl ukončen kvůli nedostatečnému výpočetnímu výkonu počítače, na kterém probíhalo hodnocení. Daný problém se vyskytoval nejvíce u Barnesovy metody, změny však byly provedeny i u Akima metody.

Barnes metoda

Jak již bylo řečeno, původní hodnoty pro výpočet nemohly být ponechány. Vyskytly se dva problémy, kvůli kterým nebylo možné provést analýzu. Prvním důvodem byla lokalita některých stanic, které se nacházely na okraji oblasti výpočtu, a program tedy nebyl schopen dopočítat výsledky. To bylo opraveno změnou parametru *Radius* i *IR*. Dalším, mnohem závažnějším problémem však byl (pravděpodobně) nedostatečný výkon počítače pro výpočet. Vzhledem k výsledkům, které byly dosaženy při porovnávání rozdílů nad územím ČR, kde odchylky byly velmi malé (proces výpočtu byl tedy velmi složitý i na tak malém území) bylo mylné domnívat se, že program dokáže pracovat se stejnými hodnotami korekce. Z toho důvodu se musela cíleně snížit kvalita analýzy zvýšením parametru *Gamma*, který určuje míru dané korekce mezi vypočítanou a naměřenou hodnotou. Po nalezení správných hodnot *Gamma* a jejího použití zmizely první problémy s okrajovými stanicemi. Předpokládá se, že neúmyslné vyřešení

neúplnosti výpočtu v krajních částech oblasti, je důsledkem toho, že samotný interpolační proces již není tak přísný (vyšší *Gamma*) a neobsahuje tolik iterací, tudíž okrajové stanice mohou být zahrnuty. Místo původních hodnot G0, G0,01, G0,02, G0,03 a G0,2 byly použity tyto hodnoty: G0, G0,08, G0,1, G0,12 a G0,15. Při změně se vycházelo z poznatku „čím nižší gamma (kromě 0) tím menší jsou odchylky“. Grafické zpracování tabulky (Tab. 4.10) zobrazující výsledné odchylky, bylo ponecháno jako v předchozích případech.

Tab. 4.10 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Barnesovu metodu teploty Evropy.

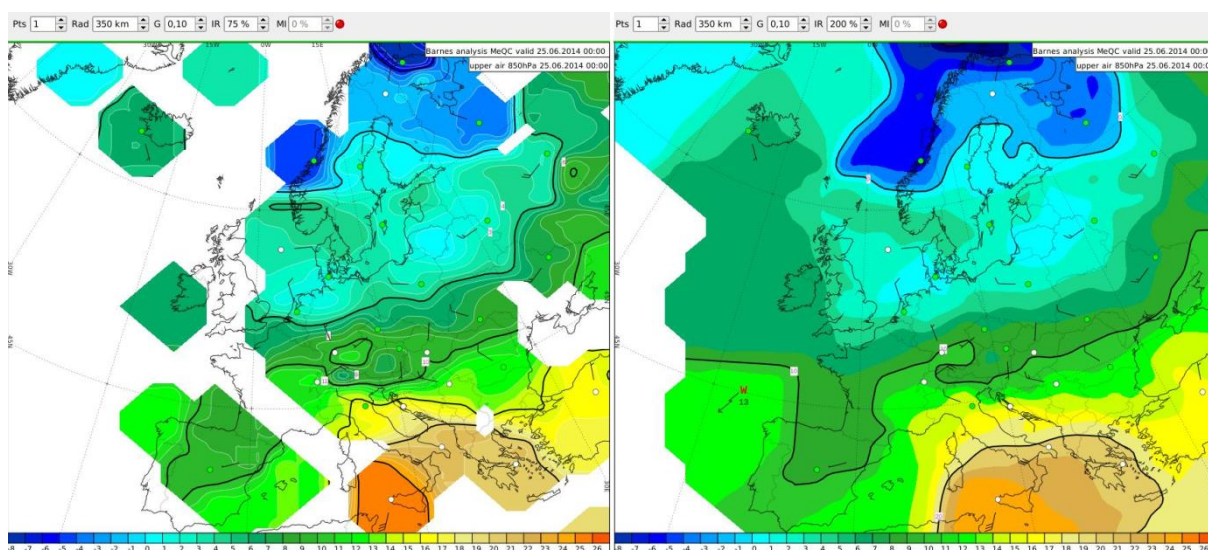
RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
300	0	8,5	10,4	17,3	24,7	27	87,9
300	0,08	5,3	5,3	2,7	3,6	3,5	20,4
300	0,1	4,9	4,9	2,5	3	3,2	18,5
300	0,12	4,7	4,7	2,4	3,1	3,2	18,1
300	0,15	5	5	2,8	3,6	3,5	19,9
SUMA300		28,4	30,3	27,7	38	40,4	164,8
350	0	5,3	14,1	22	29,3	32,5	103,2
350	0,08	2,2	2,2	2,4	3,3	3,1	13,2
350	0,1	1,9	1,9	3,6	3,9	3,7	15
350	0,12	2	2	4,4	4,8	3,5	16,7
350	0,15	1,8	1,8	3,2	3,5	3,2	13,5
SUMA350		13,2	22	35,6	44,8	46	161,6
400	0	7,7	18,2	27,7	35,9	39,4	128,9
400	0,08	1,9	1,9	3,4	3,5	3,7	14,4
400	0,1	2,1	2,1	3,6	3,7	3,8	15,3
400	0,12	1,9	1,9	3,7	3,8	3,9	15,2
400	0,15	2	2	3,6	3,5	4	15,1
SUMA400		15,6	26,1	42	50,4	54,8	188,9
500	0	15,7	26,8	34,8	44,3	50,6	172,2
500	0,08	3,4	3,4	3,8	4,1	4,1	18,8
500	0,1	3,8	3,8	3,8	4	4,5	19,9
500	0,12	3,1	3,1	3,6	3,5	3,7	17
500	0,15	3,2	3,2	3,7	3,7	4	17,8
SUMA500		29,2	40,3	49,7	59,6	66,9	245,7
600	0	20,5	33,6	44,5	56	60,7	215,3
600	0,08	3,6	3,6	3,4	4,1	4,1	18,8
600	0,1	3,7	3,7	4,6	4	4	20
600	0,12	3,8	3,8	3,6	4,3	4,4	19,9
600	0,15	3,7	3,7	3,6	4	4,1	19,1
SUMA600		35,3	48,4	59,7	72,4	77,3	293,1
SUMA CELKEM		121,7	167,1	214,7	265,2	285,4	

Z tabulky opět vyplývá již známé pravidlo, čím nižší parametr *Gamma*, tím nižší odchylka a výsledek tedy více odpovídá realitě. Další vazba, která lze vyčíst z tabulky je přímá úměra mezi hodnotou parametru *Radius* a vypočítanou odchylkou (čím vyšší je

Radius, tím vyšší je odchylka). U parametru *IR* bylo znovu prokázáno, že čím nižší jsou jeho hodnoty, tím přesnější je výpočet.

Nejlepší výsledky (odchylka **1,9** opět označena červenou barvou) byly dosaženy hned několikrát a to při různém nastavení. Poprvé byl tento rozdíl získán při použití R350, G0,1 IR50, IR75. Podruhé při R400, G0,12 IR50 a IR75. Nejlepší celková suma (všechny *IR*) však byla vypočítána při použití jiného nastavení a to: R350, G0,08 a dosahovala čísel 13,2. Nejhorších výsledků (analýza s G0 nebyla zahrnuta) bylo dosaženo s R600, G0,1 kde suma všech *IR* měla hodnotu 20. I když byly výsledné odchylky s použitím nízkých hodnot *Radius* a *IR* nejnižší, celkový povrch však nebyl spojitý, nýbrž se v něm nacházely mezery (na Obr. 4.36 lze vidět rozdíl mezi IR75 a IR200).

Přesto, že do porovnání nebylo zahrnuto základní nastavení programu (*Gamma* 0,2 nebyla vůbec použita), na základě vypočítaných odchylek lze konstatovat, že hodnoty vyšší G0,15 by dosahovaly horších výsledků.



Obr. 4.36 Porovnání Barnesova metoda, vlevo IR50 a vpravo IR200 (VisualWeather).

Akima metoda

Stejně jako u Barnesovy metody i zde byly nutné změny v nastavení parametrů pro výpočet objektivní analýzy. Původní hodnoty NPC 2,3,4,8 a 10 byly nahrazeny 3,4,5,8 a 10. Tato změna byla nutná ze stejného důvodu jako u metody Barnes, počítač nebyl schopný z (pravděpodobně) výpočetních důvodů provést výpočet s nižší hodnotou NPC. Tab. 4.11 představuje výsledné sumy odchylek.

Tab. 4.11 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Akima metodu teploty Evropy.

	NPC3	NPC4	NPC5	NPC8	NPC10
TEPLOTA	3,8	5,1	5,1	4,9	5,1

Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití NPC3 (hodnota 3,8) a nejhorších při použití NPC4,5 a 10.

Conpac metoda

Vzhledem k použití základního nastavení Conpac metody objektivní analýzy nebylo nutné provedení žádných úprav. Výsledná suma odchylek je znázorněná v Tab. 4.12.

Tab. 4.12 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Conpac metodu teploty Evropy.

	VÝSLEDKY
TEPLOTA	32,5

Základním nastavením Conpac metody bylo dosaženo celkové sumy odchylek 32,5.

VYHODNOCENÍ – Teplota Evropa

Oproti výsledkům analýz ze zpráv SYNOP nad území ČR, kde nejlepších výsledků dosahovala metoda Akima, v případě testování vybraných evropských stanic byly vypočítány nejnižší odchylky u Barnesovy metody. Výsledné hodnoty dosahovaly sumy 1,9 (celková suma 13,2). Z uvedených tabulek lze konstatovat, že nejlepší volba pro výpočet teploty nad tak velkým územím jako je Evropa, je volba nízkých hodnot u daných parametrů R350 (R400), G0,01 (G0,12) a IR50 (IR75). Avšak při porovnání vizualizace výsledné analýzy, byl opět zjištěn nespojitý povrch. Dané nastavení tedy velmi záleží na daném charakteru území a je nutné brát v potaz okrajové stanice a výpočetní schopnost systému. Tak přesný výpočet nad rozsáhlou oblastí je velice náročný a závisí tedy na uživateli, do jaké míry bude odchylka tolerována včetně potřeby pokrytí celého území. Stejně jako v předchozích situacích, pokud je nutné větší shlazení povrchu, lze připustit vyšší hodnoty pro parametry *Radius* a *IR*. Výsledné odchylky dosahují i s vyšším nastavením uspokojujících čísel. Při takové potřebě více shlazeného povrchu a úvaze, že je tedy nutné použití větších hodnot *Radius* lze také uvažovat o využití jiné metody výpočtu analýzy, a to Akima s nastavením NPC3 (odchylka zde dosahuje hodnoty 3,8).

