

České Vysoké Učení Technické v Praze
Stavební fakulta

Diplomová práce



Petr Bezděka

Distribuce a kontrola kvality GNSS dat v rámci národní a evropské výzkumné infrastruktury

Katedra Geomatiky

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geomatika

Praha 2017

Název práce: Distribuce a kontrola kvality GNSS dat v rámci národní a evropské výzkumné infrastruktury

Autor: Petr Bezděka

Katedra: Katedra Geomatiky

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá problematikou distribuce a kontroly kvality GNSS dat v rámci nově vznikajících národních a evropských infrastruktur. Čtenář je seznámen s obecným významem výzkumných infrastruktur a je mu blíže popsána struktura konkrétních projektů EPOS a CzechGeo. Významná část diplomové práce se zabývá testováním jednotlivých nástrojů, které pro EPOS v současné době vznikají. Pro efektivní distribuci GNSS dat je kladen důraz společně s daty distribuovat také informace o jejich kvalitě. Diplomová práce obsahuje ukázkové analýzy kontroly kvality GNSS dat postavené na výstupech softwaru G-Nut/Anubis. Hlavním výsledkem diplomové práce je aktivní zapojení autora do vývoje jednotlivých nástrojů pro výzkumné infrastruktury a návrh integrace nástrojů EPOS do projektu CzechGeo.

Klíčová slova: Distribuce GNSS dat, kontrola kvality GNSS dat, výzkumné infrastruktury, EPOS, CzechGeo, GOP, software G-Nut/Anubis, RunQC

Title: Distribution and quality control of GNSS data in the framework of Czech and European research infrastructures

Author: Petr Bezděka

Department: Departement of Geomatics

Supervisor: Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.

Abstract: This thesis is about distribution and quality control of GNSS data within national and Europe emerging infrastructures. It describes the background of the research infrastructure projects EPOS and CzechGeo. Important part of the thesis is about testing individual tools, which are under development in the EPOS-IP project. In order to maximize efficiency of GNSS data distribution, information about the data quality is also generated and distributed. The thesis contains the quality control data analysis based on output from G-Nut/Anubis software. Main outcome of the thesis is author's engage in development and testing of individual tools for research infrastructures and their integration in the CzechGeo project.

Keywords: Distribution GNSS data, quality control of GNSS data, research infrastructures, EPOS, CzechGeo, GOP, software G-Nut/Anubis, RunQC

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Doušovi, Ph.D. z Geodetické observatoře Pecný, VÚGTK, v.v.i. za možnost účastnit se pod jeho vedením zajímavých projektů v rámci distribuce GNSS dat na národní a evropské úrovni. Především mu děkuji za poskytnuté konzultace k jednotlivým tematům této diplomové práce.

Velké díky také patří prof. Ing. Alešovi Čepkovi, CSc. za odborné vedení této diplomové práce a celého magisterského studijního oboru Geomatika na ČVUT, jehož studium mohu vřele doporučit.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím citovaných zdrojů, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.

V Praze dne 21. května 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Bezděka Jméno: Petr Osobní číslo: 410895

Zadávající katedra: K155 Geomatika

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geomatika

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Distribuce a kontrola kvality GNSS dat v rámci národní a evropské výzkumné infrastruktury

Název diplomové práce anglicky: Distribution and quality control of GNSS data in the framework of Czech and European research infrastructures

Pokyny pro vypracování:

Student se seznámí s projekty EPOS a CzechGeo, otestuje existující nástroje a aktivně se zapojí do vývoje nových nástrojů, které v rámci projektů vznikají. Součástí diplomové práce je zaměření se na problematiku kontroly kvality GNSS dat pomocí software G-Nut/Anubis. Výstupem diplomové práce je vyhodnocení případného přínosu integrace nástrojů EPOS do projektu CzechGeo.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 24.2.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 21.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Obsah

1	Úvod	3
2	Výzkumné GNSS infrastruktury	5
2.1	EPOS - Evropský observační systém	5
2.1.1	Cíle a struktura	6
2.1.2	Tematická služba pro GNSS data a produkty	7
2.1.3	Distribuce GNSS dat	8
2.2	CzechGeo - národní infrastruktura	9
3	Testování existujících nástrojů EPOS	11
3.1	Hierarchie systému EPOS	11
3.2	EPOS SQL databáze	13
3.2.1	Klasifikace GNSS metadat	14
3.2.2	Zprovoznění národního uzlu EPOS-GNSS	16
3.3	EPOS FLASK webový server	16
3.3.1	Příprava a konfigurace webového serveru	16
3.3.2	Testování aktuální verze	17
3.3.3	Příprava GNSS metadat T1	19
3.4	EPOS GLASS webový server	21
3.4.1	Instalace webového serveru	21
3.4.2	EPOS GLASS GUI webový klient	21
4	Kontrola kvality GNSS dat	26
4.1	Parametry kvality dat	26
4.1.1	Kvantitativní parametry	27
4.1.2	Kvalitativní parametry	27
4.1.3	Komplexní parametry	27
4.2	Software G-Nut/Anubis	27
4.2.1	Konfigurace softwaru	28
4.2.2	Vstupní soubory	28
4.2.3	Výstupní soubory	29
4.3	Ukázkové analýzy kontroly kvality GNSS dat	33
4.3.1	Sledované parametry	33
4.3.2	Grafická vizualizace parametrů	34
5	Vývoj nástroje RunQC pro EPOS	43
5.1	Význam nástroje	43
5.2	Schéma jednotlivých procesů	43
5.3	Implementace nástroje RunQC	47
6	Vývoj CzechGeo GNSS webového portálu	49
6.1	Schéma hlavních procesů	49
6.2	Implementace jednotlivých nástrojů	50
6.2.1	Vizualizace T1 metadat	52
6.2.2	Vizualizace T2 metadat	53
6.2.3	Vizualizace T3 metadat	54

7 Závěr	55
Literatura	57
Seznam použitých zkratek	59

1. Úvod

Pod pojmem GNSS se skrývá moderní technologie, pomocí které lze v reálném čase a kdekoliv na povrchu Země určit aktuální polohu uživatele s přesností na jednotky až desítky metrů. Poloha je určena na základě komunikace mezi přijímačem a družicemi, které obíhají na drahách ve výšce zhruba 25 tisíc kilometrů okolo Země. Zkratku GNSS lze do českého jazyka přeložit jako globální družicové navigační systémy. Prvním a nejznámějším GNSS je americký systém GPS Navstar, druhým kompletním a operativním systémem je ruský Glonass a v příštích letech budou dokončovány dva novější systémy - evropské Galileo a čínské BeiDou. Využití kombinace více systémů najednou potom označujeme jako multi-GNSS řešení. Vedle globálních navigačních systémů existují také regionální systémy zpřesňující globální službu v určitém regionu, příkladem je evropský EGNOS, americký WAAS, japonské QZSS či indický NAVIC.

V poslední dekádě prochází technologie GNSS dynamickým rozvojem a její využití se rychle dostává do mnoha oborů. Družicové navigační systémy, které byly původně primárně zaměřeny pro vojenské účely, se staly součástí běžného civilního života. Téměř každý z nás má ve svém mobilním zařízení GPS přijímač a více či méně často ho používá. Navigaci v letecké, pozemní či námořní dopravě si již bez použití GNSS ani nedokážeme představit. Díky rostoucí přesnosti a klesajícím pořizovacím cenám je dnes obvyklé setkat se s GNSS v běžné geodetické praxi i inženýrské geodézii. GNSS ovšem dnes potkáváme i v netradičních oblastech jakými jsou zemědělství, předpovědi počasí, systémy včasného varování a dalších.

V diplomové práci se podrobněji zabývám vznikajícími výzkumnými infrastrukturami a v rámci nich organizovaným sběrem, distribucí a kontrolou kvality GNSS dat pro vědecké účely. Aplikování otevřených licencí na data, produkty, služby a software v rámci vědeckých infrastruktur mívá na maximální snahu o jejich přirozené a neomezené šíření široké veřejnosti. Rád bych na tomto místě zdůraznil, že právě ve své diplomové práci pracuji s GNSS daty určenými pro vědecké účely. Taková GNSS data jsou nepřetržitě observována v co nejlepší možné kvalitě odpovídající aktuálním možnostem technologií v daném období a jsou publikována prostřednictvím výzkumných infrastruktur, které GNSS data archivují. Na základě těchto observovaných GNSS dat poté vědecké týmy (i z jiných oborů) mají možnost podrobněji s daty pracovat a sledovat trendy zkoumaných parametrů v dlouhém časovém horizontu. Jako příklady mohu uvést zkoumání procesů spojených se studiem dynamiky Země, zemského povrchu, ale i v atmosféře, kterou signál GNSS prochází.

Oproti tomu GNSS data z komerčních infrastruktur se pro vědecké účely nedají použít vždy. Komerční cíle většinou optimalizují sběr GNSS dat (kvalitu, instrumentaci, monumentaci apod) a jejich šíření pro primární účely, kvůli kterým vznikly. Často se v těchto infrastrukturách setkáváme se zjednodušováním dané problematiky za cílem minimalizovat náklady na provoz. Je to sice pochopitelné, ale možnost využití dat je potom limitována často na jediný komerční účel. Zanedbávají se například parametry, které pro požadované komerční účely nehrají ve výstupech velkou roli. Problémem také je, že komerční infrastruktury málokdy archivují GNSS data.

Pro efektivitu sběru, archivaci a distribuci GNSS observací je důležité sbírat,

kontrolovat a šířit informace o jejich kvalitě. Pro tento účel provádíme v pravidelném intervalu analýzy kontroly kvality dat, které indikují poskytovatelům dat případné problémy na jejich GNSS stanicích. V rámci výzkumných infrastruktur výsledky kontroly kvality dat také předáváme uživatelům prostřednictvím klíčových parametrů. V diplomové práci je proto kladen důraz na problematiku monitoringu GNSS dat, a to zejména na sledování kvalitativních, kvantitativních a komplexních parametrů. Analýzy dat jsou prováděny s využitím software G-Nut/Anubis, který je v současné době standardním nástrojem vyvíjeným na Geodetické observatoři Pecný, VÚGTK, v.v.i. pro účely evropské výzkumné infrastruktury EPOS, která je zařazená na cestovní mapě Evropského strategického fóra pro výzkumné infrastruktury (ESFRI).

Diplomová práce je rozdělena do 7 kapitol. V kapitole 2 představím cíle a rozvoj vědeckých infrastruktur, konkrétně Evropského observačního systému EPOS a národního projektu CzechGeo. V kapitole 3 popíši nástroje vyvíjené pro evropskou infrastrukturu EPOS a provedu přípravu národního uzlu pro tuto infrastrukturu. Kontrolou kvality GNSS dat se podrobně zabývám v kapitole 4. V kapitole 5 se zaměřím na popis vlastních aktivit přispívajících k vývoji standardních programových nástrojů pro EPOS výzkumnou infrastrukturu. Kapitola 6 popisuje mé přispění do národní infrastruktury CzechGeo prostřednictvím vývoje GNSS webového portálu.

Cílem diplomové práce je aktivně se zapojit do vývoje programových nástrojů pro evropskou a národní vědeckou infrastrukturu a kromě toho také zhodnotit přínos integrace dat, služeb i nástrojů z evropské i národní infrastruktury.

2. Výzkumné GNSS infrastruktury

Význam výzkumných infrastruktur se zvyšuje s narůstajícími požadavky výzkumu orientovaného na řešení dnes velmi komplexních a čím dál více mezioborových a globálních problematik, ale také s potřebou efektivně propojovat výzkum s oblastmi vzdělávání a průmyslu. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) je ústředním orgánem státní správy ČR zodpovědným za podporu a financování výzkumných infrastruktur, které jsou definovány jako:

„jedinečné výzkumné zařízení, včetně jeho pořízení, souvisejících investic a zajištění jeho činnosti, které je nezbytné pro ucelenou výzkumnou a vývojovou činnost s vysokou finanční a technologickou náročností a které je schvalováno vládou a zřizováno jednou výzkumnou organizací pro využití též dalšími výzkumnými organizacemi.“ [Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2015]

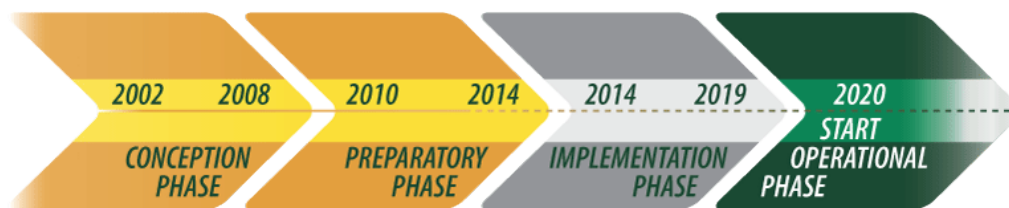
Pro podporu a hodnocení výzkumných infrastruktur rovněž MŠMT připravuje a aktualizuje tzv. cestovní mapu prioritních směrů. Česká republika tak následuje strategii Evropské Unie, která v 2002 ustavila Evropské strategické fórum pro výzkumné infrastruktury, ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures), sdružující členské státy EU a definující priority i cestovní mapu pro implementaci výzkumných infrastruktur panevropského charakteru a významu.

Výzkumné infrastruktury by tak měly garantovat především udržitelný rozvoj technologicky náročných a společensky významných vědeckých zařízení pro mezioborové zaměření a výsledky poskytovat široké veřejnosti v maximálně otevřené míře. Z tohoto pohledu jsou data a produkty vznikající z výzkumných infrastruktur nejčastěji šířeny pod tzv. otevřenými licencemi. Mezi hlavní uživatele takto získaných dat a produktů počítáme především neziskové výzkumné a vzdělávací instituce, ale bývají jimi i státní správa či komerční sektor.

2.1 EPOS - Evropský observační systém

Evropský observační systém - EPOS (European Plate Observing System) patří mezi velké evropské výzkumné infrastruktury. Zaměřuje se na podporu mezioborového výzkumu a pozorování procesů spojených s pevnou Zemí a hlavním cílem je zajištění maximální integrace odpovídajících výzkumných infrastruktur na národní úrovni. Koncepční záměr EPOS spadá již do počátků první dekády tohoto století, viz obrázek 2.1. V roce 2007 se EPOS dostal na cestovní mapu ESFRI, v letech 2010 až 2014 byly přípravné fáze rozvoje EPOS infrastruktury podpořeny projektem 7. rámcového programu Evropské Unie (EPOS Preparatory Phase, EPOS-PP). Po úspěšném ukončení přípravné fáze se podařilo přímo navázat dalším projektem (EPOS Implementation Phase, EPOS-IP) pro období 2015-2019, který představuje implementační fázi panevropské infrastruktury. Integrační proces je z poloviny spolufinancován Evropským programem Horizont 2020 (18 mil. Euro) a z druhé poloviny z národních zdrojů.

Hlavním iniciátorem návrhu a koordinace příprav Evropského observačního systému EPOS je italský národní institut pro geofyziku a vulkanologii, INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), který v roce 2017 založil se sídlem v Římě EPOS konsorcium ERIC (Community legal framework for a European Research Infrastructure Consortium).



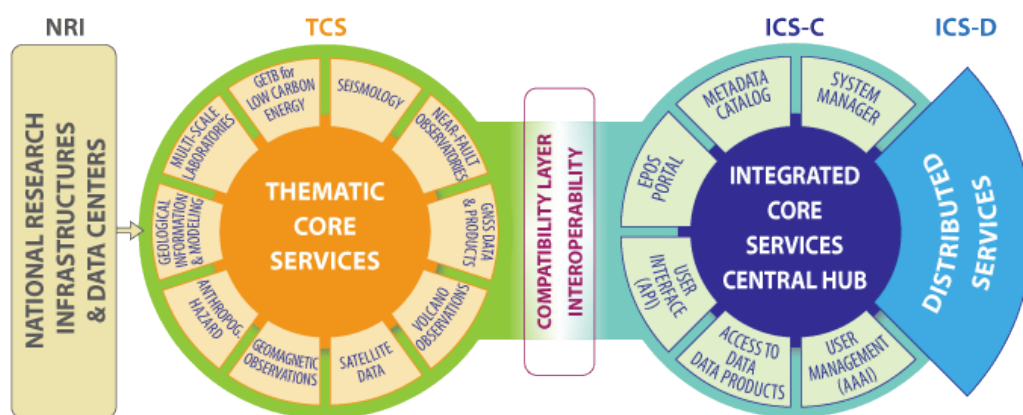
Obrázek 2.1: Fáze rozvoje Evropského observačního systému

Projektu EPOS-IP, do kterého náplň této diplomové práce spadá, se účastní více než 60 institucí z většiny Evropských zemí. Do projektu přispívají také dvě instituce z České republiky – VÚGTK, v.v.i, a Geofyzikální ústav Akademie Věd ČR, které současně reprezentují konsorcium CzechGeo v EPOS garantujícím odpovídající infrastrukturu na národní úrovni.