Zajímavých rozdílů však také dosahují analýzy s použitím nulové korekce (G0). Podmínkou však je volba nízkých hodnot pro parametr *Radius* (R350) a *IR* (IR50). Zde se odchylky pohybují od 5,3. Takových výsledků bylo během testování dosaženo poprvé a rozdíl mezi analýzou bez korekce a s korekcí není až tak velký.

Největší rozdíly mezi naměřenými a vypočítanými daty byly získány při interpolaci pomocí metody Conpac. Odchylka dosáhla hodnoty 32,5. Rozdíl lze považovat za příliš velký na to, aby bylo použití dané analýzy vhodné.

GEOPOTENCIÁL EVROPA

Při vyhodnocování geopotenciálu na území Evropy byly objeveny stejné problémy s pravděpodobně nedostačujícím výpočetním výkonem jako u testování teploty a hodnoty parametru *Gamma* musely být také změněny podle předchozího funkčního nastavení. Změna se tedy týkala jak u metody Barnes tak Akima. Analýzy byly provedeny s datem 25.6.2014 00:00 UTC.

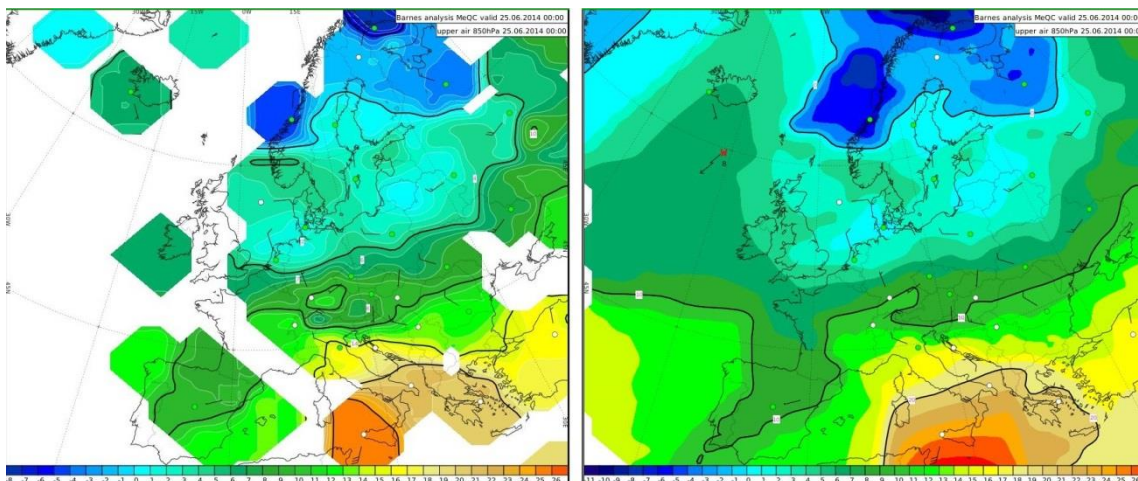
Barnes metoda

Hodnoty parametrů Barnesovy metody OA byly změněny stejně jako v případě výpočtu teploty z důvodu uskutečnění výpočtu. Následující tabulka (Tab. 4.13) zobrazuje vypočítané sumy odchylek.

Tab. 4.13 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Barnesovu metodu geopotenciálu Evropy.

RADIUS	GAMMA	IR50	IR75	IR100	IR150	IR200	SUMA
300	0	45,5	70,5	110,3	161,7	180,8	568,8
300	0,08	24,3	24,3	15,4	19,5	21,3	104,8
300	0,1	24,7	24,7	15,9	20,3	25,7	111,3
300	0,12	24,4	24,4	15,5	20,4	22,5	107,2
300	0,15	24,9	24,9	16,8	21	23,3	110,9
SUMA300		143,8	168,8	173,9	242,9	273,6	1003
350	0	45,4	86,4	135,7	210,1	224,5	702,1
350	0,08	14,2	14,2	19,4	24,2	24,4	96,4
350	0,1	14,2	14,2	18,9	24,6	23,6	95,5
350	0,12	13,8	13,8	19,4	23,3	22,1	92,4
350	0,15	17,9	17,9	18,5	23,1	22,5	99,9
SUMA350		105,5	146,5	211,9	305,3	317,1	1086,3
400	0	54,2	123,2	162,2	244,8	267,4	851,8
400	0,08	17	17	21,7	23,1	24	102,8
400	0,1	16,8	16,8	21,7	22,3	23,3	100,9
400	0,12	16,6	16,6	21,5	21,9	23,2	99,8
400	0,15	16,6	16,6	21,9	23,5	22,2	100,8
SUMA400		121,2	190,2	249	335,6	360,1	1256,1
500	0	75,4	175,6	261	308,1	343	1163,1
500	0,08	18,1	18,1	28	27,5	26,6	118,3
500	0,1	18,3	18,3	24,6	24,5	23,5	109,2
500	0,12	18,7	18,7	24,5	24,5	23,8	110,2
500	0,15	18,5	18,5	25,2	25,2	24,4	111,8
SUMA500		149	249,2	363,3	409,8	441,3	1612,6
600	0	133,5	235,6	300,8	379,6	408,7	1458,2
600	0,08	22,7	22,7	26,9	23,5	25,9	121,7
600	0,1	21,9	21,9	26,2	22,6	25,4	118
600	0,12	21,6	21,6	25,1	22,7	25	116
600	0,15	24	24	27,8	24,9	26,8	127,5
SUMA600		223,7	325,8	406,8	473,3	511,8	1941,4
SUMA CELKEM		743,2	1080,5	1404,9	1766,9	1903,9	

V případě geopotenciálu se znovu opakuje pravidlo, při kterém jsou lepší výsledky dosaženy při použití nižších hodnot parametrů *Radius* a *IR*. Nejmenší odchylky (13,8) byly vypočteny při nastavení R350, G0,12 a IR50 (IR75). Celková suma při použití R350, G0,12 a všech možností IR byla také nejlepší výsledek a měla hodnotu 92,4. Analýzy bez korekcí byly velmi odlišné od naměřených dat ze stanic. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při použití vyšších hodnot parametrů *Radius* a *IR*. Na Obr. 4.37 jsou zobrazeny nejlepší vypočítané výsledky (vlevo) a nejhorší R600, G0,15 a IR200 (vpravo). Z obrázků opět vyplývá, že je vždy na rozhodnutí synoptika jakou možnost zvolí.



Obr. 4.37 Porovnání nejlepších výsledků (vlevo) a nejhorších (vpravo)(VisualWeather).

Akima metoda

Nastavení uvedené metody objektivní analýzy muselo být jako u předchozích příkladů upraveno, tak aby byl výpočet proveden. Tab. 4.14 zobrazuje výsledné sumy odchylek.

Tab. 4.14 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Akima metodu geopotenciálu Evropy.

	NPC3	NPC4	NPC5	NPC8	NPC10
GEOPOTENCIÁL	30,6	28,6	31,8	35,6	36,7

Po nutných úpravách, jak tomu bylo při výpočtu teploty, bylo nejlepších výsledků dosaženo při použití NP4 s výslednou odchylkou 28,6. Největší rozdíly mezi naměřenými daty a vypočítanými se objevily při NPC10 (rozdíl 36,7). Se zvětšující se hodnotou parametru NPC bylo dosaženo horších výsledků.

Conpac metoda

Výpočet sum odchylek mezi naměřenými a vypočítanými daty nemusel být v případě Conpac metody upraven. Výsledek je zobrazen v Tab. 4.15.

Tab. 4.15 Výsledné hodnoty různého nastavení pro Conpac metodu geopotenciálu Evropy.

	VÝSLEDKY
GEOPOTENCIAL	224,6

Výsledná suma odchylek vypočítaná Conpac metodou OA je 224,6.

VYHODNOCENÍ – Geopotenciál Evropa

Při porovnání daných metod analýz a jejich výsledků se prokázalo, že nejlepší volbou (na základě nejnížší možné odchylky) bylo použití Barnesovy metody R350, G0,12 a IR50 (IR75). Odchylka byla pouhých 13,8. Celkově všechny možné nastavení analýzy,

které byly u Barnesovy metody provedeny, dosáhly lepších výsledků než Akima a Conpac. Největší odchylky byly dosaženy, při použití Conpac metody s výslednou hodnotou 224,6.

Nejnižší sumy odchylek však nemusejí vždy znamenat nejvhodnější výsledky a je tam na daném synoptikovi, jaké nastavení je pro něj lepší. Pokud je nutné zahrnutí celého území pro lepší pochopení vývoje daného jevu (geopotenciál), je lepší použití nastavení, které vypočítá shlazenější výsledky. Rozdíly mezi odchylkami výsledných shlazených analýzy však mohou být velmi vysoké (nejlepší výsledek 13,8 a nejhorší 26,8).

5 VÝSLEDKY

Hlavními výsledky diplomové práce jsou možnosti zpracování a vizualizace meteorologických dat ve vybraných softwarech a jejich následné srovnání včetně integrace big dat do GIS prostředí. Dalším výsledkem je vyhodnocení objektivních analýz a upravení interpolačních metod Barnes, Akima a Conpac pro získání přesnějších výsledků. Jelikož byla značná část výsledků obsahem předešlé kapitoly, tato kapitola je pouze shrnutím získaných poznatků.

5.1 Výsledky testování funkcí

Výběr hodnocených softwarů byl určen tak, aby zahrnoval nejpoužívanější programy zpracovávající meteorologická big data. Ve výběru byla zastoupena open-source ale i komerční řešení. Uvedené programy jsou velmi specifické kvůli jejich využití. I přes to, že většina z nich je volně šiřitelná, nabízejí velký počet nástrojů pro zpracování a vizualizaci dat. Kvůli charakteru jevu, jakým je počasí, je velice vhodná implementace vzdáleného připojení k serverům, kde může uživatel vybírat z velkého množství dostupných katalogů meteorologických dat. Souhrnné vyhodnocení jednotlivých softwarů je uvedeno v příloze práce (Příloha 8).

GIS Tools For Hadoop

Nástroje pro propojení Hadoop s ArcGIS, které umožňují práci s big daty. Nástroje jsou open-source projekt vedený Esri týmem na GitHub, který je neustále ve vývojové fázi. V současné době umožňuje práci pouze s vektorovými daty a podle vyjádření jednoho z pracovníků Esri zatím není plánováno rastrové rozšíření. Ukázkové příklady navíc zatím nejsou zcela funkční. Vzhledem k široké základně uživatelů programu ArcGIS a zvětšujícímu se objemu big geodat, lze předpokládat stále větší využití projektu. Zkušenosti uživatelé (resp. programátoři) již nyní mohou vytvářet vlastní MapReduce aplikace a značně urychlit práci s velkými daty, které pak lze vizualizovat v prostředí ArcGIS. Potenciál, který nabízí spojení big dat, Hadoop přístupu s klasickými GIS systémy je obrovský, neboť lze značně zkrátit dobu zpracování dat.

IDV

Testování IDV probíhalo ve verzi 5.1u1. Přesto, že tento program je open-source, má velmi velký potenciál a širokou řadu nástrojů a možností. Ostatní software sloužily pouze pro jednoduchou vizualizaci vybraných formátů dat. V tomto software však uživatel může vizualizovat velké množství datových sad různých formátů, dostupných jak lokálně, tak vzdáleně. Nástroj obsahuje databáze a katalogy implementovaných dat přímo od IDV, NASA, NOAA aj. IDV je také velmi uživatelsky přívětivé a každý si může jeho vzhled kompletně přenastavit. Velmi kladně lze na program hodnotit je jeho schopnost vizualizace více datových zdrojů najednou a tak kombinovat a vytvářet nové mapy (spojením dat teploty a vlhkosti lze vypočítat teplotu rosného bodu). IDV lze také rozšířit pomocí skriptů. Program však během testování působil nestabilně a připojení k serverům nebylo vždy uskutečněno. Rychlost práce souvisí s množstvím vizualizovaných dat (převážně pokud jsou připojena pomocí vzdáleného přístupu). Při zobrazení 4 vizualizačních oken je práce velmi pomalá (závisí také na připojení internetu), pokud jsou data importována lokálně (i více zdrojů) program je velmi rychlý.

Panoply

Je velmi jednoduchá a dostupná aplikace, která slouží k prohlížení dat. Z důvodu použití převážně pro meteorologická data, lze považovat absence animačních nástrojů, za značnou nevýhodu. Měnit časovou složku dat sice lze, ale určitě by aplikace získala více, kdyby podporovala plynulou animaci jednotlivých časových prvků, jak tomu je u dalších programů (Dimension explorer, IDV, ncWMS, GrADS i GR2Analyst). Další nevýhoda může být nemožnost úpravy (klasifikace) legendy či volba transparentnosti dat. Na druhou stranu lze uvažovat, že právě zmíněná jednoduchost může být i výhodou. Jelikož je program určen pouze pro prohlížení dat, není nutné, aby obsahoval různé nástroje, které by ho zpomalovaly. Testovaná data maximální teploty měla velikost 3,3 GB a program je dokázal vizualizovat v řádu několika sekund. Velká škoda, však je to, že do programu nejsou implementovány žádné datové katalogy na prohlížení real-time dat.

GR2 Analyst

Tento software lze považovat za složitější z důvodu jeho specializace. Pro správnou interpretaci vizualizovaných dat je nejprve nutné pochopit problematiku radarových dat. Pokud je však uživatel znalý dané tematické, je tato aplikace velmi silným nástrojem. Program po zvolení datového zdroje automaticky stahuje aktuální data a uživatel tedy nemusí nastavovat žádné přístupy k serverům. Samotná vizualizace dat je velmi rychlá, mezi jednotlivými produkty lze přepínat plynule. Za výhody lze považovat možnost vizualizace různých prvků do více oken, možnosti 3D vizualizace objemů (hladina isosurface lze exportovat a použít později). Avšak jeho největší síla spočívá právě v možnosti real-time radarových dat, aktuálních varovných zpráv a animace. Mezi nevýhody lze částečně zařadit, že je lokalizován pouze na území USA (jiná data nelze zobrazit) a malé množství úprav (legenda, průhlednost chybí aj.). Dále by mezi nevýhody mohla patřit absence rozsáhlejšího manuálu, který by popisoval radarové produkty pro nezkušené uživatele. Díky jeho specializaci je pravděpodobně předpokládáno využití převážně odborníky.

OpenGrADS

Testovaná verze programu byla 2.0.2.oga.2, která v sobě (na rozdíl od svých předchozích verzí) implementuje velkou řadu nástrojů. Ty jsou připraveny téměř okamžitě k použití (u některých je nutná určitá editace). Do verze jsou zahrnuty také uživatelsky přidané funkce, které byly vytvořeny pro předchozí verzi. Program se může jevit složitější, kvůli slabšímu provedení grafického rozhraní. Tento částečný nedostatek by však mohl být kompenzován velkým potenciálem využití právě příkazového řádku, díky jeho jednoduchosti ovládání a možnostem vytvářet skriptováním požadovaná tlačítka či widgety. Použití programu je tak velmi široké. Kladně lze hodnotit propracovaný manuál, který obsahuje všechny použitelné příkazy včetně syntaxe a příkladů. Další pozitivum jsou již zmíněné možnosti změn, kdy zkušenější uživatel (znalost skriptování) dokáže vytvořit jednoduchou aplikaci na prohlížení meteorologických dat, tak aby nebylo nutné používat příkazový řádek. Software podporuje základní matematické operace, díky kterým je možné pracovat s danými daty (a jejich proměnnými) jako s vrstvou. Animace je plynulá a umožňuje nastavit animované prvky. Program je také velmi rychlý při zpracování objemných dat.

Mezi nevýhody lze částečně zařadit nutnost použití metadatových souborů potřebných pro vizualizaci. Na druhou stranu lze díky těmto souborům definovat další

vlastnosti zobrazení. Jednoznačná nevýhoda, která by měla být časem odstraněna, je malé množství projekcí a nemožnost zobrazení ve 3D (i když dokáže číst 3D data). Při testování bylo upozorováno několik drobných nedostatků, např.: pokud jsou otevřeny GRIB data, nelze otevřít NetCDF (program musel být restartován), názvy proměnných se liší pro příkazový řádek a GUI nebo nefunkčnost NOMAD prohlížečky.

Celkově lze program ohodnotit jako velmi zdařilý a do budoucna určitě budou přibývat další užitečné. Díky možnostem přidání funkcí ve více jazycích jsou tak jeho možnosti téměř neomezené.

ncWMS

Jediný zástupce, který není klasickým softwarem pro zpracování dat, ale WMS službou. Jelikož jsou WMS servery často využívány pro publikaci geodat, je velkou výhodou, že ncWMS dokáže pracovat s NetCDF, HDF a GRIB formáty. Je kompatibilní s WMS 1.1.1 a 1.3.0. a poskytuje všechny tři typy dotazů: GetMap, GetCapabilities, GetFeatureInfo. O dobré využitelnosti a možnostem úprav svědčí i využití ncWMS na řadě světových pracovišť (možnost využití i v Google Earth, QGIS). Aplikace je velmi jednoduchá, rychlá ve zpracování dat jak z lokálního tak ze serverového uložení. Za další výhodu lze jistě považovat možnost zpracovávat téměř jakoukoli mapovou projekci. Protože NetCDF, GRIB a podobné formáty obsahují časovou složku, je velkou výhodou, že lze přes klienta Godiva2 spouštět animace. ncWMS lze považovat za velmi zdařilou a prospěšnou aplikaci (službu) pro poskytování meteorologických dat.

Dimension Explorer

I když je nástroj volně ke stažení, lze jej zařadit do komerční sféry, jelikož není samostatným softwarem, ale pouhým přídatným nástrojem do ArcMap 10.3. Nástroj pracuje rychle i s objemnými daty, animace je plynulá. Jako další výhodu lze zařadit jeho možnost využití interní Esri obrazové služby a uživatelskou základnu programu ArcMap. Jako částečně negativní může být nutnost transformace dat do mozaikového datasetu. Program (ArcMap 10.3) tedy pracuje přímo s NetCDF, HDF a GRIB formáty pouze při tvorbě mosaiky.

5.2 Výsledky objektivních analýz

Z testování vyplynulo, že doporučené hodnoty, které jsou uvedeny v manuálu software VisualWeather nejsou zcela vhodné pro získání co nejlepších výsledků. Na základě empirického hodnocení, bylo zjištěno nové nastavení pro přesnější výpočet objektivní analýzy. V tabulkách jsou uvedeny nejlepší rozdíly všechny metod analýz včetně nastavení.

Nejdůležitějším parametrem u Barnesovy analýzy, který má největší podíl na přesnějším výsledku je bezpochyby *Gamma*, která určuje míru korekce. Manuálem uváděné doporučené hodnoty (0,2 – 0,4) však nemusí být správné. Díky této práci byla zjištěna přímá úměra mezi *Gamma* a výslednou odchylkou, což znamená, čím nižší *Gamma*, tím se výsledky blíží více naměřeným datům. Další parametry, *Radius* a *IR* sice také ovlivňují výsledek, ale podstatně méně. Platí zde stejné pravidlo jako u *Gamma*, a to: čím nižší jsou oba parametry tím přesnějších výsledků lze dosáhnout. Barnesova metoda byla použita 5x a z toho 4x (dohromady ČR i Evropa) dosáhla nejnižších odchylek s použitím R350/350, IR50/75 (IR75 bylo u porovnávání dat nad celou Evropou) a G0,01/0,02. V druhé datové sadě, kvůli nuceným změnám (neprovedení výpočtu při použití původního nastavení) nejlépe dopadly

G0,08/G0,12/G0,15. U teploty byly nejnižší odchylky 9,4 a základní nastavení programu dosahovalo až 33,2 (ve druhé datové sadě výsledek 1,8). U porovnávání tlaku byl nejlepší výsledek 0,4 a základ 6,7 nad ČR. U Evropy, kde byl porovnáván geopotenciál, byla nejnižší odchylka 0,12. Analýza teploty rosného bodu na tom byla stejně s rozdílem 6,4 (nejmenší odchylka) ku 44,9 (základní). Tyto rozdíly lze považovat za velmi velké, a proto je vhodné použít takto upravené nastavení analýzy.

U Akima metody, kde je možná změna pouze jednoho parametru NPC, byly výsledky v případě analýz nad ČR dokonce lepší než u předchozí Barnesovy metody. U teploty byla nejnižší hodnota odchylky 8,6 s použitím NPC3 (rozdíl oproti Barnesově metodě je 0,8). U analýzy tlaku byla odchylka 0,12 (NPC12). Teplota rosného bodu pak 9,6 (NPC3). Hodnoty odchylek analýzy počítané nad evropskými stanicemi dopadly lépe ve prospěch Barnesovy metody. Při výpočtu teploty byl výsledek 3,8 s použitím NP3 a u geopotenciálu 28,6 (NPC4).