V následujících kapitolách jsem čerpal z pracovní verze článku EPOS White Paper [EPOS Board of National Scientific Representatives, 2017], ve kterém je projekt EPOS přehledně popsán.

2.1.1 Cíle a struktura

Hlavním cílem je integrovat existující národní i nadnárodní infrastruktury zabývající se výzkumem procesů spojených s pevnou Zemí do Evropského observačního systému – EPOS. Jedná se v první řadě o integraci dat a produktů na rozhraní vědních disciplín, pro jejich efektivní sběr, udržitelnou archivaci i otevřenou distribuci spolu s garancí vysoké kvality a optimálního využití v rozličných oborech. Důležité je samozřejmě zajištění jednoduchého přístupu, standardizace a homogenizace metadat, sledování kvality, zajištění legislativních a finančních podmínek pro udržitelnost panevropské i národních infrastruktur v dlouhodobém horizontu.



Obrázek 2.2: Schéma integrace výzkumných infrastruktur v EPOS

Schéma víceúrovňové integrace výzkumných infrastruktur do panevropských a interdisciplinárních služeb je znázorněno v obrázku 2.2. Národní infrastruktury (stávající či pro integraci připravované) jsou reprezentovány v levé části schématu (NRI) a jsou základními vstupy pro integraci v rámci oborově tematických

služeb TCS (Thematic Core Services) zobrazených ve střední části obrázku. Implementační projekt počítá s deseti tematickými službami, které jsou uvedeny v jednotlivých sektorech obrázku 2.2. Každá ze služeb definuje a implementuje data, datové produkty, software a služby (DDSS) pro vlastní obor výzkumu.

Nejvyšší úroveň integrace dat, datových produktů, softwaru a služeb napříč vědními obory nakonec zajišťují tzv. Integrované služby ICS (Integrated Core Services) znázorněné v pravé části obrázku a ideálně reprezentují hlavní portál pro přístup k datům a službám včetně centrálních služeb jako například jednotné registrace a autentifikace uživatelů, sledování využívání služeb, výkonné výpočetní infrastruktury apod. Integrované služby budou provozovány v rámci Exekutivní a koordinačního úřadu ECO (Executive and Coordination Office) pod EPOS-ERIC konsorciem, viz pravá část obrázku 2.2.

Geodetická data a produkty jsou v současné době v EPOS reprezentovány jednou z deseti tematických služeb uvedených na obrázku 2.3 – tematickou službou pro GNSS data a produkty. V rámci projektu EPOS-IP definuje každou tematickou službu speciální pracovní skupina, která je současně odpovědná za její implementaci a demonstraci. Napříč tematickými skupinami je navíc koordinována spolupráce formou tzv. homogenizačních skupin, které byly ad-hoc ustaveny pro specifická data a metadata.



Obrázek 2.3: Tematické služby EPOS pro jednotlivé vědní obory

2.1.2 Tematická služba pro GNSS data a produkty

Cílem skupiny pro GNSS data a produkty je implementovat vybrané služby a programové systémy za účelem sběru a distribuce dat a datových produktů založených na pozorování signálů GNSS, které tak budou připraveny pro integraci do Evropského observačního systému. V rámci projektu EPOS-IP GNSS pracovní skupinu tvoří deset institucionálních partnerů, ale i řady partnerských institucí z Evropy i celého světa. V rámci Evropského observačního systému představuje GNSS pracovní skupina spolu s Geomagnetickou skupinou jediný příspě-

vek z České republiky, který je zajišťován Geodetickou observatoří Pecný (GOP) z VÚGTK, v.v.i., respektive GFÚ, AV ČR. V GNSS pracovní skupině J. Douša (GOP) koordinuje vývoj nového systému (GLASS, více v kapitole 3) pro efektivní distribuci GNSS dat výzkumných infrastruktur na základě principu virtualizované správy a šíření odpovídajících metadat. Vedle koordinace prací je hlavním příspěvkem do systému GLASS příprava a modifikace softwaru G-Nut/Anubis vyvíjeného v GOP, VÚGTK, v.v.i. pro kontrolu kvality GNSS observací. Současně také účast obou českých institucí v EPOS-IP úzce souvisí s projektem velké národní infrastruktury CzechGeo, který bude přiblížen v následující kapitole 2.2. VÚGTK, v.v.i. také garantuje návaznost dat a služeb GNSS v budované evropské e-infrastruktuře a v současné době je spoluzakládajícím členem konsorcia pro GNSS tematickou službu zajišťující udržitelnost v operační fázi Evropského observačního systému.

2.1.3 Distribuce GNSS dat

Pilotní implementační fáze projektu EPOS se soustředí na vývoj základních principů a programových nástrojů se zaměřením na denní GNSS datové soubory. Z vědeckého pohledu jde totiž o standardní data, která jsou zároveň zásadní pro řadu studií spojených s dlouhodobým sledováním dynamiky Evropské tektonické desky a mohou proto sloužit k tvorbě prototypu v celoevropském měřítku. Kromě sjednocení metadat nezbytných pro uživatelsky efektivní vyhledávání datových souborů a zajištění ověřeného i monitorovaného přístupu k nim je cílem zajistit také produkty zpracování dat (časové řady souřadnic a jejich změn či odvozených produktů jako deformační mapy apod.). V budoucnu bude rovněž žádoucí budovaný observační systém rozšířit o další typy GNSS dat a produktů, zejména pro podporu distribuce dat a jejich zpracování v reálném čase pomocí datových proudů (data streams), distribuce hodinových souborů pro aplikace v ultra-rychlém režimu či datových souborů s vysokým rozlišením (např. 1-50Hz). Tyto budou hrát důležitou roli především v časově a prostorově lokalizovaných studiích (například monitorování zemětřesení a zemětřesných rojů, aktivních vulkánů, svahových deformací apod.) a také pro vývoj systémů varovných hlášení dostupných téměř v reálném čase.

Cílem efektivní distribuce dat v EPOS je zajištění unikátního portálu, který zprostředkuje jednoduché vyhledávání jednotlivých GNSS stanic, datových souborů, produktů a jejich metadat v rámci celé EPOS infrastruktury. A to vše za podmínky, že vlastní data budou fyzicky kopírována pouze mezi odpovědným poskytovatelem a koncovým uživatelem, a také až po rozhodnutí o jejich skutečné potřebě.

Pro tento účel bude systém distribuce GNSS dat primárně založen na vhodně definovaných metadatech (popisných datech), které o datových souborech sbíráme, v rámci infrastruktury je ukládáme do databází a sdílíme za účelem snadného prohledávání a zobrazování. Vzniká nám tzv. metadatový katalog a tento postup označujeme jako virtualizaci dat. Za tím účelem je vyvíjen zcela nový programový systém s názvem GLASS, který bude využit pro zřízení virtuálních uzlů, obsahujících především SQL databázi a další přidružené nástroje, které budou schopny mezi sebou vzájemně komunikovat a sdílet odpovídající metadata.

Národní uzel evropské infrastruktury bude odpovědný za poskytování a gene-

rování metadat na úrovni národních infrastruktur. Více o EPOS uzlech, databázi a nástrojích se zabývám v kapitole 3, ve které aktuální verze nástrojů testuji.

Demonstrace prototypu pro distribuci GNSS dat a hlavní webový portál jsou plánovány na konec léta a podzim 2017, kdy projekt EPOS-IP bude v polovině období, přičemž v druhé části projektu bude třeba se soustředit na validaci a rozšíření vyvinutého systému včetně všech nezbytných komponent, které budou popsány v již zmíněné kapitole 3.

2.2 CzechGeo - národní infrastruktura

Účelová podpora výzkumných infrastruktur českých geovědních ústavů byla schválena vládou České republiky rozhodnutím č. 208 dne 15. března 2010. Projekt je financován Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy. Webová prezentace projektu se nachází na www.czechgeo.cz.

V současné době je v provozu

- Datový portál seismických dat
- GNSS datový portál
- Geologický mapový server

Zúčastněné geovědní instituce

- Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
- Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR
- Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
- Ústav fyziky Země Masarykovy Univerzity
- Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy
- Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
- Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
- Česká geologická služba

Distribuce GNSS dat

Distribuci GNSS dat v rámci projektu CzechGeo zastřešuje GOP. Data jsou distribuována fyzicky. Pro tyto účely je určen jeden konkrétní server, na kterém je pro národní infrastrukturu spravováno datové centrum. Komunikace ve většině případech probíhá prostřednictvím protokolu FTP. Jednotlivé stanice observovaná data automaticky zasílají do datového centra.

GNSS sítě v rámci CzechGeo

- GEONAS
 - Geodynamická síť GNSS Akademie věd ČR
 - počet stanic: 22
- PPGNET
 - Síť permanentních stanic GNSS v Řecku
 - počet stanic: 6
- VESOG
 - Výzkumná a experimentální síť permanentních stanic GNSS v ČR
 - počet stanic: 11
- CZEPOS
 - Síť permanentních stanic GNSS České republiky
 - počet stanic: 28

Informace o GNSS sítích byly převzaty z přednášky, která byla odprezentována na CzechGeo/EPOS Workshopu [Kostelecký and Plicka, 2016]. Projektem CzechGeo se podrobněji zabývám v kapitole 6 při vývoji GNSS webového portálu.

3. Testování existujících nástrojů EPOS

Jak již bylo zmíněno, na národní úrovni GOP zastřešuje distribuci GNSS dat prostřednictvím výzkumné infrastruktury CzechGeo. V současné době paralelně vzniká evropská infrastruktura EPOS. Jako správci národní infrastruktury musíme být připraveni na její integraci do evropského projektu. Zapojení se do vývoje a testování nástrojů, které pro EPOS vznikají, je pro nás tedy prioritou.

Pomocí aktivní spolupráce s evropskými partnery se nám do jisté míry otevřela možnost ovlivnit směřování EPOS a přizpůsobit vývoj jednotlivých nástrojů blíže k potřebám národní infrastruktury. Je důležité si uvědomit, že k tématu distribuce GNSS dat každý stát přistupuje jinak a vůbec sjednotit způsob tvorby evropské infrastruktury bylo velkou výzvou, s kterou se koordinátoři projektu museli na začátku projektu intenzivně zabývat.

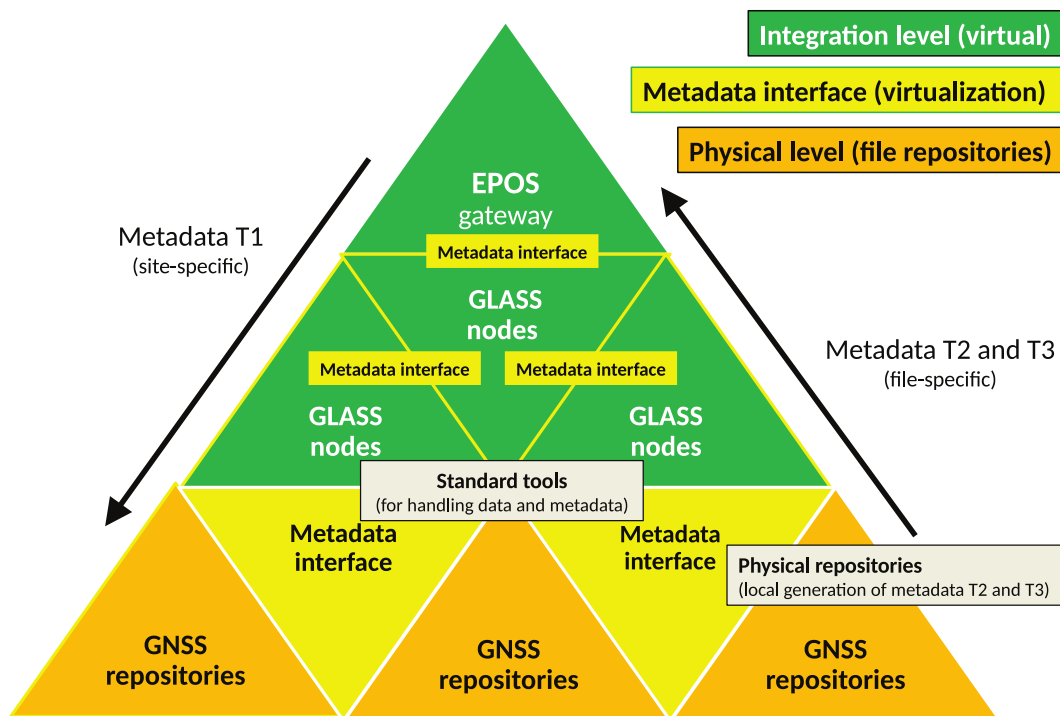
V současné době moje komunikace s evropskými partnery probíhá ohledně průběžného testování nově vznikajících nástrojů. Kolegům poskytuji zpětnou vazbu k jejich vývoji a společně navrhujeme možná zlepšení. V této kapitole bych se ale chtěl spíše zabývat zprovozněním již existujících nástrojů pro EPOS, které budu v rámci své pracovní pozice na GOP používat pro administraci národního uzlu evropské infrastruktury.

3.1 Hierarchie systému EPOS

Základem distribuce GNSS dat v rámci projektu EPOS je tzv. virtualizace, o které jsem se již zmínil v kapitole 2.1.3 a jejíž systém si můžeme více popsat pomocí obrázku 3.1. GNSS data jsou fyzicky uložena v GNSS repozitářích označených na obrázku oranžově. Nad repozitáři spravujeme prostředí pro metadata, které nám data v jednotlivých repozitářích popisují - na obrázku uvedené žlutou barvou. Metadata ukládáme do lokálních uzlů, které představují virtuální vrstvu a které jsou na obrázku zvýrazněny zeleně. Uzly mohou být ve více úrovních, přesněji každý uzel může zastřešovat libovolný počet uzlů. Celý systém pak sdružuje hlavní uzel nazývaný EPOS Gateway. Jak je na obrázku vidět, data v rámci infrastruktury šíříme pouze předáváním jejich metadat mezi jednotlivými uzly. Reálná data fyzicky zůstávají uložena v původních repozitářích a neprobíhá s nimi žádná manipulace. Komunikace mezi uzly probíhá automaticky pomocí synchronizace ve vertikálním směru.

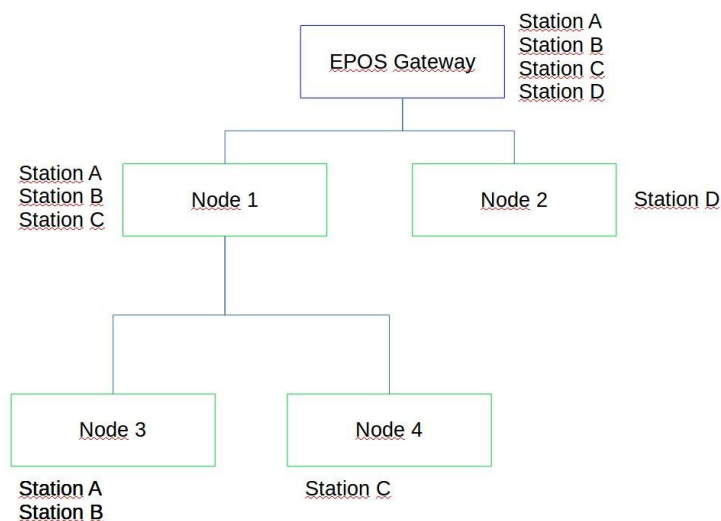
Pro efektivní práci s metadaty jsme si je podle významu rozdělili do několika typů. Podrobně se klasifikací metadat zabývám níže v kapitole 3.2.1. Prozatím se spokojíme s informací, že existují metadata, které označujeme jako metadata T1 a které nám popisují GNSS stanice. Taková metadata jsou spravována v kořenovém uzlu EPOS Gateway a jejich synchronizace je vedena směrem shora dolů. Tímto způsobem zajišťujeme v celém systému unikátní identifikaci GNSS stanic, která je pro robustnost systému nezbytná. Pokud chceme tedy zařadit novou GNSS stanicí do systému, musíme ji nejdříve vytvořit v kořenovém uzlu EPOS Gateway.

Dále používáme metadata T2 a T3, která nám zprostředkovávají informace o jednotlivých observovaných souborech a jejich kvalitě. K synchronizaci těchto metadat přistupujeme směrem zezdola nahoru. Metadata o souborech tedy spravujeme na té nejnížší úrovni a pomocí vertikální synchronizace se v rámci systému postupně rozšiřují do nadřazených uzlů.



Obrázek 3.1: Schéma distribuce GNSS dat v rámci EPOS

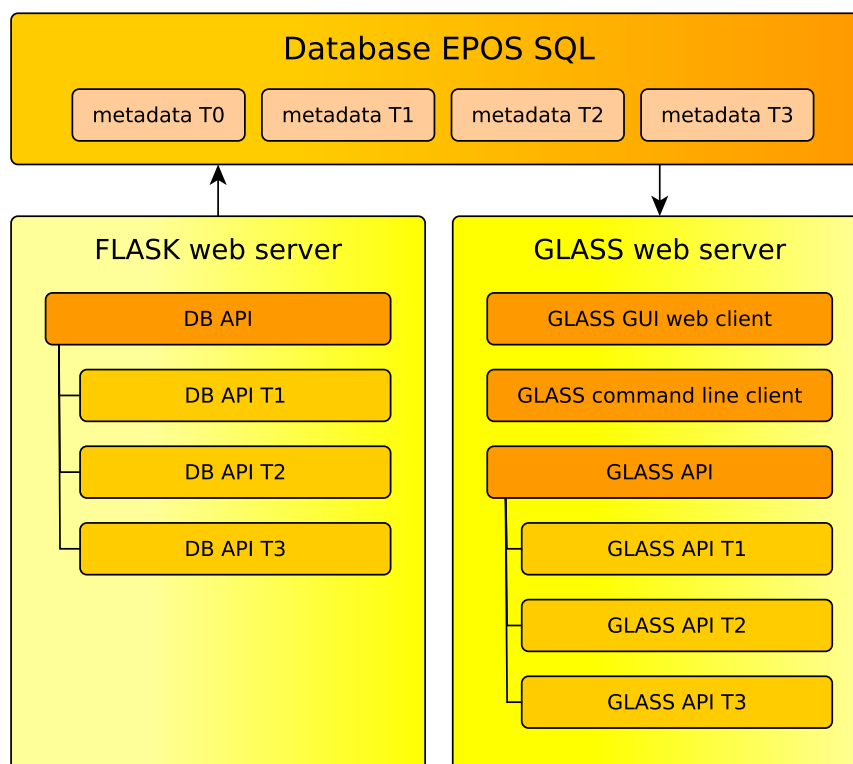
Princip distribuce GNSS dat si ještě můžeme ukázat na obrázku 3.2 popisujícím šíření metadat o stanicích. Kořenový uzel EPOS Gateway obsahuje všechny stanice v systému. Podřízené uzly Node 1 a Node 2 reprezentují uzly národních infrastruktur a obsahují stanice z daného státu. Uzel Node 2 odpovídá české národní infrastruktuře, ve které nejnižší uzel virtuální vrtvy odpovídá rovnou národnímu uzlu. U větších států se můžeme dostat do situace, kterou popisuje uzel Node 1. Národní uzel sdružuje více uzlů, které prezentují například regionální členění státu.



Obrázek 3.2: Schéma distribuce GNSS metadat T1

Výzkumná infrastruktura EPOS obsahuje nástroje, které s GNSS daty a jejich metadaty pracují. Jejich přehled je znázorněn na obrázku 3.3. Hlavní komponenty

tou celého systému je EPOS SQL databáze obsahující jednotlivé typy metadat. Pro poskytovatele GNSS dat je vyvíjen webový server FLASK, který prostřednictvím svého API, které pracovně označujeme za DB API, umožňuje správu metadat. FLASK webový server slouží tedy pro vkládání, editování a mazání metadat z EPOS SQL databáze. Oproti tomu nástroje obsažené na webovém serveru GLASS slouží pro distribuci GNSS dat široké veřejnosti. V rámci tohoto serveru je vyvíjen webový klient GLASS GUI pomocí jehož interaktivního grafického rozhraní jsou GNSS metadata zobrazována. Prostřednictvím webového klienta lze dále metadata filtrovat a stahovat GNSS data. GLASS webový server ještě obsahuje pro pokročilejší uživatele klienta pro příkazovou řádku a své API, které komunikuje s EPOS SQL databází.



Obrázek 3.3: Struktura EPOS nástrojů pro práci s GNSS metadaty

3.2 EPOS SQL databáze

EPOS SQL databáze je navržena pro ukládání metadat, která nám blíže popisují observované GNSS data. [Hjörvar and Baire, 2016] Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.3, v systému EPOS-GNSS využíváme virtualizaci. Prvky virtuální vrstvy si můžeme představit jako uzly grafu, ve kterém každý uzel ve skutečnosti prezentuje jednu EPOS SQL databázi. Uzly jsou uspořádané ve stromové struktuře. Mezi uzly probíhá vertikální synchronizace ve směru zezdola nahoru.

3.2.1 Klasifikace GNSS metadat

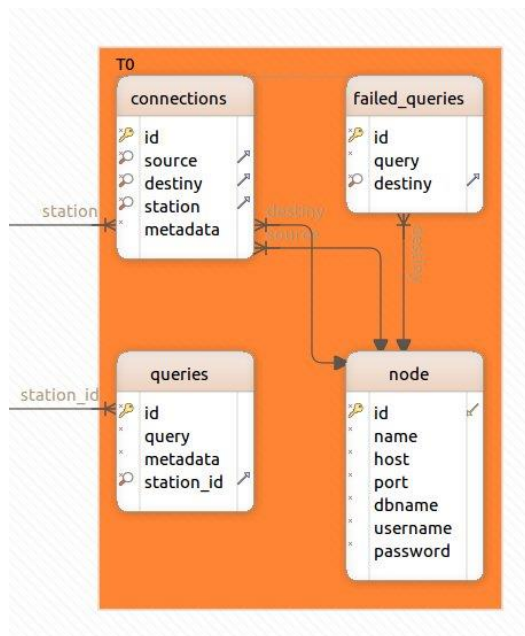
Pro návrh SQL databáze bylo nutné GNSS metadata nejdříve klasifikovat. [Baire et al., 2016] Samotná klasifikace nám pomohla lépe se v dané problematice orientovat a efektivněji metadata spravovat. GNSS metadata jsme rozdělili na čtyři typy:

- GNSS metadata typu 0
- GNSS metadata typu 1
- GNSS metadata typu 2
- GNSS metadata typu 3

GNSS metadata typu 0

GNSS metadata typu 0, dále jen T0, prezentují vlastnosti konkrétního uzlu. Pomocí T0 přiřazujeme uzel do systému EPOS-GNSS a podle těchto metadat se řídí v rámci systému vertikální synchronizace. Metadata T0 jsou uložena ve dvou hlavních tabulkách. V tabulce Node definujeme vlastnosti uzlu a v tabulce Connections jsou uloženy informace o spojení mezi dalšími uzly z EPOS-GNSS.

Do struktury T0 zařazujeme ještě dvě tabulky, které žádné metadata neobsahují. Pomocí tabulek Queries a Failed_queries je spravována samotná vertikální synchronizace ostatních typů metadat v systému EPOS-GNSS. Tyto dvě tabulky si můžeme představit jako frontu logovacích zpráv.



Obrázek 3.4: Struktura metadat T0

GNSS metadata typu 1

GNSS metadata typu 1, dále jen T1, prezentují základní informace o GNSS stanicích. V současné době jsou tyto informace mezi operátory předávány prostřednictvím textového formátu sitelog, který je považován za standardní výměnný formát GNSS dat. Sitelog obsahuje velké množství dat, proto jsme strukturu metadat T1 rozdělili do 3 kategorií.

- povinné prvky (jednoznačně definují GNSS stanici)
- doporučené prvky
- volitelné prvky

Aktuálně strukturu databáze pro metdata T1 obsahuje 34 povinných, 17 doporučených a 113 volitelných prvků. Náhled struktury metadat T1 je přiložen jako příloha této diplomové práce. Frekvence změn popisných informací o stanicích je malá, samotná změna může být inicializována například výměnnou GNSS přijmače nebo antény. Právě tyto změny musí být zaznamenávány chronologicky. Metadata T1 jsou rozdělena do následujících tematických tabulek:

- jednoznačná identifikace stanice
- informace o stanici sloužící pro analýzy
- informace geofyzikálního charakteru
- administrativní údaje o stanici
- popis meteorologických podmínek observací

Koncem této kapitoly bych chtěl zmínit, že aktuálně vzniká nový výměnný formát pro T1 metadata, který označujeme jako GML (GeodesyML). Cílem struktury metadat T1 v rámci EPOS je, aby byly s novým formátem GML validní.

GNSS metadata typu 2

GNSS metadata typu 2, dále jen T2, představují informace o observovaných souborech. Hlavním účelem těchto metadat je observované RINEX soubory v rámci systému EPOS-GNSS unikátně identifikovat a poskytovat uživatelům cestu k souborům, kde jsou soubory fyzicky uloženy.

Pro větší robustnost systému EPOS-GNSS je cesta k observovanému souboru složena z následujících částí: cesta k datovému centru, adresářová struktura pro daný typ souboru, relativní cesta k souboru.

`ftp://ftp.wp10.eu/network1/daily/2016/320/filename.16D.Z`

Hlavní výhodou této funkcionality je skutečnost, že pokud se změní například adresa serveru nebo adresářová struktura na serveru, nemusíme zpětně zasahovat do obsahu metadat T2.

Metadata T2 obsahují také parametr status, pomocí kterého uživatel zjistí, zda je soubor dostupný a zda jsou o něm k dispozici parametry kontroly kvality dat.

GNSS metadata typu 3

Prostřednictvím GNSS metadat typu 3 jsou šířeny informace o kvalitě konkrétních observovaných RINEX souborů. Tento typ metadat nám soubory blíže specifikuje. Samotná metadata vznikají prostřednictvím procesu kontroly kvality GNSS dat a jejich struktura je přizpůsobena formátu QC-XML, který byl vyvinut pro potřeby projektu EPOS. Více se problematikou kontroly GNSS dat zabývám v následující kapitole 4.

3.2.2 Zprovoznění národního uzlu EPOS-GNSS

Základním prvkem národního uzlu EPOS-GNSS je EPOS SQL databáze, která je postavena na databázovém systému PostgreSQL. K dispozici máme druhou pracovní verzi, která se zatím nejvíce přibližuje plánované finální produkční EPOS databázi. V současné verzi je pevně stanovena struktura T1. Před oficiálním spuštěním projektu EPOS nás čekají ještě drobné úpravy struktury T2 a revize T3 metadat.

Po vytvoření nové prázdné databáze s testujícím názvem Epos_v2 jsem nahrál SQL dávku, která obsahuje databázovou strukturu. SQL dávka předpokládá existenci uživatele gps, proto doporučuji si ho před importem dávky v PostgreSQL založit. Celý import proběhl v naprostém pořádku bez žádných chybových hlášek. Testování proběhlo pod operačním systémem Ubuntu 16.04 a verzi PostgreSQL 9.5.6.

Aktuálně máme databázi připravenou pro nahrávání GNSS metadat. V následujících kapitolách otestujeme existující nástroje, které jsou pro práci s metadaty určeny.

3.3 EPOS FLASK webový server

V kapitole 3.2 jsme se seznámili s návrhem EPOS SQL databáze a na základě jeho testování jsem zprovoznil národní uzel EPOS-GNSS. Na serveru máme tedy nyní založenou prázdnou strukturu databáze bez metadat. V současné době je na IMO vyvíjen webový server, který poskytuje webovou službu REST API určenou pro komunikaci s EPOS SQL databází. Webovou službu označujeme jako DB API a pomocí ní máme možnost efektivně metadata do databáze vkládat a editovat je. EPOS FLASK webový server je tedy určen pro poskytovatele GNSS dat, respektive správce jednotlivých národních uzlů.

Komunikace probíhá prostřednictvím HTTP protokolu. Uživatelé zadávají své dotazy přes URL adresu a zpětnou vazbu od serveru dostávají ve formátu JSON. Při vývoji se zatím počítá se třemi základními HTTP metodami - GET, POST a PUT. Metoda GET nám vrací požadované GNSS metadata z databáze. Metody POST a PUT nám do databáze GNSS metadata vkládají, a to s tím rozdílem, že metoda POST GNSS metadata vytváří a metoda PUT je edituje.

3.3.1 Příprava a konfigurace webového serveru

Jak již bylo zmíněno, DB API je součástí serveru webových služeb, který označujeme jako EPOS FLASK server. Při jeho konfiguraci jsem vycházel z pří-

praveného technického manuálu [Sigurðarson, 2017]. Tento server pro svůj chod požaduje Python ve verzi 2.7 a instalaci následujících modulů:

- framework FLASK
- nástroj SQLAlchemy
- knihovnu Requests 2.11.1

EPOS FLASK server je postavený na mikroframeworku FLASK pro programovací jazyk Python. Tento minimalistický framework rozšiřujeme nástrojem SQLAlchemy, který nám umožňuje samotnou komunikaci s databází. S využitím tohoto nástroje především definujeme datový model pro jednotlivé funkcionality DB API. HTTP knihovnu Requests používáme ve skriptech při volání jednotlivých dotazů, které v DB API používáme. Instalaci všech tří modulů doporučuji provést přes nástroj python-pip.

Samotný server spouštíme pomocí skriptu `web_server.py`. Před samotným spuštěním serveru musíme pomocí `cfg` souboru nakonfigurovat následující parametry:

- IP adresa serveru pro přístup přes internet
- připojení k EPOS SQL databázi
 - uživatel
 - heslo
 - host
 - název databáze

3.3.2 Testování aktuální verze

V rámci EPOS GNSS pracovní skupiny máme k dispozici aktuální zdrojové kódy k webovému serveru ve verzi 2.0. Aktuální verze je určena pouze pro testování a obsahuje malé množství funkcionalit. Dotazy jsou zatím určeny pouze pro základní práci s metadaty T1. Prostřednictvím DB API můžeme vytvořit novou GNSS stanic, získat o ní konkrétní informace a získat seznam všech GNSS stanic, které máme v databázi vytvořeny. Níže uvádím krátký přehled tří funkcí, které máme nyní k dispozici.

Metoda GET `/gps/station`

Výsledek: vrací pole všech stanic ve formátu JSON

Ukázka výstupu:

```
[ { "marker": "GOPE", "id": 1, "name": "Pecny" }, ... ]
```

Ukázkový kód 3.1: DB API - `/gps/station`

Metoda GET /gps/station{marker}

Výsledek: vrací informace o vybrané stanici ve formátu JSON

Ukázka výstupu:

```
[
  {
    "station_networks": [
      {
        "network": {
          "name": "A"
        }
      }
    ],
    "name": "Pecny, Ondrejov / CZ",
    "date_to": null,
    "marker": "GOPE",
    "date_from": "1992-06-13 00:00:00",
    "agency": {
      "name": "Research Institute of Geodesy,
        Topography and Cartography, p.r.i.
        Geodetic Observatory Pecny"
    },
    "id": 1,
    "location": {
      "country": {
        "name": "Czech Republic"
      },
      "state": {
        "name": "Bohemia"
      },
      "coordinates": {
        "lat": 49.9137,
        "altitude": 592.6,
        "lon": 14.7856
      },
      "city": {
        "name": "Ondrejov"
      }
    }
  }
]
```

Ukázkový kód 3.2: DB API - /gps/station{marker}

Jak je na ukázce výstupu 3.2 vidět, tato metoda zobrazuje základní informace o GNSS stanici. Kvalita výstupních metadat samozřejmě závisí na kvalitě metadat vstupních. Při importu metadat T1 do databáze čerpáme z tzv. GNSS sitelogů. Touto problematikou se více zabývám podrobněji při testování DB API v kapitole 3.3.3.