Výsledné odchylky vypočítané pomocí Conpac metody dopadly při testování ze všech nejhůře. Je však nutné připomenout, že tato metoda nabízí velké množství nastavitelných parametrů, které nebyly nijak upraveny, tak aby hodnocení odpovídalo požadavkům práce. U teploty byl výsledek 18,5 (ČR) a 32,5 (Evropa). Tlak 3,8 (geopotenciál 224,6) a teplota rosného bodu 27. Rozdíly oproti ostatním metodám jsou značné. Konečné sumy odchylek jsou znázorněny v Tab. 5.1 (Evropa) a Tab. 5.2 (ČR).

Tab. 5.1 Výsledné porovnání nejlepších výsledků analýz pro Evropu.

EVROPA	BARNES	AKIMA	CONPAC
TEPLOTA	1,8 (R350 G0,15 IR50/75)	3,8 (NPC3)	32,5
GEOPOTENCIÁL	13,8 (R350 G0,12 IR50/75)	28,6 (NPC4)	224,6

Tab. 5.2 Výsledné porovnání nejlepších výsledků analýz pro ČR.

ČŘ	BARNES	AKIMA	CONPAC
TEPLOTA	9,4 (R350 G0,01 IR200)	8,6 (NPC3)	18,5
TLAK	0,4 (R300 G0,03 IR50)	0,12 (NPC12)	3,8
ROSNÝ BOD	6,4 (R500 G0,01 IR50)	3,8 (NPC3)	27

6 DISKUZE

Hodnocení možností zpracování a vizualizace meteorologických dat ve vybraných softwarech bylo spojeno s nastudováním všech manuálů a příkladů, což byl časově velmi náročný úkol. Testování bylo provedeno pouze na vzorových datech (která byla často součástí instalačního balíčku programu) nebo volně přístupných datasetů.

Při zpracování objektivních analýz byla jednou z hlavních překážek možnost pracovat na daném počítači v omezené časové době (přístup byl získán pouze na určitý počet dní), seznámení se s novým softwarem a jeho daty. Program VisualWeather má širokou nabídku nástrojů, analýz, úprav a podporuje aktuální data včetně okamžitého zpracování. Manuál programu je dostupný pouze pomocí ověřeného přístupu zákazníka (pro práci byl tento přístup získán, manuál je také součástí softwaru).

Dále bylo obtížné vybrat správné zájmové území, respektive vybrání měřicích stanic, ke kterým se hodnocení objektivních analýz vztahuje. Na základě zadaných požadavků bylo nutné vybrat dvě zájmová území a rovnoměrně rozdělit stanice tak, aby byl, alespoň částečně zachován tvar oblasti a výsledek tedy mohl být co nejobjektivnější.

Bylo také nutné správně zvolit kombinace nastavení daných metod. Vzhledem k tomu, že program nenabízel žádné porovnání, byl tento proces proveden vizuální kontrolou a byl tedy značně časově náročný. První výběr pěti kombinací nastavení se ukázal jako ne příliš správný. Na tomto základě byly provedeny pokusy jak parametry měnit a které kombinace zvolit tak, aby byly analýzy co nejpresnější. Avšak vhodné hodnoty parametrů pro testování byly zvoleny úspěšně. Při nalezení těchto kombinací byla snaha je ponechat pro všechny analýzy. Bohužel to nebylo možné, protože výběr byl uskutečněn nad daty ČR (které lze považovat za malé území) a stejné nastavení pro analýzy většího území byly pravděpodobně z nedostačujícího výpočetního výkonu neproveditelné. To mělo za následek úpravu kombinací nastavení tak, aby byl program schopný výpočtu. VisualWeather byl v průběhu práce mnohdy nestabilní a musel být restartován. Díky tomu byla práce mnohem více časově náročnější. V současné době je již pracoviště, kde bylo hodnocení provedeno, vybaveno novou a mnohem výkonnější výpočetní technikou. Tato aktualizace by možná mohla vyřešit zmíněné problémy s nedostatečným výkonem a ukončení výpočtu objektivní analýzy.

Avšak největším problémem bylo právě samotné testování. Proces nebyl automatizovaný, a tak veškeré hodnocení bylo manuální a založeno na vizuálním porovnávání dat. Při uvedeném způsobu práce je velmi pravděpodobná určitá míra chyby, a tak byl celý proces vícekrát kontrolován, čímž se práce značně prodloužila. Původně zamýšlená automatizace procesu se neuskutečnila, neboť v průběhu hodnocení nebyly dostupné materiály a řešení. Pokud by byl daný skript vytvořen, mohl by se proces hodnocení opakovat s větším počtem stanic zcela automaticky.

Změna data při hodnocení objektivních analýz byla důsledkem časově náročné práce a možnostem softwaru, který uchovává data pouze po dobu několika dnů. Během hodnocení byla tato doba překročena a data z původního data již nebyla dostupná. Nakonec se ukázalo, že změna data není závažným problémem pro porovnání hodnocení nad území ČR a Evropou neboť nastavení analýz muselo být změněno.

Jako poslední lze zmínit započítání dvou synoptických stanic do analýzy tlaku, které mají vyšší nadmořskou výšku, než by měl dovolovat výpočet (tato informace byla potvrzena několika odborníky). Maximální výška, která by měla být povolena je 525 m. n. m. Tyto dvě stanice Příbyslav a Košetice však mají výšku 533 a 534 m. n. m.

Veškeré grafické výstupy, které jsou použity v práci, zůstaly v originálním nastavení barev z důvodu demonstrování jejich přednastavených voleb. Legenda využitá pro hodnocení objektivních analýz je využívána na StřPoHM.

Během práce se vyskytlo velké množství problémů při integraci nástrojů pro zpracování big dat. Uvedené příklady byly řešeny s podporou, ale nakonec bylo od některých plánovaných řešení odstoupeno z důvodů technických problémů.

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo pokročilé zpracování a vizualizace meteorologických dat. Dílčím cílem bylo zhodnocení současných softwarů, které podporují zpracování a vizualizaci meteorologických dat, včetně implementace big dat do GIS systémů. Posledním cílem byla konkrétní úprava zpracování dat formou objektivních analýz, které byly vyhodnoceny.

V teoretické části se práce zabývá popisem meteorologických dat, jejich konkrétním využití, datovými formáty a obecným historickým přehledem. Dále jsou zmíněny současné metody zpracování a vizualizace, včetně využití big dat (nejen) v meteorologii.

Praktická část se tak věnuje detailnímu popisu softwarů a jejich zhodnocení jejich možností pro zpracování a vizualizaci dat. Kromě popisu byla také vytvořena tabulka hodnocení. Vybrané softwary nabízejí výborné možnosti pro práci s meteorologickými daty. Každý nabízel možnost připojení k vzdáleným serverům, díky kterým lze prohlížet aktuální data. Výběr programu je tak zcela na uživateli a jeho požadavcích. Pokud je nutná rychlá a jednoduchá vizualizace dat, je nejvhodnější nástroj Panoply (není nutná instalace a nástroj je přenositelný). Pro vizualizaci více datových zdrojů je vhodnější IDV nebo OpenGrADS (pro radarová data GR2Analyst). Integrace big dat do GIS systémů nebyla úplně provedena. V práci jsou zobrazeny možnosti zpracování big dat a ukázka vzorového (funkčního) příkladu implementace do GIS systémů.

V praktické ukázce zpracování dat a hodnocení objektivních analýz byl výběr jejich správného nastavení pro dosažení co nejlepších výsledků. Výběr testovaných meteorologických jevů, metod a území byl proveden v souladu se zadanými požadavky. Pro vyhodnocení bylo zhotoveno 625 analýz pomocí Barnesovy metody (125 pro každý meteorologický jev), 26 Akima a pět Conpac. Do výčtu nebyly započítány zkušební kombinace, které posloužily k určení správných kombinací použitých v konečném hodnocení. Z testování vyplývá (jak již bylo zmíněno), že základní ani doporučené (podle manuálu) nastavení programu není tou nejlepší volbou pro získání přesných výsledků. Další věcí, která je z práce patrná, je důležitost korekcí pro výpočet u Barnesovy metody. I když všechny parametry ovlivňují výsledek, Gamma je z nich nejdůležitější. Většinou platilo pravidlo „čím nižší hodnoty u parametrů, tím lepší výsledky“. Pokud je však srovnána metoda Barnes a Akima, je patrné, že i když lze v této metodě nastavit pouze jeden parametr, výsledky mohou být dokonce lepší. Po konzultacích s odborníky bylo zjištěno, že pro odvození dalších meteorologických jevů z vypočtených analýz, je někdy lepší, aby byl výsledný povrch více shlazený. To však znamená, že výsledek nebude úplně přesný. Volba mezi přesností a shlazeným povrchem (ať už pro odvozování dalších jevů či lepší orientaci) závisí na uživateli a konkrétnímu způsobu využití analýzy. Je nutné poznamenat, že hodnocení probíhalo z 30 meteorologických stanic a odchylky (např. teplota ČR) byly u Barnesovy metody 9,4 a 8,6 u Akima metody. Původní rozdíl mezi analýzou a stanicemi (základní nastavení) byl 33,2. Výsledky jsou velmi uspokojivé (zlepšení výsledků až o 23,8) a mezi samotnými typy analýz nemusí vždy dojít k velkým rozdílům. Pokud je tedy potřeba většího shlazení povrchu za dodržení kombinací použitých v této práci budou výsledky velmi dobře reprezentovat reálnou situaci.