Metoda POST /gps/station

Výsledek: vkládá do databáze GNSS stanici prostřednictvím formátu JSON
Vstupující testovací JSON soubor:

```
{
  "marker": "GOPE",
  "name": "Pecny",
  "items": [
    {
      "item_type": "antenna",
      "serial_number": "test",
      "date_from": "2015-06-30 00:00:00",
      "attributes": [{
        "description": "testdesc1",
        "date_from": "2015-01-01 00:00:00",
        "date_to": "2016-05-05 00:00:00"
      }]
    },
    {
      "item_type": "radome",
      "serial_number": "test2",
      "attributes": [{
        "description": "testdesc2",
        "date_from": "2015-05-05 00:00:00",
        "date_to": "2016-05-05 00:00:00"
      }]
    }
  ]
}
```

Ukázkový kód 3.3: DB API - POST /gps/station

Na ukázce 3.3 je uveden pouze minimalistický testovací JSON soubor, pomocí kterého můžeme zjistit, zda metoda POST v pořádku funguje. Reálný JSON soubor pro import metadat T1 je mnohem podrobnější.

Jak již bylo napsáno výše, více funkcionalit není v DB API aktuálně k dispozici. Práce s metadaty T2 a T3 není zatím vůbec podporována. Dotazy pro metadata T1 jsou základní a použitelné pouze pro testovací prostředí. Kolegové z IMO museli dát přednost tvorbě EPOS SQL databáze a na vývoj DB API se intenzivně zaměří v blízké budoucnosti.

Jako vhodný klient pro testování existujících metod DB API byl vybrán klient Postman, jehož základní verze je zdarma k dispozici. Tento program nám prostřednictvím intuitivního GUI umožňuje efektivně aktuální stav DB API testovat. Jednotlivé dotazy můžeme sdružovat do kolekcí, které po sléze můžeme jednorázově spustit jako dávku. Historie provedených dotazů je automaticky ukládána do historie a výsledky dotazů jsou přehledně graficky zpracované, jak je vidět na obrázku 3.5.

3.3.3 Příprava GNSS metadat T1

V této kapitole se zabývám přípravou GNSS metadat T1 pro národní uzel EPOS-GNSS. Jak již bylo v kapitole 3.2.1 zmíněno, GNSS metadata T1 jsou v dnešní době šířena prostřednictvím tzv. sitelogů. Jedná se o soubory v textovém



Obrázek 3.5: Ukázka komunikace s DB API v klientu Postman

formátu, které mají pevně danou strukturu obsahu. Hlavním problémem sitelogů je fakt, že jsou distribuovány jejich různé typy. Nejvýznamnější sjednocení formátu sitelogů vzniklo na základě potřeb IGS a EPN. Pro zmíněné infrastruktury vznikl také nástroj pro validaci sitelogů, který umožňuje formát zkontrolovat a pomocí online webového formuláře editovat. K dispozici je na www.epncb.oma.be.

Ve výzkumné GNSS infrastruktuře EPOS vycházíme z těchto aktivit a přebíráme standard stanovený IGS a EPN. Pro přípravu GNSS metadat T1 bylo tedy potřeba všechny sitelogy českých GNSS stanic zkontrolovat a upravit podle zmíněného validátoru. V situaci, kdy máme sitelogy validní, je musíme převést do formátu JSON pro komunikaci s DB API. K tomuto účelu vyvinuly v CNRS pro EPOS nástroj sitelog2json, který funguje bezchybně.

Vložení českých stanic do systému EPOS bylo provedeno jednorázově pomocí jednoduchého Python skriptu, který je součástí EPOS FLASK serveru. Skript sekvenčně prochází vstupující dávku JSON souborů a metadata o GNSS stanicích prostřednictvím metody POST předává do DB API.

Důležité je si uvědomit, že veškerá struktura metadat T1 v EPOS SQL databázi vzniká pouze na základě informací získaných ze sitelogů. Pokud importovaná hodnota v databázi neexistuje, automaticky se vytvoří na základě importovaného souboru hodnota nová. Poskytovatelé GNSS metadat T1 v sitelogu publikují podle svého uvážení. Aktuálně se tedy potýkáme s problémem vzniku různých hodnot metadat s duplicitním významem. Jsme v situaci, kdy například v tabulce Tectonics, která obsahuje informace o litosferických deskách, máme několik označení pro Euroasijskou desku (Eurasian, Eurasia, Eur-asian apod.).

Pro potřeby našeho národního uzlu EPOS-GNSS nebyl problém různé významové duplicity sjednotit. V rámci celé infrastruktury EPOS je ale nutné významové duplicity systematicky řešit. Jako nejlepší řešení se jeví upravit validátor sitelogů pro IGS a EPN. Na potřebu sjednotit významové duplicity by poskytovatelé tedy byli upozorněni již při validaci sitelogů.

3.4 EPOS GLASS webový server

V předchozí kapitole 3.3 jsme si popsali EPOS FLASK webový server, který umožňuje GNSS metadata spravovat. V rámci evropské infrastruktury EPOS je ale také vyvíjen skupinou UBI další webový server, který označujeme jako EPOS GLASS webový server [Pereira, 2016]. Cílem tohoto serveru je na rozdíl od EPOS FLASK GNSS metadata prezentovat široké veřejnosti.

EPOS GLASS webový server je postavený na Java frameworku GlassFish. Cílem webového serveru je poskytnout GNSS metadat distribuované prostřednictvím EPOS-GNSS uživatelům pomocí třech způsobů:

- GLASS GUI webový klient
- GLASS klient pro příkazovou řádku
- GLASS API (na kterém jsou předchozí dva způsoby postaveny)

Předpokládá se, že nejběžněji používaným nástrojem mezi uživateli bude GLASS GUI webový klient, který má sloužit pro rychlé vyhledání a stahování GNSS metadat prostřednictvím jednoduchého intuitivního webového prostředí. Toto prostředí bude vizualizovat základní strukturu metadat T1, která bude propojena s metadaty T2 a T3. Pro uživatele, kteří budou potřebovat okamžité kompletní informace z EPOS-GNSS, bude sloužit GLASS klient pro příkazovou řádku a nebo přímo GLASS API. V současné době máme k dispozici vývojovou verzi GLASS GUI webového klienta, jehož testováním se zabývám v kapitole 3.4.2. GLASS klient pro příkazovou řádku zatím není vyvíjen.

3.4.1 Instalace webového serveru

Jak již bylo v kapitole 3.4 řečeno, EPOS GLASS webový server je postaven na frameworku GlassFish, který je vyvíjen v programovacím jazyku Java. Pokud jsme tak již neprovedli v minulosti, musíme nejdříve nainstalovat Java SE Development 8. Poté musíme stáhnout a nainstalovat zmiňovaný framework GlassFish. Při instalaci GlassFish nastavíme IP adresu a heslo pro administrátora. V konfiguračním prostředí GlassFish, které se nachází ve výchozím nastavení na localhost:4848, nahrajeme pomocí war souboru EPOS GLASS webový server. Dále v konfiguraci nastavíme připojení k EPOS SQL databáze. Po těchto krocích je EPOS GLASS webový server připraven a na adrese localhost:8101 můžeme ověřit jeho funkčnost.

3.4.2 EPOS GLASS GUI webový klient

Webový klient je vyvíjen kolegy z CNRS a jeho cílem je poskytnout uživatelům rychlé vyhledání a stahování GNSS metadat v rámci evropské infrastruktury EPOS.[Ngo et al., 2017] Pro tyto účely je připraveno grafické intuitivní prostředí. Při vývoji se kolegové inspirovali existujícím projektem GSAC a využili javascriptovou knihovnu Leaflet. Webový klient EPOS GLASS GUI distribuje vybrané GNSS metadata. Pomocí grafického prostředí jsou implementovány jednotlivé nástroje pro interaktivní práci s GNSS metadaty.

Operace s GNSS metadaty, které uživatel v rámci webového klienta provádí, probíhají nad předem načtenými daty. Díky této strategii se docílila rychlejší odezva grafického prostředí a nepřetěžuje se opakovanými dotazy EPOS SQL databáze. Nevýhodou je delší doba načítání klienta při jeho prvním spuštění. Dále právě díky tomuto přístupu webový klient zobrazuje jen vybraná metadata T1, vyhledávání mezi daty lze jenom podle vybraných klíčových metadat.

4 Char ID	Site Name	Lat	Lon	Alt	Install Date	End Date	Country
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> greater than <input type="text"/> less than	<input type="text"/> greater than <input type="text"/> less than	<input type="text"/> greater than <input type="text"/> less than	<input type="text"/> greater than	<input type="text"/> less than	Czech Republic
✓ BISK	BISKUPSKA KUPA	50.25669860839844	17.428600311279297	950.9000244140625	2001-09-06 12:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CBRU	Bruntal	49.98889923095703	17.46780014038086	605	2005-11-02 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CBUD	Ceske Budejovice	48.96760177612305	14.475299835205078	456.20001220703125	2013-04-12 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CDAC	Dacice	49.07979965209961	15.436800003051758	534.7000122070312	2005-02-27 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CDOM	Domazlice	49.445899963378906	12.924099922180176	519.5999755859375	2005-04-21 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CFRM	Frydek Mistek	49.68479919433594	18.353200912475586	373.600061035156	2005-10-20 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CHOD	Hodonin	48.84960174560547	17.129100799560547	228.39999389648438	2005-10-13 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CJES	Jesenik	50.2327995300293	17.208200454711914	487.3999938964844	2012-11-19 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CJHR	Jindrichuv Hradec	49.14799880981445	15.00879955291748	543.5	2015-08-27 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CJIH	Jihlava	49.39360046386719	15.586400032043457	576.7999877929688	2005-01-11 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic
✓ CKAP	Kaplice	48.73929977416992	14.493800163269043	599.7000122070312	2005-07-14 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Czech Republic

Obrázek 3.6: EPOS GLASS GUI webový klient

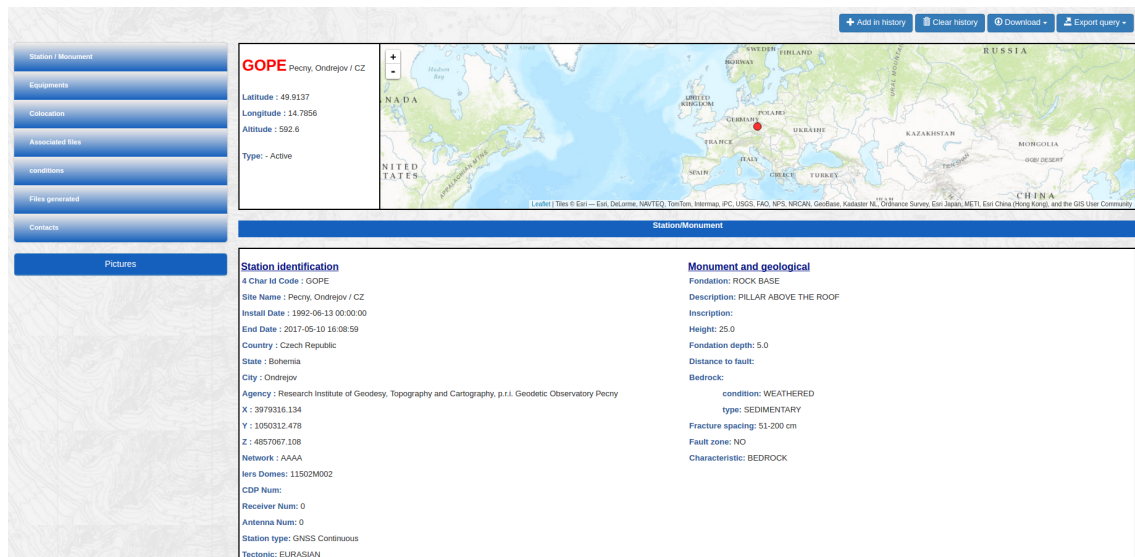
Jak je na obrázku 3.6 oranžovou barvou zvláště, hlavní stránka webového klienta se skládá ze tří částí:

1. řídicí lišta
2. mapové okno
3. tabulka s metadaty

Pomocí řídicí lišty se otevírá uživatelům možnost si grafické prostředí přizpůsobit podle svých potřeb. Umožňuje skrýt jednotlivé nástroje, zvětšit prostor pro mapové okno, zobrazit pokročilé vyhledávání stanic podle typu observovaných systémů a zrušit stávající filtry. Dále mají uživatelé možnost vyexpertovat vybrané GNSS stanice. Aktuálně jsou k dispozici exporty ve formátu JSON a CSV. V plánu je umožnit exportovat data ve formátu GeodesyML a PDF. Mapové okno je interaktivní, máme možnost označit jednu konkrétní GNSS stanic nebo můžeme označit více stanic najednou. Metadata vybraných GNSS stanic se interaktivně zobrazují v dolní části obrazovky v tabulce.

Na obrázku 3.7 je vidět detailní výpis metadat ke konkrétní vybrané stanici. Metadata jsou rozdělena do tematických celků, které odpovídají struktuře IGS a

EPN formátu sitelogu. V grafickém prostředí mají uživatelé k dispozici přehledně zpracované detailní informace o GNSS stanici - například máme k dispozici o GNSS stanici její geografické informace, administrativní kontakty na poskytovatele a historii výměn GNSS přijmačů a antén.

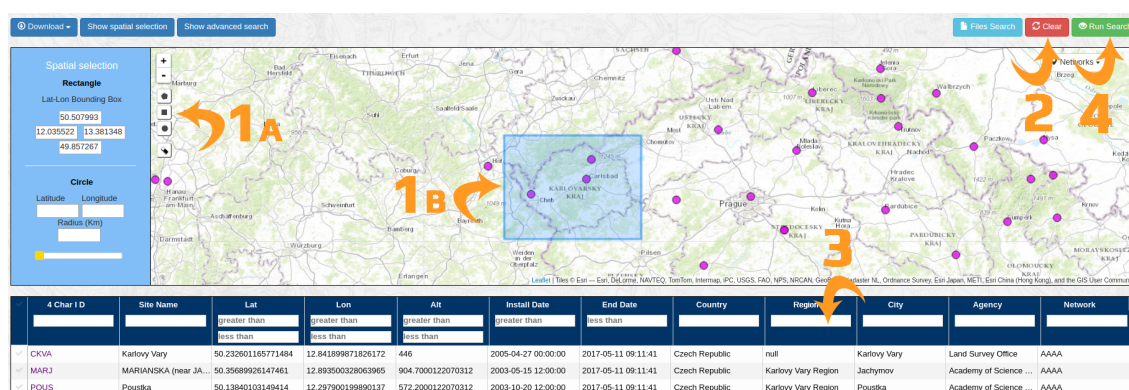


Obrázek 3.7: EPOS GLASS GUI webový klient

Funkcionalitu webového klienta si můžeme nejlépe demonstrovat na příkladu, který simuluje předpokládané chování uživatelů. Jako modelový příklad si můžeme stanovit situaci, kdy uživatel chce stáhnout metadata pro všechny české stanice z Karlovarského kraje. Postupovat bude podle následujících kroků:

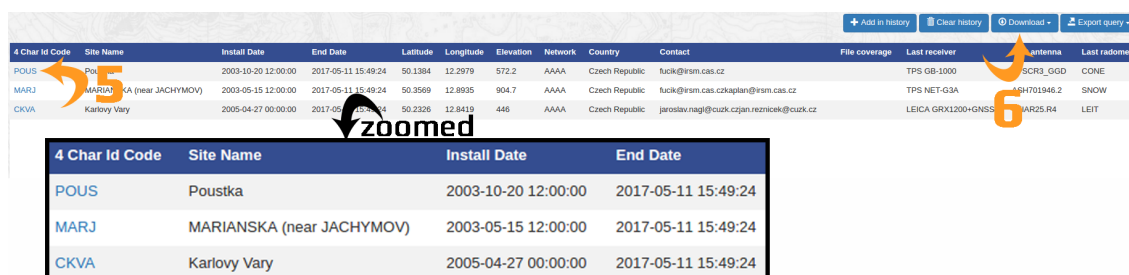
1. Uživatel graficky označí zájmovou oblast, v našem případě Karlovarský kraj, pomocí obdélníkového nástroje umístěného v levé části obrazovky. V případě, že by obdélníkový výběr obsahoval GNSS stanice i z jiného kraje, má uživatel možnost použít polygonový výběr. Graficky vyznačená oblast je zobrazena v mapovém okně světle modrým pozadím (obrázek 3.8).
2. Pokud uživatel není spokojený s aktuálním výběrem, může provést vyčištění mapového okna (obrázek 3.8).
3. Druhou variantou jak označit stanice v Karlovarském kraji je pomocí filtrování metadat. Filtr uživatel provede v dolní části obrazovky v metadatové tabulce ve sloupci "Region", do kterého zadá klíčové slovo "Karlovarský kraj". Filtr funguje okamžitě, při psaní klíčového slova uživatel tedy zjistí, že klíčové slovo musí být ve tvaru "Karlovy Vary Region". Přesto uživatel nemusí dojít k požadovanému výsledku. Tato metoda je totiž náchylná na úroveň kvality metadat T1 a jejich celistvost, o které jsem se již zmiňoval v kapitole 3.3.3. Konkrétní problém v tomto případě nastává u stanice CKVA (GNSS stanice Karlovy Vary, síť Czepos), která atribut "Region" nemá v databázi vyplněný. V aktuálním testovacím prostředí by uživatel o tuto stanici tedy přišel (obrázek 3.8).