Lze tedy konstatovat, že se v této práci podařilo určit vhodné nastavení jednotlivých metod objektivních analýz a znázornit různé možnosti nastavení. Bylo by však zajímavé provést nad získanými daty další analýzy a celý proces zautomatizovat.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Apache Hive [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://hive.apache.org/>

AVIMET | Informační web | ČHMÚ | Český hydrometeorologický úřad | Letecká meteorologie. WMO [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.avimet.cz/index.php/index.php?id=tabulka>

BUCK, Joe B., Noah WATKINS, Jeff LEFEVRE, Kleoni IONNADIO, Carlos MALTZAHN, Neoklis POLYZOTIS a Scott BRANDT. 2011. SciHadoop: Array-based Query Processing in Hadoop [online]. In: . Seattle, WA [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: https://users.soe.ucsc.edu/~alkis/papers/sc11_scihadoop.pdf

Climate Prediction Center. NOAA National Weather Service [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/grib2ctl.html>

COX, Michael a David ELLSWORTH. 1997. Application-Controlled Demand Paging for Out-of-Core Visualization. In: Electronic visualization laboratory [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: https://www.evl.uic.edu/cavern/rg/20040525_renambot/Viz/parallel_volviz/paging_outofcore_viz97.pdf

DEAN, Jeffrey a Sanjay GHEMEWAT. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. In: Google, Inc. [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/cs//archive/mapreduce-osdi04.pdf>

Decoding Synops. Meteorological Resources - SYNOP [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rwic.und.edu/metresources/synop.html>

DOBESCH, H., DUMOLARD, P., DYRAS, I. Spatial interpolation for climate data: The use of GIS in climatology and meteorology. Wiley. com, 2013. ISBN 1118614992

DUFFY, Daniel Q., John L. SCHNASE, John H. THOMPSON, Shawn M. FREEMAN a Thomas L. CLUNE. Preliminary Evaluation of MapReduce for High-Performance Climate Data Analysis. In: NASA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120009187.pdf>

Executive Summary: Data Growth, Business Opportunities and the IT Imperatives. 2014. The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>

GALLAGHER, Sean. 2012. How IBM's Deep Thunder delivers "hyperlocal" forecast 3-1/2 days out. ArsTechnica [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://arstechnica.com/business/2012/03/how-ibms-deep-thunder-delivers-hyper-local-forecasts-3-12-days-out/>

GIS Tools For Hadoop by ESRI [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://esri.github.io/gis-tools-for-hadoop/>

GMAO GEOS The GEOS-5 System: Global Modeling and Assimilation Office. NASA: Goddard Space Flight Center [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS/>

GMAO MERRA: MODERN-ERA RETROSPECTIVE ANALYSIS FOR RESEARCH AND APPLICATIONS. Global Modelin and Assimilation Office NASA: Goddard Space Flight Center [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/>

Google Joins - Large Synoptic Survey Telescope Project. LSST [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://lsst.org/lsst/google>

GR2Analyst 2.00 User Guide. GRLevelX [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.grlevelx.com/manuals/gr2analyst_2/

GrADS Home Page. IGES [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://iges.org/grads/>

GrADS User's Guide [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://iges.org/grads/gadoc/users.html>

GRAHAM, Steve, Claire PARKINSON a Mous CHANINE. 2002. Weather Forecasting Through The Ages. Earth Observatory [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/WxForecasting/wx2.php>

GrLevelX [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.grlevelx.com/>
Guide to GRIB. WMO [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/WDM/Guides/Guide-binary-2.html>

Hadoop for High-Performance Climate Analytics - Use Cases and Lessons Learned. In: 2013 [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.slideshare.net/Hadoop_Summit/hadoop-for-highperformance-climate-analytics-use-cases-and-lessons-learned

HAGGAR, Peter. 2011. Data growth and standards: An exploration of relevant open standards. In: IBMdeveloperWorks [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.ibm.com/developerworks/xml/library/x-datagrowth/x-datagrowth-pdf.pdf>

HAMN, Steve. 2013. How Big Data Can Boost Weather Forecasting. Wired [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.wired.com/2013/02/how-big-data-can-boost-weather-forecasting/>

HBase - Apache HBase Home [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://hbase.apache.org/>

HOVMÖLLER, Ernest. 1949. The Trough-and-Ridge diagram. In: Tellus: 1, 62-66 [online]. [cit. 2015-05-09]. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1949.tb01260.x. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1949.tb01260.x/pdf>

CHERNOV, N. a H. MA. Least Square Fitting Of Quadratic Curves And Surfaces. In: Least Square Fitting [online]. University of Alabama at Birmingham, USA [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://people.cas.uab.edu/~mosya/cl/CM1nova.pdf>

IBL Software Engineering [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.iblsoft.com/?g1266>

IDV User Guide [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.unidata.ucar.edu/software/idv/docs/userguide/toc.html>

Introduction to GRIB Edition 1 and GRIB Edition 2. 2003. WMO [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: https://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/GRIB/Introduction_GRIB1-GRIB2.pdf

Introduction to HDF-EOS. Natinal Snow & Ice Data center [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://nsidc.org/data/hdfeos/intro.html>

JOHNSON, Dave. 2015. Introducing the Dimension Explorer. ArcGIS Blog [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2015/03/25/introducing-the-dimension-explorer/>

JOHNSTON, Samuel. 2013. WeatherSignal: Big Data Meets Forecasting. In: Scientific American [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/weathersignal-big-data-meets-forecasting/>

Joint Polar Satellite System [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.jpss.noaa.gov/index.html>

KNAPP, Alex. 2013. Forecasting The Weather With Big Data And The Fourth Dimension. Forbes [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2013/06/13/forecasting-the-weather-with-big-data-and-the-fourth-dimension/>

KRŠKA, K. - ŠAMAJ, F. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2001. 568 s. ISBN 80-7184-951-0.

MURPHY, Jonathan. 2015. New Spatial Aggregation Tutorial for GIS Tools for Hadoop. ArcGIS resources [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2015/03/25/new-spatial-aggregation-tutorial-for-gis-tools-for-hadoop/>

NCEP Meteorological Assimilation Data Ingest System MADIS [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://madis.ncep.noaa.gov/>

NcWMS. HDF - EOS Tools and Information Center [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://hdfeos.org/software/ncwms.php>

NcWMS. Reading e-Science Centre [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.resc.rdg.ac.uk/trac/ncWMS/>

NetCDF FAQ. Unidata [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/faq.html>

NetCDF Usage. Unidata [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/usage.html>

NOAA National Operational Model Archive & Distribution System: NOMADS Home Page. NOAA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://nomads.ncdc.noaa.gov/>

NORMANDEAU, Kevin. 2013. Beyond Volume, Variety and Volocity is the Issue of Big Data Veracity. Inside BIGDATA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://insidebigdata.com/2013/09/12/beyond-volume-variety-velocity-issue-big-data-veracity/>

O'REILLY MEDIA, INC. 2012. Big Data Now: 2012 Edition [online]. [cit. 2015-05-09]. ISBN 978-1-449-35671-2. Dostupné z: http://cdn.oreilystatic.com/oreilly/radarreport/0636920028307/Big_Data_Now_2012_Edition.pdf

OGC network Common Data Form (netCDF) standards suite. OGC [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/standards/netcdf>

OLSON, Mike. 2010. HADOOP: Scalable, Flexible Data Storage and Analysis. In: Cloudera [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.cloudera.com/content/dam/cloudera/Resources/PDF/Olson_IQT_Quarterly_Spring_2010.pdf

REW, R. a kol. The NetCDF Users Guide [online]. Unidata Program Center, 2011

REW, R., E. HARTNETT, D. HEIMBIGNER, E. DAVIS a J. CARON. 2009. NetCDF Classic and 64-bit Offset File Formats. Earthdata NASA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://earthdata.nasa.gov/sites/default/files/esdswg/spg/rfc/esds-rfc-011/ESDS-RFC-011v2.00.pdf>

SANYAL, J., ZHANG, S., DYER, J., et al. Noodles: A tool for visualization of numerical weather model ensemble uncertainty. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2010, 16(6), 1421-1430.

Scientific Visual Studio [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://svs.gsfc.nasa.gov/>

SHEA, Dennis. Common Climate Data Formats: Overview. NCAR Climate Data Guide [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis/common-climate-data-formats-overview>

Statistics - Youtube. YouTube [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/yt/press/statistics.html>

ŠKODA, Miroslav. 1975. Příspěvek k metodám objektivní analýzy meteorologických údajů. Praha: SNTL.

TDS: THREDDS Data Server. Unidata [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.unidata.ucar.edu/software/thredds/current/tds/TDS.html>

The HDF Group - Information, Support and Software [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://www.hdfgroup.org/>

VÁLEK, Miroslav. 2010. 3D vizualizace meteorologické situace pro potřeby sportovního letectví. Olomouc. Magisterská práce. Univerzita Palackého.

VÁŠA, Adam. 2012 Zpracování multidimenzionálních netCDF dat v GIS. bakalářská práce. Univerzita Palackého.

VYSOUDIL, M. (2004): Meteorologie a klimatologie. Vydavatelství UP Olomouc, Olomouc, 281 s. ISBN 80-244-0875-9 (2. vydání 2006)

Web Map Service | OGC. OPeNDAP [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

Welcome to Apache Pig! [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://pig.apache.org/>

Welcome to Apache™ Hadoop®! [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://hadoop.apache.org/>

What is OPeNDAP software. OPeNDAP [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.opendap.org/faq?q=What_is_OPeNDAP_software

WHEATLEY, Mike. 2013. Extreme Weather Forecasting With Big Data. Silicon ANGLE [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://siliconangle.com/blog/2013/02/28/weather-forecasting-big-data/>

WHITE, Tom. 2012. Hadoop: the definitive guide. 3rd ed. Sebastopol: O'Reilly, xxiii, 657 s. ISBN 978-1-449-31152-0.

WOODY, Todd. 2012. Meet The Scientists Mining Big Data To Predict The Weather. Forbes [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.forbes.com/sites/toddwoody/2012/03/21/meet-the-scientists-mining-big-data-to-predict-the-weather/>

SEZNAM ILUSTRACÍ

- Obr. 2.1 Přehled vybraných meteorologických stanic (VisualWeather).
- Obr. 2.2 Přehled meteorologických stanic TEMP (GoogleMaps).
- Obr. 4.1 GP Toolbox (ArcMap).
- Obr. 4.2 Výpis informací importovaného souboru (Cygwin).
- Obr. 4.3 Ukázka správně vyplněného nástroje Copy To HDFS (ArcMap).
- Obr. 4.4 Nastavení nástrojů Copy From HDFS a JSON To Feature (ArcMap).
- Obr. 4.5 Vytvořené modely, vlevo import do HDFS, vpravo z HDFS (ArcMap).
- Obr. 4.6 Vlevo ukázka vstupních surových dat a vpravo upravená sjednocená data (Murphy, 2015).
- Obr. 4.7 Dashboard, Výběr teploty v určité výšce ve 2D, datum 24.4.2015, čas 21:00 z datasetu NAM-CONUS 12 km (IDV).
- Obr. 4.8 MapView (IDV).
- Obr. 4.9 Transect a profil čas/výška (IDV).
- Obr. 4.10 RHI (vlevo) a cross section (vpravo) (IDV).
- Obr. 4.11 Ukázka vybraných pozorování, hurikán Narda (IDV).
- Obr. 4.12 Editor Formulí (IDV).
- Obr. 4.13 Importovaná data maximální a minimální teploty (Panoply).
- Obr. 4.14 Maximální teplota vizualizovaná formou mapy (vlevo) a grafu (vpravo) (Panoply).
- Obr. 4.15 Ovládání časové složky dat (Panoply).
- Obr. 4.16 Vizualizace KFFC radarových dat (zleva doprava: BR, PHI, ZDR a KDP) (GR2Analyst).
- Obr. 4.17 Řez a isosurface, Base Reflectivity, KFFC Atlanta radar (GR2Analyst).
- Obr. 4.17 Příklad varovných zpráv (GR2Analyst).
- Obr. 4.18 Ukázka zobrazovacího okna, grafického rozhraní a příkazového řádku (vlevo) a prohlížeček vzdálených dat (vpravo) (OpenGrADS).
- Obr. 4.19 Import dat a výběru veličin, příkazový řádek (vlevo), GUI (vpravo) (OpenGrADS).
- Obr. 4.20 Liniový graf ensemble předpovědi (OpenGrADS).
- Obr. 4.21 Tlak vzduchu (hPa) na povrchu 1.1.1987 (OpenGrADS).
- Obr. 4.22 Různé úrovně rozlišení podkladové mapy a možnost maskování dat (OpenGrADS).
- Obr. 4.23 Ukázka widgetu dropdownu (OpenGrADS).
- Obr. 4.24 Ukázka admin rozhraní (ncWMS).
- Obr. 4.25 Ukázka klienta Godiva2 (vlevo původní, vpravo upravené) (ncWMS).
- Obr. 4.26 Zobrazení profilů teploty vzduchu (ncWMS).
- Obr. 4.27 Využití ncWMS služby v GoogleEarth (ncWMS).
- Obr. 4.28 Dimension Explorer, MODIS obrazová služba ESRI (ArcMap).
- Obr. 4.29 Rozhraní MapEditor (VisualWeather).
- Obr. 4.30 Interpolační schéma (VisualWeather).
- Obr. 4.31 Závislost parametrů Radius of Influence a Interest Ratio (VisualWeather).
- Obr. 4.32 Základní nastavení programu pro Barnesovu analýzu teploty (VisualWeather).
- Obr. 4.33 Základní nastavení programu pro Akima analýzu teploty (VisualWeather).
- Obr. 4.34 Základní nastavení programu pro Compac analýzu teploty (VisualWeather).
- Obr. 4.35 Porovnání Akima NPC3 (vlevo) a Barnes R350,G0,01, a IR200 (vpravo) (VisualWeather).
- Obr. 4.36 Porovnání Barnesova metoda, vlevo IR50 a vpravo IR200 (VisualWeather).
- Obr. 4.37 Porovnání nejlepších výsledků (vlevo) a nejhorších (vpravo) (VisualWeather).

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

Příloha 2 Přehled meteorologických stanic na území ČR

Příloha 3 Přehled meteorologických stanic na území Evropy

Příloha 4 Flythrough, satelitní a radarová data (IDV)

Příloha 5 Ukázky zobrazení SYNOP a isosurface vlhkosti vzduchu (86,7%), teplota ve 2D a teplota proložená topografií (IDV)

Příloha 6 Ukázka jednotlivých dat větrů (první je zonální, druhý poledníkový) a jejich kombinace, (Panoply)

Příloha 7 Ukázky různých typů vizualizace dat GrADS, vektor větru a Hovmoller graf (časový profil geopotenciálu), zobrazení více veličin (barevně je tlak v hPa a modrými liniemi teplota vzduchu v Kelvinech), zobrazení prachu (zobrazení bylo vytvořeno pomocí skriptu)

Příloha 8 Tabulka porovnání softwarů

Volné přílohy

Příloha 1 DVD

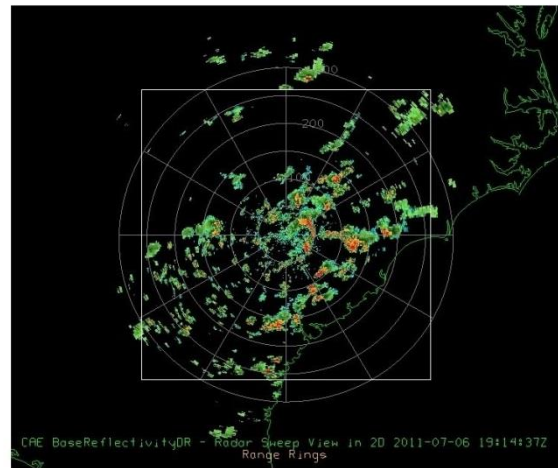
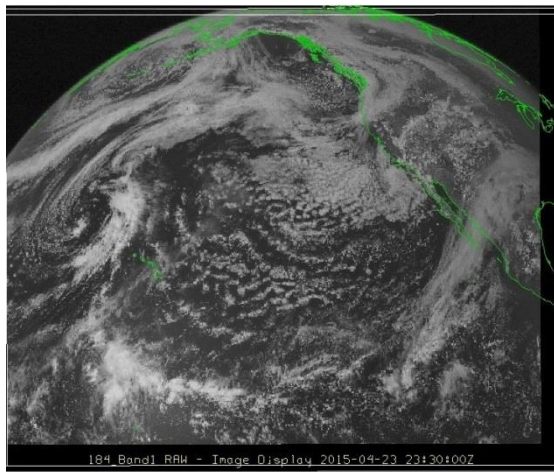
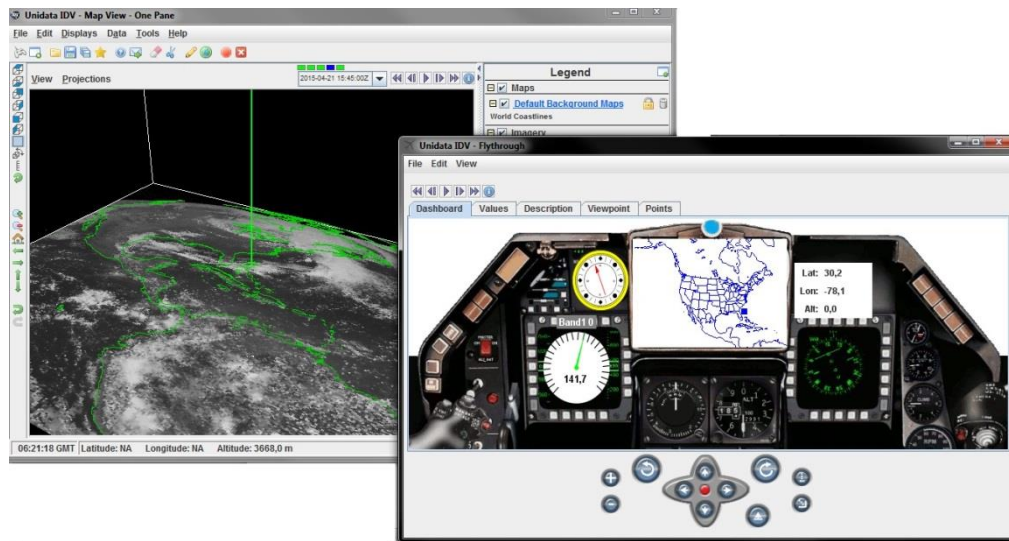
Příloha 2 Přehled meteorologických stanic na území ČR

STANICE ID	NADM. VÝŠKA	POŘADÍ	STANICE NÁZEV
11787	1324	1	Lysá Hora
11782	257	2	Ostrava Mošnov
11766	750	3	Červená
11730	1328	4	Šerák
11710	513	5	Luka
11747	216	6	Prostějov
11774	231	7	Holešov
11723	237	8	Brno Tuřany
11692	472	9	Náměšť n. Oslavou
11679	402	10	Ústí n. Orlicí
11683	735	11	Svratouch
11659	533	12	Přibyslav
11636	569	13	Kostelní Myslová
11652	226	14	Pardubice
11669	748	15	Polom
11628	534	16	Košetice
11624	242	17	Čáslav
11698	334	18	Kuchařovice
11643	816	19	Pec pod Sněžkou
11520	304	20	Praha Libuš
11487	519	21	Kocelovice
11538	500	22	Temelín
11546	395	23	České Budějovice Rožnov
11457	1122	24	Churáňov
11450	360	25	Plzeň Mikulka
11423	742	26	Přimda
11406	470	27	Cheb
11414	606	28	Karlovy Vary
11438	322	29	Tušimice
11464	833	30	Milešovka

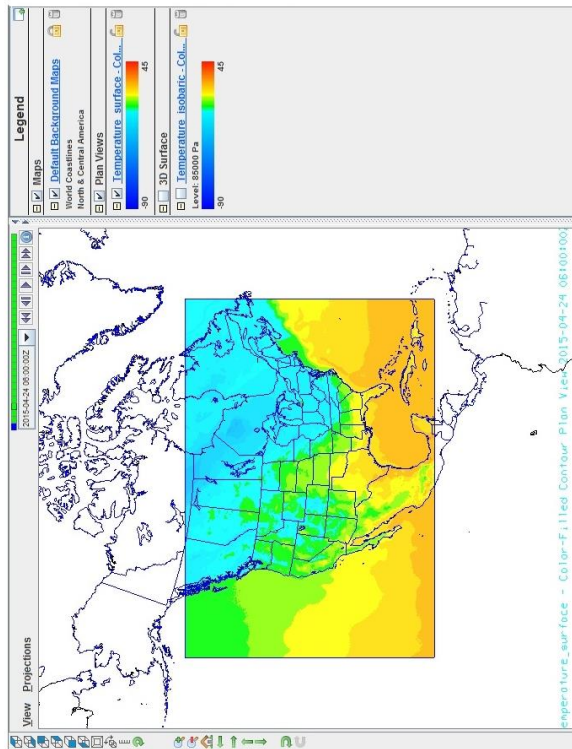
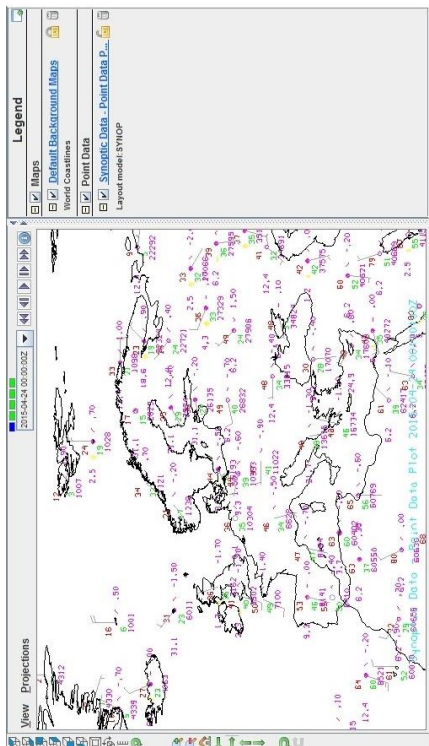
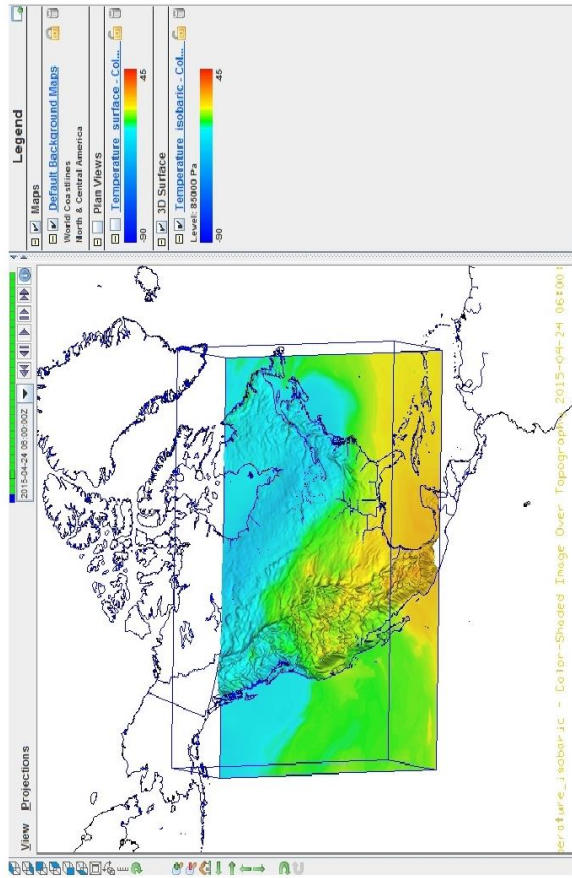
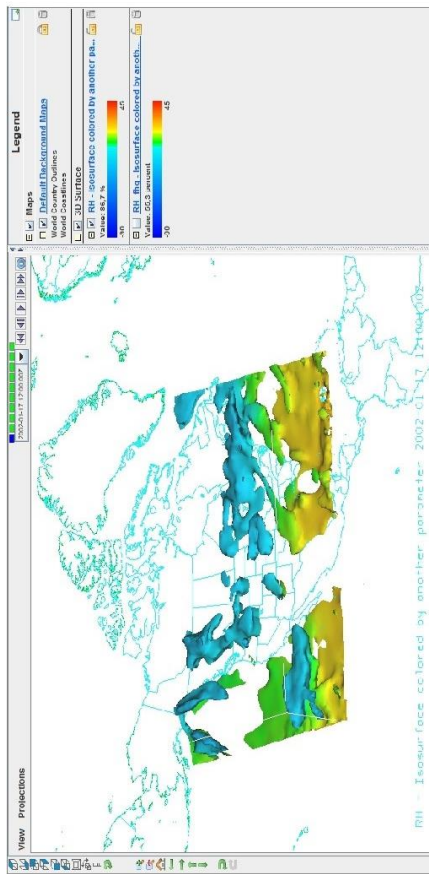
Příloha 3: Přehled meteorologických stanic na území Evropy