- Do této doby uživatel pracoval s předpřipravenými daty. V případě, že je s výběrem spokojený, může dotaz provést přímo s reálnými daty z databáze. Komunikace se spustí po kliknutí na tlačítko "Run Search" (obrázek 3.8)
- Výsledek dotazu se pak zobrazí na nové stránce prostřednictvím přehledné tabulky. Obrázek 3.9. V tomto kroku má uživatel také možnost po kliku na název stanice zobrazit detailní informace o GNSS stanici, jak bylo uvedeno na obrázku 3.7.
- List stanic a jejich metadata T1 si může uživatel vyexportovat po kliku na tlačítkem "Download". V současné době jsou podporovány datové formáty JSON a CSV (obrázek 3.9).



Obrázek 3.8: EPOS GLASS GUI webový klient

V rámci testování jsem se pokoušel stáhnout metadata T1 také pomocí pokročilejších filtrů. Například jsem hledal informace o GNSS stanicích, které se nacházejí ve výšce nad 1000 m.n.m a používají různé typy GNSS přijmače Leica. K tomuto účelu jsem použil nástroj "Advanced search", který je vidět na obrázku 3.10 a který by nám filtr podle typu přijmače měl umožnit. Tento nástroj v aktuální testovací verzi ale nefunguje regulérně. Na obrázku 3.10 jsou tedy zobrazeny GNSS stanice pouze podle nadmořské výšky.



Obrázek 3.9: EPOS GLASS GUI webový klient

4 Char I D	Site Name	Lat	Lon	Alt	Install Date	End Date	Country	State	City	Agency	Network
ACCE	ACCE 1952SM001	44.476200103759766	6.9802001879831055	1321.699951171875	2014-02-09 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	null	Acciglio	A.R.P.A. PIEMONTE	AAAA
ACOM	Monte Acomizza	46.54790115356445	13.514900207519531	1774.699951171875	2003-07-01 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	Udine	Malborghetto-Valbruna	Centro Ricerche Stom...	AAAA
AFAL	Alpe Fabara	46.5270999609375	12.174500465393066	2284.10009765625	2003-06-17 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	Belluno	Cortina d'Ampezzo	Centro Ricerche Stom...	AAAA
AGNE	AGNE IZ777M001	45.467899322509766	7.139599800109863	2354.60009765625	2011-04-17 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	null	Ceresole Reale	A.R.P.A. PIEMONTE	AAAA
AGRD	Agedra	41.8489990234375	-1.9306000471115112	1010.7999877929688	2007-04-26 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Spain	null	Agedra	Instituto TecnolACAg...	AAAA
AKGL	Mont Aigoual	44.12139892578125	3.5813000202117895	1618.800048828125	2001-06-01 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	FRANCE	Gard	VALLERAUGUE	GM	RENAG RGP
ALPE	Alpe d'Huez	45.08660125732422	6.083499908447266	1892.199951171875	2006-10-30 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	FRANCE	Iserre	ALPE D'HUEZ	ISTerre	RENAG RGP
AMMN	Amman	32.029998778296875	35.880001068115234	1055.800048828125	1999-06-15 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Jordan	null	Amman	Royal Jordanian Geo...	AAAA
ARGR	Refuge d'Argentiere	45.94649887084961	7.004799842834473	2834.199951171875	2007-06-28 12:00:00	2017-05-11 09:11:41	FRANCE	Haute-Savoie	ARGENTIERE	ISTerre	RENAG RGP
ASIA	UNIVERSITY OF PAD...	45.86629887553711	11.525400161743164	1093.699951171875	2001-11-21 12:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	null	Asiago	Osservatorio Astrono...	AAAA
ATBU	ATBU I850AM001	43.47600173950195	12.547800064086914	1046	2009-07-07 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Italy	PERUGIA	SERRE DI BURANO	Istituto Nazionale di G...	AAAA
AUBU	Aubure	48.216800689697266	7.196700096130371	1151.800048828125	2008-07-05 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	FRANCE	Haut-Rhin	AUBURE	ECOST	RENAG RGP
AVIZ	Avila-Fomento	40.66379928588867	-4.678199768066406	1206.5	2014-07-29 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Spain	null	Avila	Instituto TecnolACAg...	AAAA
AVIL	Avila	40.651100158691406	-4.67829983190381	1176.9000244140625	2006-01-01 00:00:00	2017-05-11 09:11:41	Spain	Avila	Avila	Instituto TecnolACAg...	AAAA

Obrázek 3.10: EPOS GLASS GUI webový klient

EPOS GLASS GUI webový klient v současné verzi nepodporuje propojení metadat T1 s metadaty T2 a T3. Uživatel tedy má možnost se seznámit s vlastnostmi GNSS stanic, nemá však k dispozici stažení jednotlivých observovaných GNSS dat. Na funkcionalitě se pracuje.

4. Kontrola kvality GNSS dat

Jednou z hlavních myšlenek distribuce GNSS dat v rámci vědecké infrastruktury EPOS je data nejen poskytovat, ale především co nejpřesněji charakterizovat vhodně definovanými metadaty. Díky metadatům, jejich publikování a sdílení lze zajistit, aby uživatel měl konkrétní představu o dostupných datech, aniž by je musel fyzicky stahovat. Na základě vyhledávání v metadatech se tak může rozhodnout o efektivním využití dat pro konkrétní čas a lokalitu, ale například sledovat i kvalitu odpovídající jeho výzkumným potřebám. V této kapitole vycházím především ze článků [Václavovic and Douša, 2015] a [Václavovic and Douša, 2016].

Pro lepší orientaci v této problematice jsme si jednotlivé typy metadat klasifikovali v kapitole 3.2.1. Pro připomenutí, metadata T0, T1 a T2 si můžeme představit jako základní informace, která data popisují a odkazují uživatele, kde jsou soubory ke stažení. Podrobné informace o reálném obsahu dostupných GNSS dat jsou definovány až v kategorii T3 metadat. Tato teprve umožňují detailní výběr na základě znalosti skutečné kvality a kompletnosti pozorovaných dat včetně konzistence metadat T1 z GLASS databáze a informací z hlaviček datových souborů. Rutinní tvorba T3 metadat rovněž poskytuje důležitou zpětnou vazbu všem poskytovatelům dat. Je klíčovým nástrojem při monitorování dlouhodobé kvality dat a konzistence jejich hlaviček se skutečností. Taková nekonzistence je v případě GNSS totiž častý problém, který snižuje kvalitu vlastních pozorování a z nich odvozených produktů anebo dokonce znemožňuje zpracování dat či interpretaci výsledků.

Zajištění odpovídající tvorby T3 metadat je náročný proces, při kterém musíme být schopni analyzovat různé typy GNSS dat a observací, zejména pak v souvislosti s nastupující generací multi-GNSS aplikací založených na kombinaci čtyř globálních navigačních systémů - amerického GPS, ruského GLONASS, evropského Galileo a čínského BeiDou. Komunikace mezi přijmači a družicemi probíhá ve více frekvencích, aby bylo možné eliminovat z velké části vliv ionosférické refrakce. Oproti původním dvěma frekvencím u GPS pro pozorování před cca 20 lety nabízí dnes systém Galileo až čtyři frekvence a další řadu režimů pozorování. Při analýze také musíme dbát na technické standardy, například musíme umět pracovat jak s historickým formátem souborů pro GNSS data (RINEX 2), tak současně i s nově nastupujícím formátem (RINEX 3), který podporuje všechny nové typy observací a navigačních systémů.

Pokud chceme provést kompletní analýzu kvality dat, musíme do zpracování zahrnout i navigační zprávy jednotlivých systémů. Navigační zprávy jsou popsány více v kapitole 4.2.2. Přístupem k navigačním zprávám se více zabírám v kapitole ?? při tvorbě nástroje RunQC, který jsem vyvinul v návaznosti pro potřeby EPOS a vývoj nástroje je popsán v této diplomové práci.

4.1 Parametry kvality dat

Struktura metadat T3 je tvořena vybranými parametry kvality dat, které jsme klasifikovali do tří kategorií:

- kvantitativní parametry - nezávislé na algoritmech
- kvalitativní parametry - závislé na algoritmech

- komplexní parametry - na základě zpracování dat

4.1.1 Kvantitativní parametry

Kvantitativní parametry jsou určeny bez použití konkrétních algoritmů a prezentují nejdůležitější informace získané z obsahu kontrolovaného souboru, které nám charakterizují jeho kvalitu. Tyto parametry nejsou závislé na navigačních zprávách a nejsou zkresleny žádnými aproximacemi v analýze. Jedná se například o počtu epoch měření, počtu pozorovaných družic, frekvencí a signálů, výpadků či krátkých úseků observací apod.

4.1.2 Kvalitativní parametry

Kvalitativní parametry slouží pro určení reálné kvality dat. K určení těchto parametrů již potřebujeme použít konkrétní algoritmy, které závisí na dalších informacích jako například pozice družic. Výsledek je tedy ovlivněn vlastnostmi použitého algoritmu a dalšími aproximacemi, které jsou při výpočtu aplikovány. Příkladem je odhad vícecestného šíření kódových pozorování, sledování kompletnosti dat, detekce skoku hodin přijímače, počet teoreticky očekávaných observací a histogram elevačních úhlů. Právě pro výpočet některých z těchto parametrů potřebujeme dodatečné informace z navigačních zpráv pro poskytnutí aktuální pozice družic a výpočet observovaných azimutů a elevačních úhlů.

4.1.3 Komplexní parametry

Komplexní parametry poskytují úplný přehled dosažené úrovně kvality dat v porovnání se standardními polohovacími metodami. Výpočty těchto parametrů vyžadují dodatečné informace z navigačních zpráv o pozici družic a hodin. Používány jsou robustní algoritmy podporující dual-frekvenční data. Tyto parametry poskytují souřadnice stanice s metrovou přesností.

4.2 Software G-Nut/Anubis

Software G-Nut/Anubis je vhodný pro poskytovatele GNSS dat jakožto nástroj pro analýzu kvality dat, který splňuje všechny výše uvedené požadavky na samotný proces kontroly kvality dat a řeší problémy s tím spojené. Anubis od verze 2.0.0 potřeby vědeckých infrastruktur plně podporuje. Právě díky jeho komplexnosti je pro projekty CzechGeo a EPOS oficiálně akceptovaným nástrojem.

Anubis podporuje nejvýznamnější globální družicové polohové systémy a je distribuován pod licencí GNU GPL V3. Jeho autory jsou Ing. Jan Douša, PhD. a Ing. Pavel Václavovic, oba z GOP. Aktuální verze softwaru k datu odevzdání diplomové práce je 2.0.2. Program je k dispozici ke stažení na www.pecny.cz (GNSS > Software > Anubis), kde je rovněž i popsán způsob instalace.

4.2.1 Konfigurace softwaru

Před každým spuštěním Anubis musíme vytvořit konfiguraci, která probíhá pomocí souboru ve formátu XML. Konfigurační soubor je rozdělen do čtyř hlavních částí:

- element <gen>
- element <inputs>
- element <outputs>
- element <qc>
- element <rec>

Hlavní část definuje element <gen> s uvedením nominálních požadavků na kontrolu observačního souboru - datum a čas počátku a konce očekávaného intervalu a frekvence záznamu pozorování, výčet GNSS systémů a názvů stanic.

Element <inputs> definuje cestu a název všech vstupních souborů pro observační i navigační data ve formátu RINEX. Názvy výstupních souborů nastavujeme v elementu <outputs>.

V elementu <rec> volitelně konfigurujeme nominální údaje o kontrolovaných stanicích, například typ antény a přijímače, souřadnice apod.

Atributy v elementu <qc> umožní nastavit úroveň analýzy a současně výpisu parametrů v kategoriích pro kontrolu kvality dat:

- sumarizační část
- konfrontace údajů z hlavičky souborů a nominálních metadat
- údaje o typu pozorovaných signálů, družic a systémů
- určování souřadnic polohy a jejich opakovatelnosti
- informace o chybějících datech pro jednotlivé epochy, družice, signály
- výsledky hledání skoků v hodinách přijímače a fázových pozorování
- informace o azimutech a elevačních úhlech pozorování
- údaje o počtu pozorovaných frekvencí
- charakteristika vícecestného šíření signálu
- charakteristika poměru signál a šum

4.2.2 Vstupní soubory

Vstupem do výpočtů programu Anubis jsou soubory ve formátu RINEX. Podporovány jsou verze 2 a 3. Hlavním vstupem do výpočtů jsou observační data, jejichž kvalitu analyzujeme. Proces kontroly dat můžeme spustit pro jeden soubor získaný z konkrétní stanice a nebo pro libovolnou dávku souborů, tj. například z celé sítě stanic. V současné době infrastruktury distribuují převážně GNSS denní data s 30 vteřinovým intervalem záznamu. Software Anubis je schopen zpracovat i další typy souborů včetně multi-GNSS, se záznamem s vysokým rozlišením (1Hz a více), data z kinematického přijímače apod.

Dále do kvalitativních a komplexních analýz vstupují navigační zprávy. Jedná se o data, která obsahují informace o poloze družic a korekci družicových hodin. Tyto navigační zprávy jsou distribuovány pro jednotlivé systémy zvlášť nebo jsou sloučeny do souboru pro globální použití, případně dokonce s více systémy najednou. Navigační zprávy máme k dispozici od různých poskytovatelů a jejich kompletnost se také může lišit zdroj od zdroje.

4.2.3 Výstupní soubory

Výstup z programu Anubis je k dispozici ve dvou datových formátech. Kompletní výpis se všemi parametry je v textovém formátu XTR, který je tematicky rozdělen do sekcí kontroly dat. Formát je přizpůsoben pro vyhledávání jednotlivých parametrů podle klíčových slov a lze z něj snadno pomocí externího skriptu vykreslovat grafy specifických parametrů včetně možnosti snadno extrahovat jejich vývoj v čase.

Kompaktní výpis je ve formátu XML, který byl nově definován přímo pro účely projektu Evropského observačního systému. Tento výstup obsahuje pouze nejdůležitější klíčové parametry kontroly kvality dat, které budou zapisovány do databáze specifického EPOS uzlu. XML formát lze rozdělit do čtyř hlavních částí, které jsou označeny následujícími elementy:

- element <meta>
- element <head>
- element <navi>
- element <data>

V elementu <meta> nalezneme metadata o vlastním procesu kontroly kvality: kdy výpočet proběhl, jaká verze Anubis byla použita, hodnotu elevační masky, podporované systémy, názvy vstupujících souborů a jejich md5 hodnotu pro kontrolu integrity souboru.