STANICE ID	POŘADÍ	ZEMĚ/OBLAST	STANICE NÁZEV
08221	1	ŠPANĚLSKO	MADRID / BAJARAS
06610	2	ŠVÝCARSKO	PAYERNE
06260	3	NIZOZEMSKO	DE BILT
01400	4	SEVERNÍ MOŘE	EKOFISK
04018	5	ISLAND	KEFLAVIKURFLUGVOLLUR
01241	6	NORSKO	ORLAND III
10035	7	DÁNSKO	SCHLESWIG
10739	8	NĚMECKO	STUTTGART/SCHNARRENBURG
16144	9	ITÁLIE	S. PIETRO CAPOFIUME
14430	10	CHORVATSKO	ZADAR RS
16429	11	SICÍLIE	TRAPANI/BIRGI
16320	12	ITÁLIE	BRINDISI
16716	13	ŘECKO	ATHINAI (AIRPORT)
13275	14	SRBSKO	BEOGRAD/KOSUTNJAK
12843	15	MAĎARSKO	BUDAPEST/LORINC
11035	16	RAKOUSKO	WIEN/HONE WARTE
11520	17	ČR	PRAHA-LIBUS
11952	18	SK	POPRAD/GANOVICE
12374	19	POLSKO	LEGIONOWO
02591	20	ŠVÉDSKO	VISBY AEROLOGISKA STATION
02365	21	ŠVÉDSKO	SUNDSVALL-HARNOSAND FPL
02836	22	FINSKO	SODANKYLA
22113	23	RUSKO	MURMANSK
22845	24	RUSKO	KARGOPOL
27459	25	RUSKO	NIZNIJ NOVGOROD
26781	26	RUSKO	SMOLENSK
34300	27	UKRAJINA	KHARKIV
33658	28	UKRAJINA	CHERNIVTSI
15420	29	BULHARSKO	BUCURESTI BANEASA
17130	30	TURECKO	ANKARA/CENTRAL

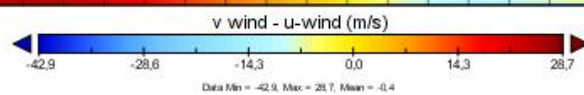
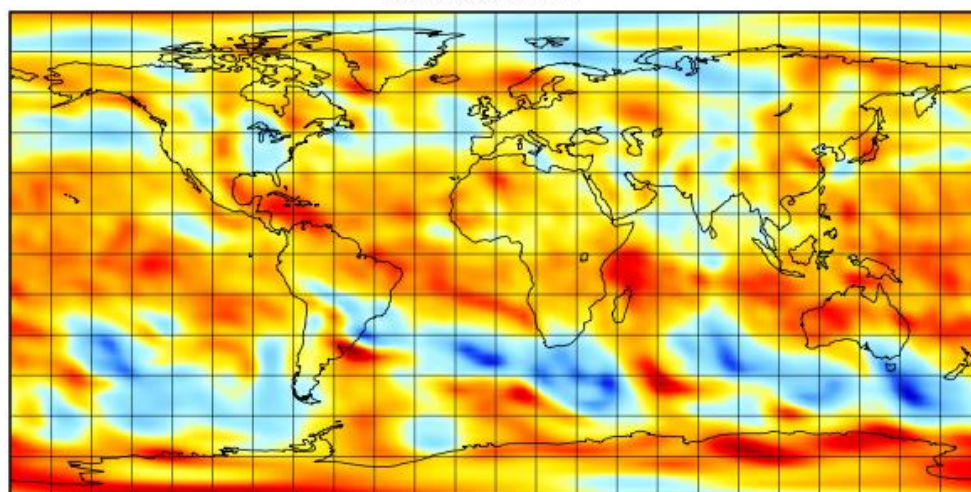
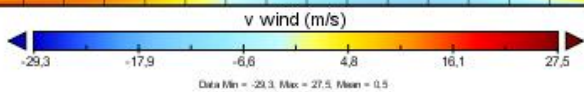
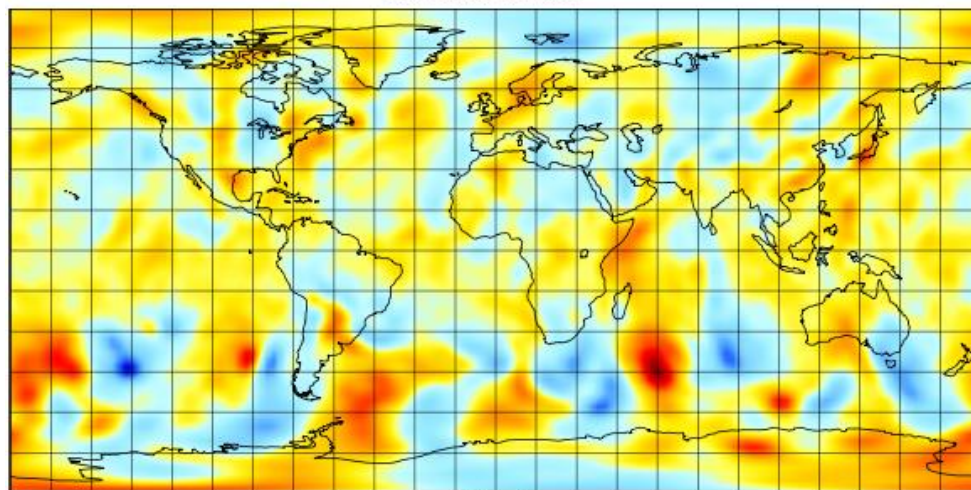
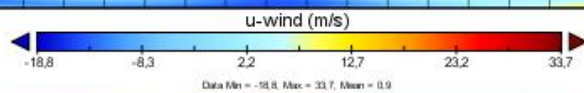
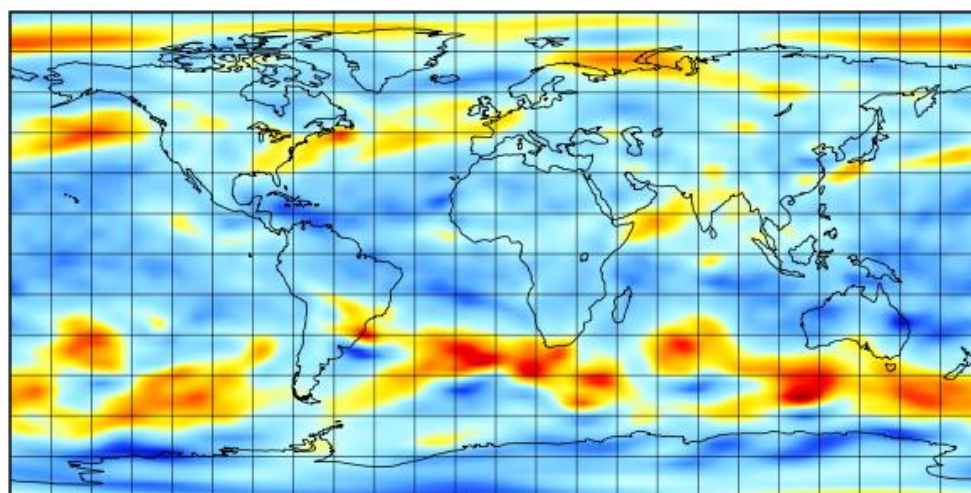
Príloha 4 Flythrough, satelitní a radarová data, IDV



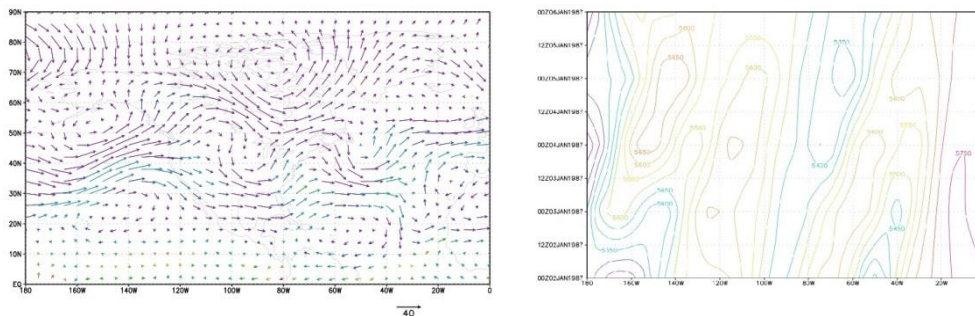
Príloha 5 Ukážky zobrazení SYNOP a isosurface vlhkosti vzduchu (86,7%), teplota ve 2D a teplota proložená topografií (IDV)