Informace získané z hlavičky vstupního RINEX observačního souboru jsou uvedeny v elementu <head>. Ve výpisu vidíme název stanice, typ přijímače a antény, verzi RINEX formátu, souřadnice observované stanice.

Element <navi> obsahuje údaje o kompletnosti navigačních zpráv pro jednotlivé GNSS systémy, protože více chybějících informací zde může zásadním způsobem ovlivnit výsledky kvalitativní či komplexní analýzy.

Přehled reálných observací a informace o jednotlivých frekvencích se nachází v elementu <data>.

```

<config>
  <gen>
    <beg>2017-01-01 00:00:00</beg> -> pocatecni epocha
    <end>2017-01-01 23:59:30</end> -> posledni epocha
    <int>30</int> -> sampling interval
    <sys>GPS GLO</sys> -> GNSS
    <rec>GOPE</rec> -> nazev stanice
  </gen>
  <inputs>
    <rinexo> -> observacni soubory
      data/GOPE0010.170
      data/CZRY0010.170
    </rinexo>
    <rinexn> -> navigacni soubory
      data/brdc0010.17N
    </rinexn>
  </inputs>
  <qc -> parametry kontroly kvality dat
    sec_sum="9" -> souhrnne informace
    sec_hdr="9" -> metadata z~hlavicky
    sec_est="9"
    sec_obs="9" -> statistika observaci
    sec_gap="9" -> datove mezery
    sec_bnd="9"
    sec_pre="9" -> detekce skoku hodin
    sec_ele="9" -> azimut a elevace
    sec_mpx="9" -> odhad multipath
    int_stp="1200"
    int_gap="600"
    int_psc="1800"
    mpx_nep="20"
    mpx_lim="3.0"
  />
  <outputs verb="0">
    <xtr> -> kompletni vystup ve formatu XTR
      output/$(rec)00117.xtr
    </xtr>
    <xml> -> zakladni vystup ve formatu XML
      output/$(rec)00117.xml
    </xml>
    <log> -> logovaci soubor
      output/anub001017.log
    </log>
  </outputs>
</config>

```

Ukázkový kód 4.1: G-Nut/Anubis konfigurační XML soubor

```

<meta>
  <created>2017-04-14 20:36:46</created>
  <version>1.00</version>
  <program>G-Nut/Anubis [2.0.2]</program>
  <ele_cut>10.00</ele_cut>
  <systems>BDS GAL GLO GPS QZS SBS</systems>
  <fil_nam>GOPE0010.170</fil_nam>
  <md5_sum>0240880cc0f5c72b96c3b27f10e5f454</md5_sum>
</meta>

```

Ukázkový kód 4.2: G-Nut/Anubis QC-XML - metadata

```

<head>
  <site_id>GOPE</site_id>
  <marker_num>11502M002</marker_num>
  <receiver_type>TPS NETG3</receiver_type>
  <receiver_num>01308</receiver_num>
  <antenna_type>TPSCR.G3</antenna_type>
  <antenna_dome>TPSH</antenna_dome>
  <antenna_num>30161</antenna_num>
  <software>TPS2RIN&BALRNX</software>
  <data_format>RINEX 2.11</data_format>
  <data_sampling>30.000</data_sampling>
  <coordinates
    x="3979316.439" y="1050312.253" z="4857066.904"
  />
  <eccentricity n="0.000" e="0.000" u="0.111" />
  <observations>
    <GNS> C1 P1 P2 C2 L1 L2 S1 S2 </GNS>
  </observations>
</head>

```

Ukázkový kód 4.3: G-Nut/Anubis QC-XML - hlavička

```

<navi>
  <sys
    type="GPS"      nsat="31"
    intv="7200"    have="404"
    expt="341"
  />
  <sys
    type="GLO"     nsat="0"
    intv="0"       have="0"
    expt="0"
  />
</navi>

```

Ukázkový kód 4.4: G-Nut/Anubis QC-XML - navi


```

<data>
  <data_beg>2017-01-01 00:00:00</data_beg>
  <data_end>2017-01-01 23:59:30</data_end>
  <data_smp>30.00</data_smp>
  <data_len>2880.00</data_len>
  <obs_elev>0.03</obs_elev>
  <obs_expt>55545</obs_expt>
  <obs_have>48912</obs_have>
  <usr_expt>46281</usr_expt>
  <usr_have>44820</usr_have>
  <cyc_slps>214</cyc_slps>
  <clk_jump>0</clk_jump>
  <sys type="GPS" nsat="32" expZ="33629" expU="26801">
    <epo expt="2880" have="2879" dual="2880" />
    <brk nepo="0" nsat="69" nsig="54" nslp="214" />
    <wnd type="RANGE" xepo="0" xsat="2560" />
    <wnd type="PHASE" xepo="0" xsat="1609" />
    <obs type="C1" nsat="32"
      expZ="33629" havZ="26996"
      expU="26801" havU="25340" mpth="31.91"
    />
    <obs type="C2" nsat="19"
      expZ="20165" havZ="15757"
      expU="15876" havU="14837" mpth="34.82"
    />
    <obs type="P1" nsat="32"
      expZ="33577" havZ="24436"
      expU="26755" havU="23139" mpth="33.47"
    />
    <obs type="P2" nsat="32"
      expZ="33577" havZ="24436"
      expU="26755" havU="23139" mpth="33.81"
    />
    ...
    <crd
      x="3979316.669"
      y="1050312.388"
      z="4857067.749"
      sx="1.952" sy="1.140" sz="2.566"
    />
  </sys>
</data>

```

Ukázkový kód 4.5: G-Nut/Anubis QC-XML - data

4.3 Ukázkové analýzy kontroly kvality GNSS dat

V návaznosti na přiblížení problematiky kontroly kvality dat jsem v rámci diplomové práce provedl ukázkové analýzy, které mají za cíl charakterizovat vybrané výstupy programu G-Nut/Anubis. Pro přehlednost jsou výstupy prezentovány prostřednictvím grafů.

Analýza proběhla nad ukázkovými daty z několika evropských a národních sítí, například stanice Permanentní sítě EUREF, monitorovacích stanic regionálního evropského systému EGNOS RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Station) a národních permanentních sítí GNSS spadajících pod CzechGeo. V rámci ukázek jsem se zaměřil na analýzu denních dat se 30-ti sekundovým intervalem pozorování.

4.3.1 Sledované parametry

Základem kontinuálního monitorování kvality dat GNSS stanic je rutinní analýza řady parametrů, schopných identifikovat problémy ze tří kategorií:

- instrumentální problémy přijímače, antény, krytem antény, kabeláží apod.
- environmentální problémy způsobené změnami v okolí GNSS stanice (zákryty oblohy, sníh, námraza, interference, vícecestné šíření signálu apod.)
- problémy se záznamem, přenosem a archivací dat (výpadky napájení, internetu, problém obslužného serveru či systému apod.)

Problémy mohou obecně nastat krátkodobě či dlouhodobě. Poměrně často se také objevuje postupná degradace kvality pozorování na stanici z některých z výše uvedených příčin, kterou je v krátkém okamžiku poměrně obtížné identifikovat.

Počet možných sledovaných parametrů je značný a snadno se v něm ztratí důležitá informace. Pro efektivní monitorování je proto důležité vybrat klíčové parametry, které lze snadno charakterizovat očekávanými (teoretickými) hodnotami a tyto následně porovnat s hodnotami získanými z analýz skutečných dat. Klíčové parametry potom nemusí nutně vést k detailnímu pochopení problému, ale především k jeho včasné identifikaci. Na tomto základě je kdykoli možné provést detailní analýzu se zaměřením na kratší úsek dat či na specifickou stanici a odhalit pokud možno příčiny konkrétního problému.

Tento přístup sledování vybraných klíčových parametrů jsme zvolili i v projektu, jehož cílem je mimo jiné monitorovat EGNOS RIMS stanice [Douša and Bezděka, 2017] a kvalitu jimi pozorovaných GNSS dat. Definovali jsme minimum hlavních klíčových parametrů:

- kompletnost dat – počet epoch pozorování v souboru
- kompletnost observací na minimálně dvou frekvencích
- kompletnost observací bez údaje o elevačním úhlu z navigačních zpráv
- odhad minimálního elevačního úhlu observací (odhad observační masky)
- poměr skutečných a očekávaných observací pro elevační masku 0°
- poměr skutečných a očekávaných observací pro elevační masku 15°
- opakovatelnost souřadnic při standardním určování polohy s využitím navigačních zpráv a kódových měření

- průměrná hodnota vícecestného šíření kódových observací (code multipath)
- průměrná hodnota poměru signálu a šumu fázových observací (signal-to-noise ratio)

Tento případ ukazuje zjednodušenou situaci, ve které je monitorován pouze americký GPS systém a v zájmu sledování kvality jsou pouze pozorovány na dvou původních frekvencích a dvou signálech, které jsou standardně poskytovány všemi současnými GPS družicemi. V případě moderních GNSS dat (například monitorování kvality observací z vědeckých sítí jako IGS, EUREF, EPOS, CzechGeo), bude počet klíčových parametrů narůstat v souvislosti s počtem kombinací sledovaných navigačních systémů, poskytovaných pozorovaných frekvencí a signálů a jejich režimu sledování. Komplikace potom přináší především rozmanitost dat, jejich nekompletnost z historických důvodů (omezení starších družic, pozemních přijímačů, podpory nových formátů apod.). Většinu ukázek klíčových parametrů proto zaměřím především na zjednodušenou situaci monitorování RIMS stanic.

4.3.2 Grafická vizualizace parametrů

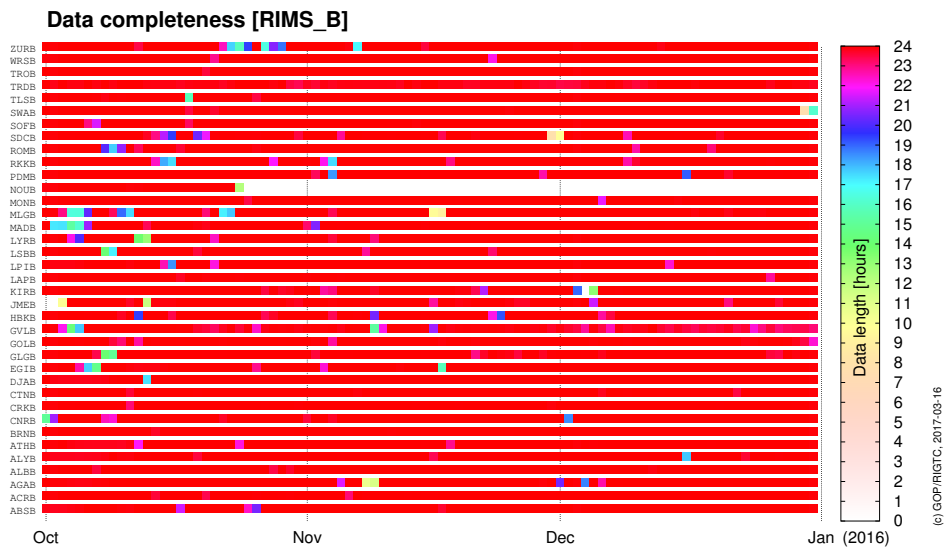
Pro efektivní účel grafické vizualizace jsme definovali tři úrovně monitorování a vybraných parametrů v rozdílném grafickém zobrazení:

1. časové posloupnosti vybraných klíčových parametrů v denním či pětidenním rozlišení parametrů v grafech pro všechny stanice společně,
2. časové posloupnosti klíčových parametrů v denním či pětidenním rozlišení a grafech pro každou jednotlivou stanici (více parametrů v jednotlivých grafech),
3. měsíční reprezentativní momentky charakterizující kvalitu dat v detailním obrázku a až 30-ti sekundovém rozlišení (např. závislosti na elevačním úhlu a azimutu, na čase apod.).

Nejvyšší úroveň vizualizace

První úroveň zobrazuje vývoj vybraných klíčových parametrů v čase a umožňuje porovnat v jediném obrázku kvalitu dat ze všech stanic monitorované sítě. Je to užitečné pro rychlou a snadnou identifikaci nižší kvality dat některé ze stanic sítě v případě, že jde o homogenní infrastrukturu. Takovou je například zmíněná síť stanic RIMS pro monitorování evropského regionálního systému EGNOS s jediným typem instrumentálního vybavení, použitého nastavení i softwaru.

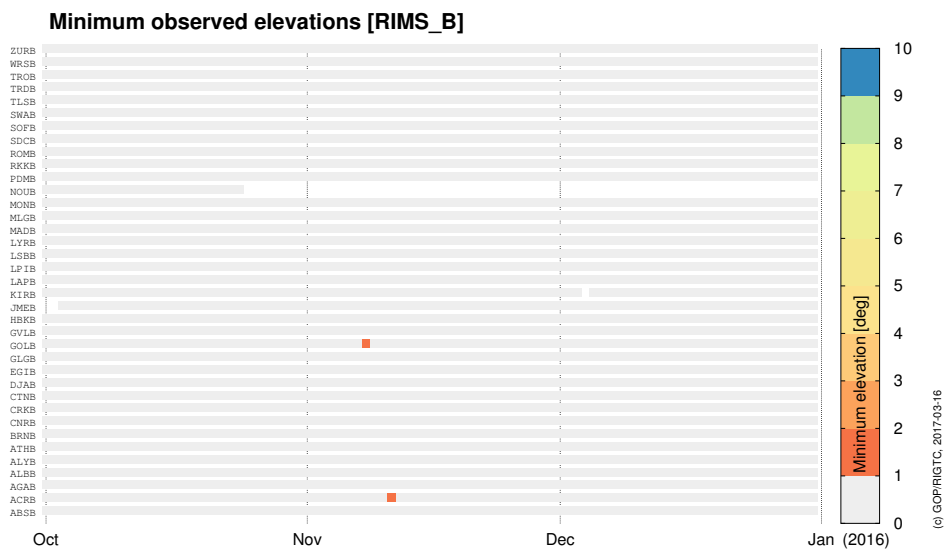
Grafy jsou ještě více užitečné v případě vědeckých infrastruktur, jakými jsou například globální síť Mezinárodní GNSS služby (IGS, www.igs.org) anebo Evropská permanentní síť EUREF (www.epncb.oma.be). Vysoká různorodost instrumentálního vybavení včetně instalací a programového zajištění včetně nastavení je typickým znakem infrastruktury zahrnující volné sdružení individuálních institucí, které přispívají do sítě na základě vlastních motivací a z vlastních zdrojů. Srovnání jednotlivých stanic je v takovém případě důležité jak pro uživatele, tak pro jednotlivé poskytovatele, kteří mají na základě jednotného monitorování přímé srovnání s kvalitou dat z jiných stanic.



Obrázek 4.1: Celistvost GNSS dat

Grafické vyjádření na této úrovni je prováděno buď přes jednotlivé roky, pouze s pětidenním rozlišením, anebo lépe pro jednotlivé kvartály umožňující zobrazit kvalitu originálního rozlišení, tj. pro jednotlivé dny.

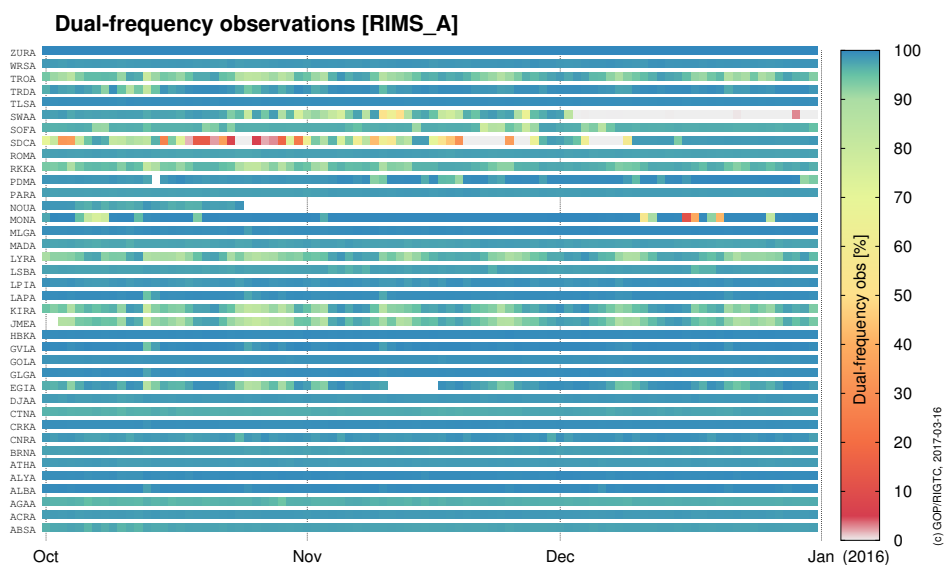
Obrázek 4.1 zobrazuje dostupnost a současně kompletnost (daná navíc barevnou škálou zobrazení) denních dat v síti stanic RIMS. Z obrázku je patrný trvalý výpadek stanice NOUA od konce října a pouze minimum krátkodobých výpadků u několika dalších stanic. Nekompletnost dat (výpadky během dne) je patrná ve všech místech grafu, kdy barva výplně není červená. Celkově tento obrázek poskytuje poměrně konzistentní výsledky pro monitorovanou síť.



Obrázek 4.2: Minimální elevační úhel pozorování

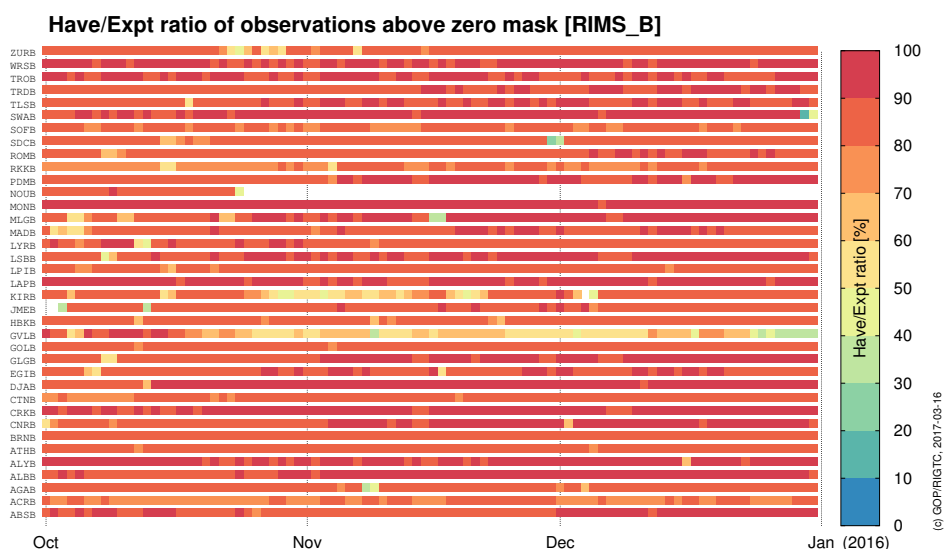
Obrázek 4.2 se zaměřuje na odhad minimálního observovaného elevačního úhlu. Odhad je určen z analýzy skutečných observací při využití navigačních zpráv a z obrázku lze uhodnout, že nastavení observační masky 0° v síti RIMS je pro všechny stanice shodné. Dva červené body reprezentují dny a stanice, u kterých

z důvodů nekompletnosti byla observována vyšší hodnota elevačního úhlu.

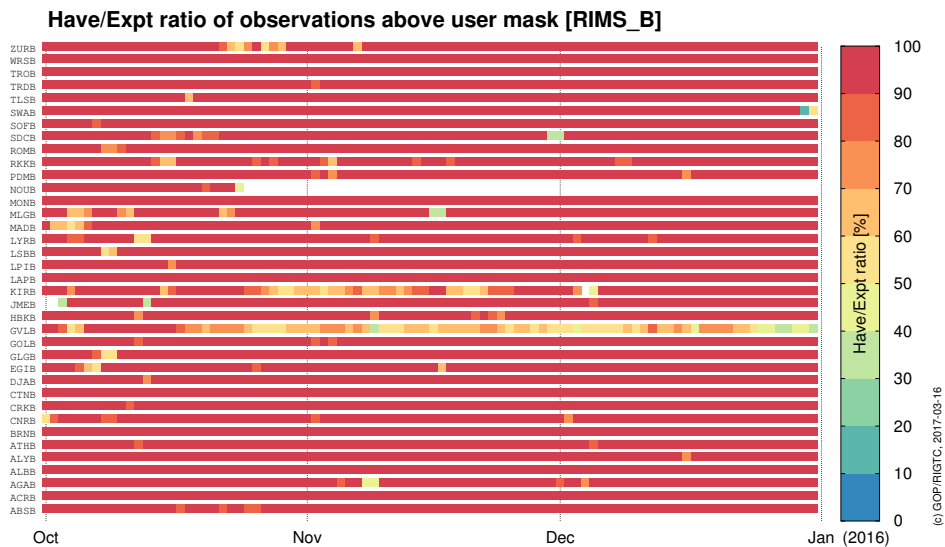


Obrázek 4.3: Komplettnost pozorování na dvou frekvencích

Další obrázek 4.3 prezentuje vývoj komplettnosti dvoufrekvenčních pozorování vzhledem k očekávání. V případě měření na jedné frekvenci nelze eliminovat vliv ionosférické refrakce na signál, který dosahuje řádu až stovek metrů v závislosti na elevačním úhlu pozorované družice. Výpadek dvoufrekvenčních dat proto znamená zásadní komplikaci pro přesné analýzy. Několik stanic v grafu vykazuje výraznou časovou fluktuaci dvoufrekvenčních dat, která naznačuje ztrátu signálu na druhé frekvenci. Efekt je společný u všech stanic ve vyšších zeměpisných šířkách, kde se vyskytuje častěji fluktuace v ionosféře. Dvě stanice vykazují výrazné zhoršení sledovaného parametru s rychlou degradací končící bezmála ztrátou observací na druhé frekvenci (šedá zóna). Jednalo se o problém aparatur - jedna byla v prosinci vyměněna, druhá až v lednu následujícího roku.

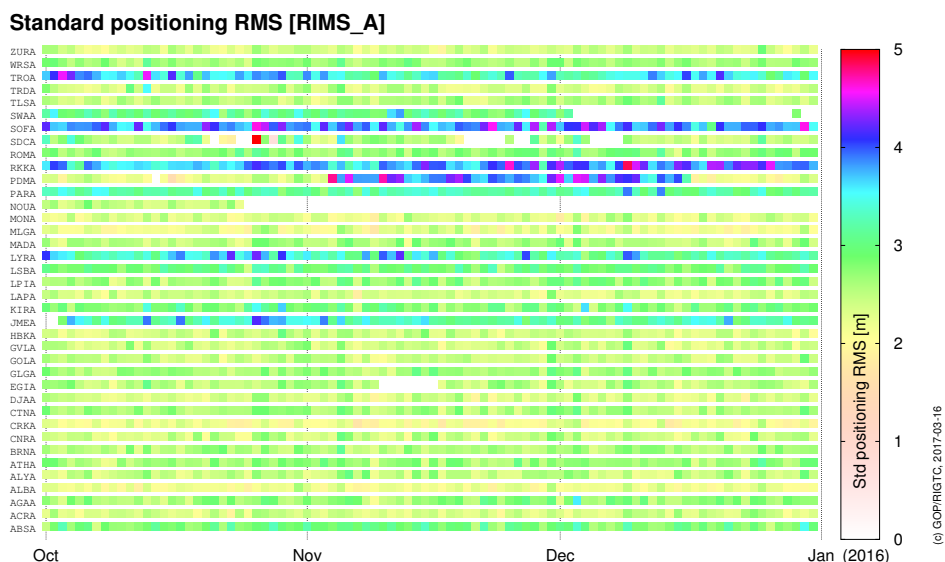


Obrázek 4.4: Poměr skutečných a očekávaných observací nad horizontem



Obrázek 4.5: Poměr reálných a očekávaných observací nad elevační maskou 15°

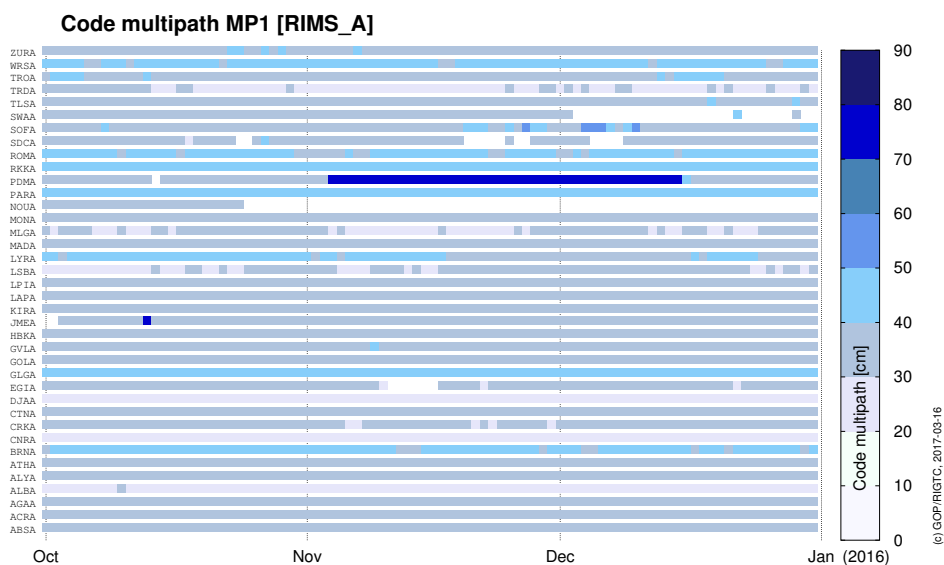
Graf na obrázku 4.4 představuje stejný poměr jako předchozí obrázek, ale zaznamenanými nad horizontem a je vyjádřen v procentech. Tento graf lze efektivně konfrontovat s podobným grafem zobrazujícím daný procentuální poměr nad elevační maskou 15°, obrázek 4.5. Z nekonzistence v tomto porovnání lze snadno identifikovat nekompletnost dat zejména v nízkých elevačních úhlech, což často představují překážky zakrývající oblohu v některých směrech či degradace pozorování nad horizontem, spojené buď s vícecestným šířením signálu nebo horší schopností aparatury sledovat signál s nižším poměrem signál-šum. U dvou stanic je v čase patrné snižování procentuálního poměru observací, které vedlo rovněž k nutné výměně aparatury.



Obrázek 4.6: Přesnost určení polohy standardním procesem zpracování GPS

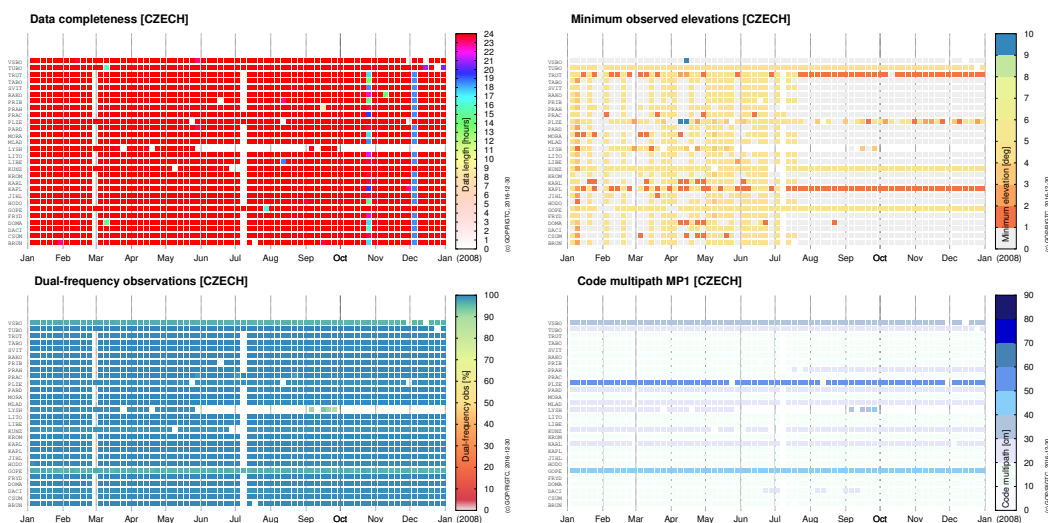
Na obrázku 4.6 sledujeme přesnost standardního určování polohy pomocí GPS s využitím globálně sjednocených navigačních zpráv. Graf zobrazuje rozsah hod-

not polohové přesnosti do 5 metrů. Jde o komplexní analýzu, která může ukazovat na různé typy problémů, přičemž nemusí být snadné určit původ. Na jedné straně dlouhodobě nižší přesnost v určení polohy (do řádu 5 metrů) u některých stanic, nemusí nutně znamenat problém. Na druhou stranu degradace viditelná pouze po určitou dobu, jako je v obrázku patrné u stanice PDMA, indikuje reálný problém, který evidentně koreluje s obrázkem 4.7. Ten ukazuje vývoj vícecestného šíření kódových observací na první frekvenci. Kromě stanice PDMA také u některých dalších stanic pozorujeme trvale horší kvalitu, ale vždy dlouhodobě. Kvalita může souviset například s charakterem okolí stanice, odolností antény vůči vícecestnému šíření signálu anebo robustností zpracování signálu přijímačem.



Obrázek 4.7: Charakteristika vícecestného šíření signálu na frekvenci L1

Různorodější charakteristiku stanic pozorujeme v rámci infrastruktury Czech-Geo, jak ukazuje obrázek 4.8 v pětidenním rozlišení za celý rok 2008.



Obrázek 4.8: Vybrané klíčové parametry pro stanice CzechGeo infrastruktury

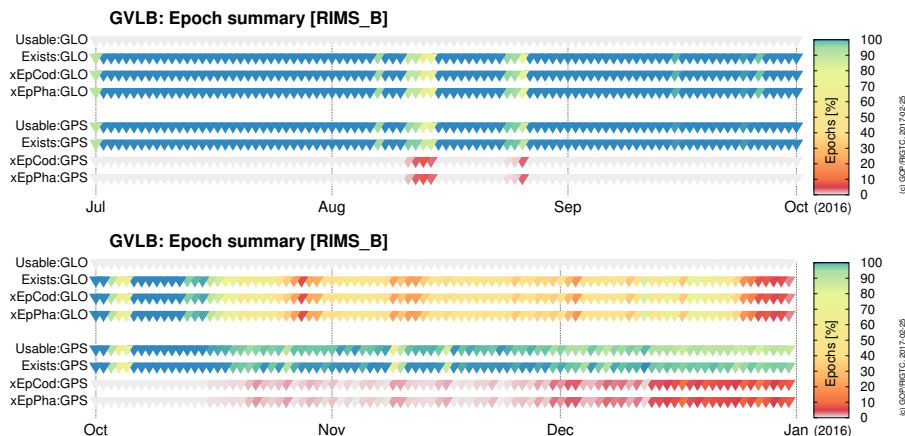
Střední úroveň vizualizace

Druhá úroveň monitorování reprezentuje roční či čtvrtletní grafy pro jednotlivé stanice, zahrnující současně více kvalitativních, kvantitativních či komplexních parametrů, které lze takto přímo v obrázku konfrontovat. Případně lze zahrnout v jednom obrázku současně parametry pro více GNSS systémů, různé signály apod.