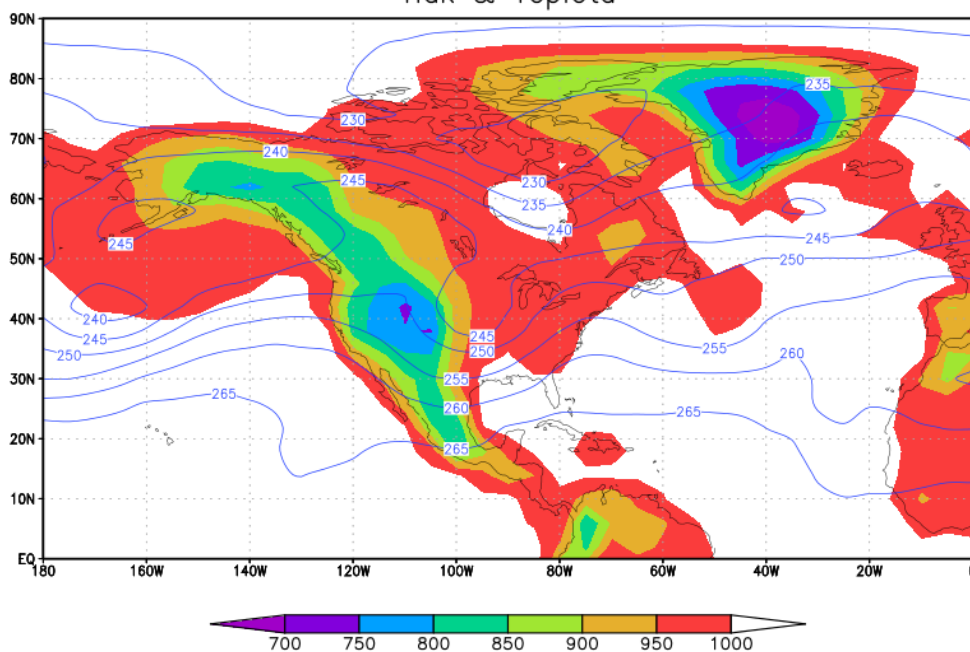
Příloha 6 Ukázka jednotlivých dat větrů (první je zonální, druhý poledníkový) a jejich kombinace (Panoply)



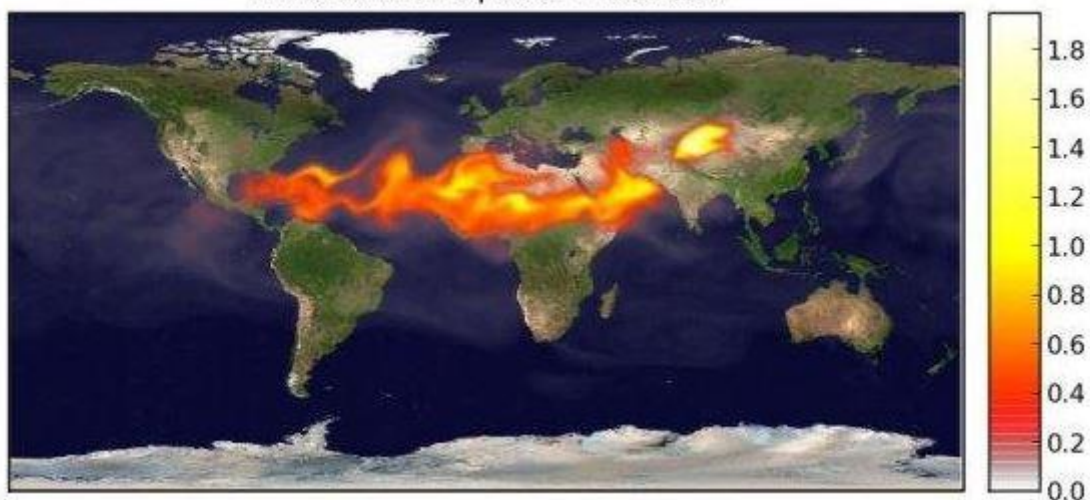
Příloha 7 Ukázky různých typů vizualizace dat GrADS, vektor větru a Hovmoller graf (časový profil geopotenciálu), zobrazení více veličin (barevně je tlak v hPa a modrými liniemi teplota vzduchu v Kelvinech), zobrazení prachu (zobrazení bylo vytvořeno pomocí skriptu)



Tlak & Teplota



Mineral Dust Optical Thickness



	IDV	PANOPLY	GRADS	GR2ANALYST	NCWMS	DIMENSION EXPLORER
INSTALACE	Zdarma (nutná registrace)	Zdarma	Zdarma	Tril verze 21 dní	Zdarma (nutné uvedení loga)	nutný ArcMap 10.3
VELIKOST	121 MB	55 MB	32 MB	8,5 MB	36 MB	pod 1 MB
VÝUKA	Manuál dostupný zdarma včetně příkladů, výborně popsán	Manuál pouze pro přidání podkladů a legendy	Dostupný v rámci instalace i na webu včetně tutoriálu	Manuál dostupný na webu, není kompletní	Dostupný na webu i v programu	Popis importu dat
DAT. TYPY	satelitní snímky, observační data, upper air, radarová NEXRAD data, GIS data, netCDF, HDF, GRIB	GRIB, HDF, netCDF, GEMPAK	netCDF, HDF, GRIB, observační data, upper air, SHP	radarová data (NEXRAD II a III) a SHP	netCDF, GRIB, HDF	netCDF, GRIB, HDF importované do MOSAIC DATASET
ZOBRAZENÍ DAT	Vytváření oblasti. Zobrazení více datových sad najednou (nebo rozdělení na více oken). Volba způsobu zobrazení a podkladů	Zobrazení pouze jedné datové sady, nebo kombinace 2 (data se nepřekryjí, legenda je spojená)	Více datových sad najednou, nutnost metadatového soubor. Zobrazení vektorů, isolinií (i vyplněných).	Více datových sad najednou (1-4 okna). Data vždy pro 1 radar	WMS server a klient Godiva2, mapové zobrazení včetně grafy, zobrazení vektorů, isolinií (i vyplněné)	Zobrazení mosaikových datasetů až poté vytvoření modelu
2D/3D	2D(grafy, mapy) i 3D včetně objemů, zobrazení dat přes topografii, zobrazení dat pomocí globu	Pouze prohlížení dat ve 2D a tvorba grafu (vyba	Pouze 2D (mapy, grafy), výběr vizualizované oblasti	2D i 3D, možnost isosurface vybraného radar. produktu	Pouze 2D.	3D i pro animaci
REAL-TIME DATA	Mnoho katalogů včetně možností nového připojení	Možnost připojení k serverům	lze vytvořit připojení ke vzdáleným serverům	Připojení k serverům, automatická aktualizace	Lze vytvořit připojení ke vzdáleným serverům	Propojení s ESRI webovými obrazovými službami
ANALÝZY	Barnesova, výpočty pomocí vzorců nebo skriptů	Pouze prohlížečka	S daty lze pracovat jako proměnnými (matematické operace)	Pouze zobrazení a měření (i ve 3D)	Pouze prohlížečka (WMS)	Pouze prohlížečka
ANIMACE	Plynulý animace, real-time se neaktualizují sama	Animace jako sekvence snímků, manuálně	Plynulá animace, možnosti úpravy rychlosti apod, animace i jiných proměnných než čas	plynulá animace i pro 3D objemy	Plynulá animace	Plynulá animace, nebo manuální volba časových kroků (animace nejen času)

	IDV	PANOPLY	GRADS	GR2ANALYST	NCWMS	DIMENSION EXPLORER
GUI	Mnoho funkcí, rozdělení do zobrazovacího a datového okna, ale program je přehledný	Jednoduché a přehledné, zobrazení datové struktury	Jednoduché, ne příliš vyvinuté, vhodnější je konzole	Velké množství nástrojů a produktů, ale přehledné.	Klient Godiva2 podle úprav administrátora	Nástroj má jednoduché rozhraní spojené s ArcMap
PŘÍZPŮSOBNÍ	Program lze téměř celý přizpůsobit uživateli (uložení nastavení)	změna legendy, zobrazení, způsob vykreslení dat	Vše přizpůsobitelné uživateli, skriptování, Python, PHP, Perl, Java	Import předem vytvořených prvků (legenda), úprava pokladové vrstvy	Jelikož se jedná o WMS server a klienta, jsou možnosti přizpůsobení velké	Nástroj nenabízí žádné možnosti přizpůsobení
RYCHLOST	Program dokáže vizualizovat velké datové sady velmi rychle (i přes vzdálený přístup)	Díky jeho jednoduchosti je velmi rychlý	Velmi rychlý při zpracování a překreslování zobrazení	Při real-time zobrazení dat (aktualizace každou 1 minutu) je program stále rychlý	Při použití na Localhostu bylo vykreslení dat (lokálních i vzdálených) pomalé, u animace bylo časové zpoždění	Rychlé prohlížení dat, plynulá animace, rychlost závisí na programu ArcMap
OVLÁDÁNÍ	Uživatelky přívětivé, pohyb po mapě je složitější	Jednoduché, chybí pohyb a zoom mapy	Kombinace konzole a GUI, složitější ovládání	Jednoduché a přívětivé rozhraní	Klient Godiva2 podle úprav administrátora	Velmi jednoduché a přehledné
ROZŠÍŘITELNOST	možnosti skriptování (toolbary, pluginy, vzorce)	Přidáním podkladové mapy a legendy	Tvorba nového GUI, widgety, nástroje, skriptování	Chybí možnosti pro rozšíření	Velké možnosti rozšíření	Není neboť, Dimension Explorer je rozšířením
GRAF. VÝSTUPY	Obrázkové i video výstupy	Obrazové i video výstupy	Obrazové výstupy	Obrazové výstupy	WMS, obrazové výstupy	Stejně jako ArcMap
PROJEKCE	Předvolené oblasti	Volba několika zobrazení	Malý výběr projekcí	Pouze USA	Přepočítání dat podle podkladové vrstvy	Podle mosaikových datasetů
ZAJÍMAVOST	Velké množství datových katalogů, Flythrough zobrazení	Není nutná instalace	Jiné názvy proměnných při použití GUI a konzole	Aktuální varovné zprávy, vektory pouze pro zvolený radar	WMS služba pro netCDF data, export do Google Earth	Vizualizované modely lze ukládat