Mezi sledované parametry lze uvést především tyto:

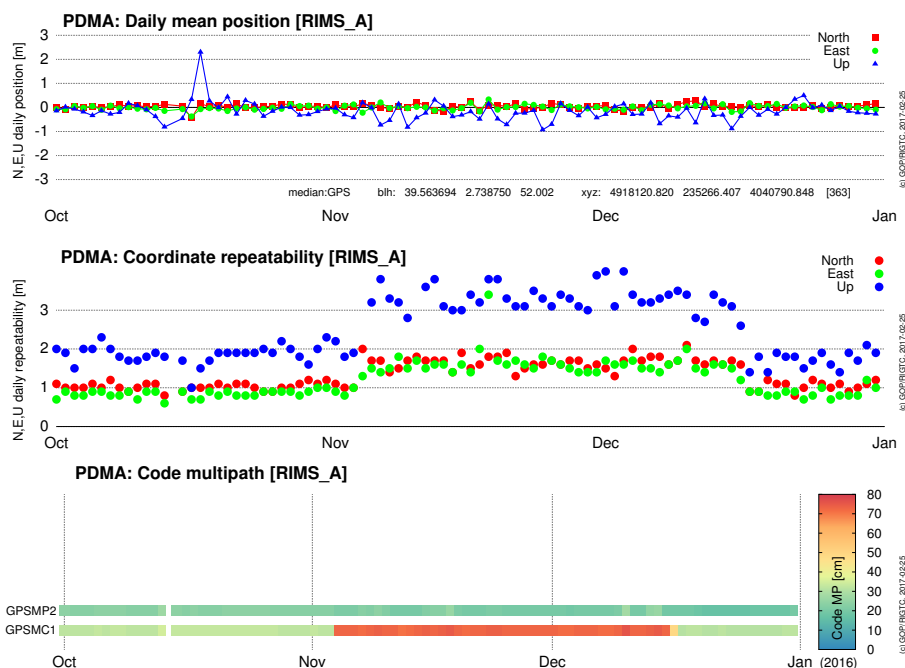
- poměr skutečných a očekávaných observací pro elevační masku $0^{\circ}a15^{\circ}$
- počet přerušení fázových pozorování z důvodu výpadku epochy měření, pozorování jednotlivých signálů či družic
- počet detekovaných skoků ve fázových pozorováních
- kompletnost dvoufrekvenčních observací pro individuální družice a systémy
- charakteristika vícecestného šíření kódového signálu včetně šumu pozorování pro jednotlivé signály, družice a okamžiky
- charakteristika poměru signálu a šumu pro fázová pozorování pro jednotlivé signály, družice a okamžiky
- časové řady denních souřadnic přijímače standardního určení polohy pro jednotlivé GNSS
- časové řady opakovatelností v určování polohy pro jednotlivé GNSS

Obrázek 4.9 znázorňuje příklad postupného snížení dostupnosti (exist) a použitelnosti (usable) observací systému GLONASS (nejdřív) a GPS (později) v průběhu 3. a 4. čtvrtletí 2016. Použitelné epochy pro zpracování dat jsou definovány, pokud jsou k dispozici observace na dvou frekvencích alespoň ze čtyř družic. V horním grafu (3. čtvrtletí) vidíme normální situaci s dílčím problémem ztráty dat pouze v měsíci srpnu. Jelikož je GLONASS systém pozorován v RIMS pouze na jedné frekvenci, žádná z epoch není identifikována jako použitelná (vrchní linie). Avšak od poloviny října dochází k výraznému poklesu dostupných epoch pozorování. Od října potom dochází také u GPS k výpadkům kódových i fázových observací na řadě družic (spodní dvě linie), které vedou k postupnému poklesu dostupných i použitelných epoch měření.



Obrázek 4.9: Dostupnost a použitelnost epoch měření pro 3. a 4. čtvrtletí 2016

Další obrázek 4.10 ukazuje příklad časové posloupnosti určení souřadnic (graf nahoře) stanice PDMA a jejich opakovatelnosti (graf uprostřed). Ačkoliv nevidíme výraznou degradaci v určení průměrné denní polohy, evidentně je pozorovatelný problém v období od listopadu do poloviny prosince 2016 ve statistickém zhodnocení kvality (opakovatelnosti) v určení denních parametrů polohy. Podle změny v charakteristice vícecestného šíření signálu na první frekvenci (graf dole) lze usoudit, že problém spočívá právě s dočasně nižší kvalitou kódových měření.



Obrázek 4.10: Posloupnosti průměrných denních souřadnic (nahore), jejich opakovatelností (ve středu) a charakteristika vícecestného šíření signálů (dole) na frekvencích L1 a L2

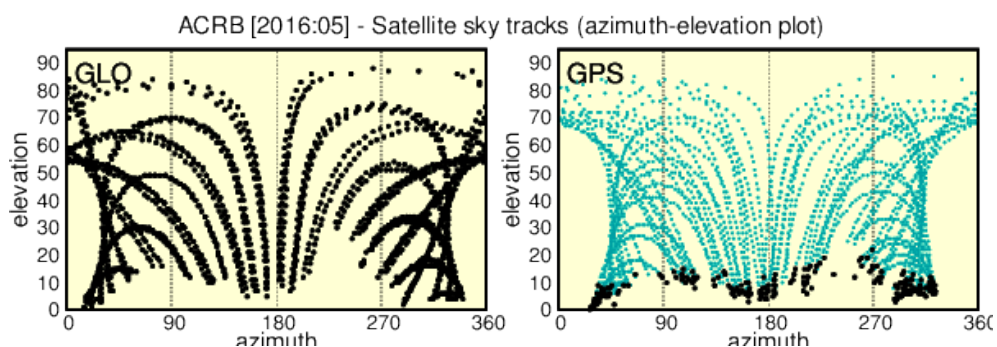
Detailní úroveň vizualizace

Třetí úroveň grafických zobrazení klíčových parametrů je tvořena pro každý jednotlivý soubor (tj. den) a reprezentuje data v jejich nejpůvodnější a detailní podobě, tj. bez statistických analýz a výsledků (tj. určení průměrných a extrémních hodnot apod.). V takovém případě jde ovšem o velké množství dat, která by bylo třeba zobrazit. Místo jediné hodnoty pro vybraný parametr jde o hodnoty v každém okamžiku záznamu dat (například 2880 hodnot pro denní soubory s 30-ti sekundovým záznamem). Kvalitativní parametry můžeme navíc vizualizovat pro každou jednotlivou družici, frekvenci, signál či mód pozorování. Příkladem takových parametrů pro detailní monitorování mohou být:

- dostupnost jedné či více frekvencí v každé epoše měření a pro jednotlivé družice
- dostupnost observací a jejich elevační úhel a azimut pro jednotlivé družice a signály

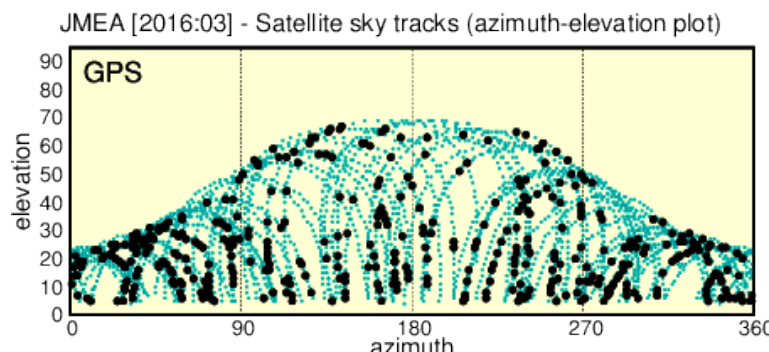
- souřadnice polohy přijímače v každé epoše určené z jednotlivých GNSS systémů
- vliv vícecestného šíření a šumu v kódových pozorováních pro jednotlivé frekvence a signály a GNSS systémy
- poměr signálu a šumu fázových observací pro jednotlivé frekvence, signály a GNSS systémy
- a další

Pro efektivnost výstupů v této detailní úrovni je vhodné generovat grafy pouze v 15. dni každého měsíce s předpokladem, že graf je reprezentativní pro daný měsíc pro dlouhodobé srovnání. Tímto způsobem lze identifikovat důsledky postupné degradace observací například kvůli stárnutí instrumentálního vybavení anebo v případě změn v okolí stanice (růst stromů apod.)



Obrázek 4.11: Zobrazení 1/2-frekvenčních pozorování v závislosti na azimutu a elevaci

Jednoduchým a názorným příkladem zobrazení závislosti vybraného parametru v každé epoše na časovém okamžiku měření, na elevačním úhlu či kombinaci elevačního úhlu a azimutu je tzv. sky-plot. Obrázek 4.11 zobrazuje závislost pozorování na jedné (černá barva) a dvou (modrá barva) frekvencích pro GPS (vpravo) a GLONASS (vlevo). Na dané stanici je GLONASS observován pouze na L1 frekvenci, zatímco GPS na obou frekvencích. Kromě toho je patrné výrazné zakrytí oblohy na západní straně a u GPS také poměrně významná ztráta observací na druhé frekvenci nízko nad obzorem.



Obrázek 4.12: Ztráta signálu na druhé frekvenci (černá barva)

Druhý obrázek 4.12 zachycuje v jediném dni často se vyskytující ztrátu observací na druhé frekvenci (černé body) v podstatě nezávisle na azimutu a elevačním úhlu. Jedná se o stanici JMEA na severu a vliv je přičítán rychlým fluktuacím v ionosférické vrstvě, které se vyskytují zejména v zimním období a často jsou spojené v těchto zeměpisných šířkách s jevem známým jako polární záře.

5. Vývoj nástroje RunQC pro EPOS

V předchozích kapitolách jsme se podrobněji seznámili s evropskou výzkumnou infrastrukturou EPOS. Na základě kapitoly 3.2 již máme představu, jak vypadá struktura samotné EPOS SQL databáze a jak se v rámci projektu k různým typům metadat přistupuje. V této kapitole je popsáno moje přímé zapojení do EPOS prostřednictvím vývoje nástroje RunQC. Pro lepší pochopení významu nástroje RunQC považuji za důležité si základní informace o metadatech připomenout a přiblížit si, jakým způsobem s jednotlivými metadaty pracujeme.

Metadata T0 jednorázově vytvoříme při konfiguraci databázového systému, a pokud nedojde ke změně v hierarchii uzlů systému pro distribuci GNSS dat v EPOS, nemáme již důvod je modifikovat. Frekvence změn metadat T1, která obsahují informace o GNSS stanicích, je také minimální. Metadata T1 vznikají v případě zapojení nové stanice do výzkumné infrastruktury. Změny T1 mohou probíhat například v případě výměny antény nebo přijmače.

Pokud chceme publikovat GNSS observované soubory ve formátu RINEX, je nutné pro výzkumnou infrastrukturu EPOS vygenerovat jejich metadata, která označujeme jako T2. Tvorba těchto metadat bude intenzivní a zajišťovat ji bude nástroj GenT2, který v současné době vyvíjí kolegové v IMO. V prvním kroku se vytvoří z názvu souboru základní metadata T2. Poté nástroj GenT2 začne pracovat s obsahem souboru ve formátu RINEX a tím se vytvoří podrobná metadata T2. V návaznosti na vytvořená metadata T2 se pomocí nástroje RunQC vytvoří metadata T3, která obsahují parametry kontroly kvality dat.

5.1 Význam nástroje

Jak již bylo v kapitole 4 zmíněno, v EPOS je doporučeným softwarem pro kontrolu kvality dat G-Nut/Anubis. Nástroj RunQC tedy bude servisovat spuštění tohoto softwaru. Zajistí přípravu vstupních souborů, spuštění Anubis s regulérní konfigurací a komunikaci s DB API. Nástroj RunQC ve skutečnosti obstará spuštění výpočtu kompletní kontroly kvality dat a zápis vypočtených údajů do databázové struktury metadat T3. Hlavním významem tohoto nástroje je poskytnout uživatelům a poskytovatelům GNSS dat v rámci evropské výzkumné infrastruktury EPOS podrobné informace o kvalitě jednotlivých dat.

Oba nástroje pro kontrolu kvality GNSS dat - RunQC a G-Nut/Anubis - musí být implementovány do EPOS robustně, jelikož budou používány v prostředí rozdílných národních infrastruktur a budou sloužit pro zpracování miliónů datových souborů v GNSS archivech.

5.2 Schéma jednotlivých procesů

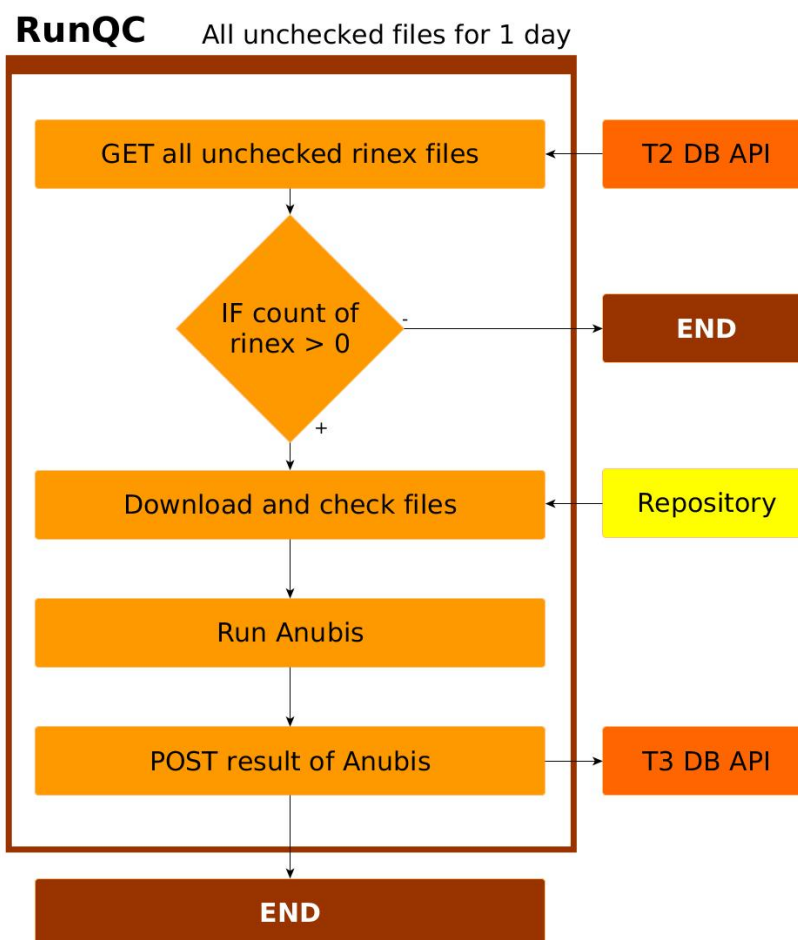
Databáze si řídí jednotlivé spuštění nástroje RunQC v návaznosti na aktuální status, který je součástí T2 metadat. Pokud pro observovaný soubor nebyla ještě provedena kontrola kvality dat, obsahuje její status hodnotu UNCHECKED. Pokud právě výpočet kontroly dat probíhá, nastaví se status na QC-RUNNING. Po úspěšném výpočtu se pak status změní na CHECKED.

Nástroj RunQC pracuje se soubory se statusem UNCHECKED. Samotný nástroj je spuštěn ve dvou režimech:

- pravidelné spuštění pro konkrétní den
- jednorázové spuštění pro archiv dat

V pravidelném režimu se bude RunQC spouštět jednou denně a kontrola kvality dat bude probíhat pro observovaná data z předchozího dne. Vstupem do RunQC je nominální datum předchozího dne. Pravidelným režimem zajistíme průběžnou tvorbu metadat T3.

Druhý režim RunQC, určený pro práci s archivem dat, bude na vstupu podporovat více nominálních datumů. Hlavním důvodem, proč tento režim potřebujeme, je fakt, že pokud kontrola kvality dat neproběhne v pořádku, musíme zajistit její opětovné spuštění. Dále se můžeme dostat do situace, že i když kontrola kvality proběhne v pořádku, T2 metadata se posléze změní a musíme kontrolu kvality dat provést znovu s novými aktualizovanými daty. Z technického hlediska je zajištěno, že se nám při změně T2 metadat ze statusu CHECKED stane opět status UNCHECKED. Tento režim bude fungovat jako revize archivních dat.



Obrázek 5.1: RunQC - schéma hlavního procesu

Na obrázku 5.1 je znázorněno schéma hlavního procesu. Na schématu vidíme, že na začátku celého procesu RunQC komunikuje s DB API T2. Vstupním para-

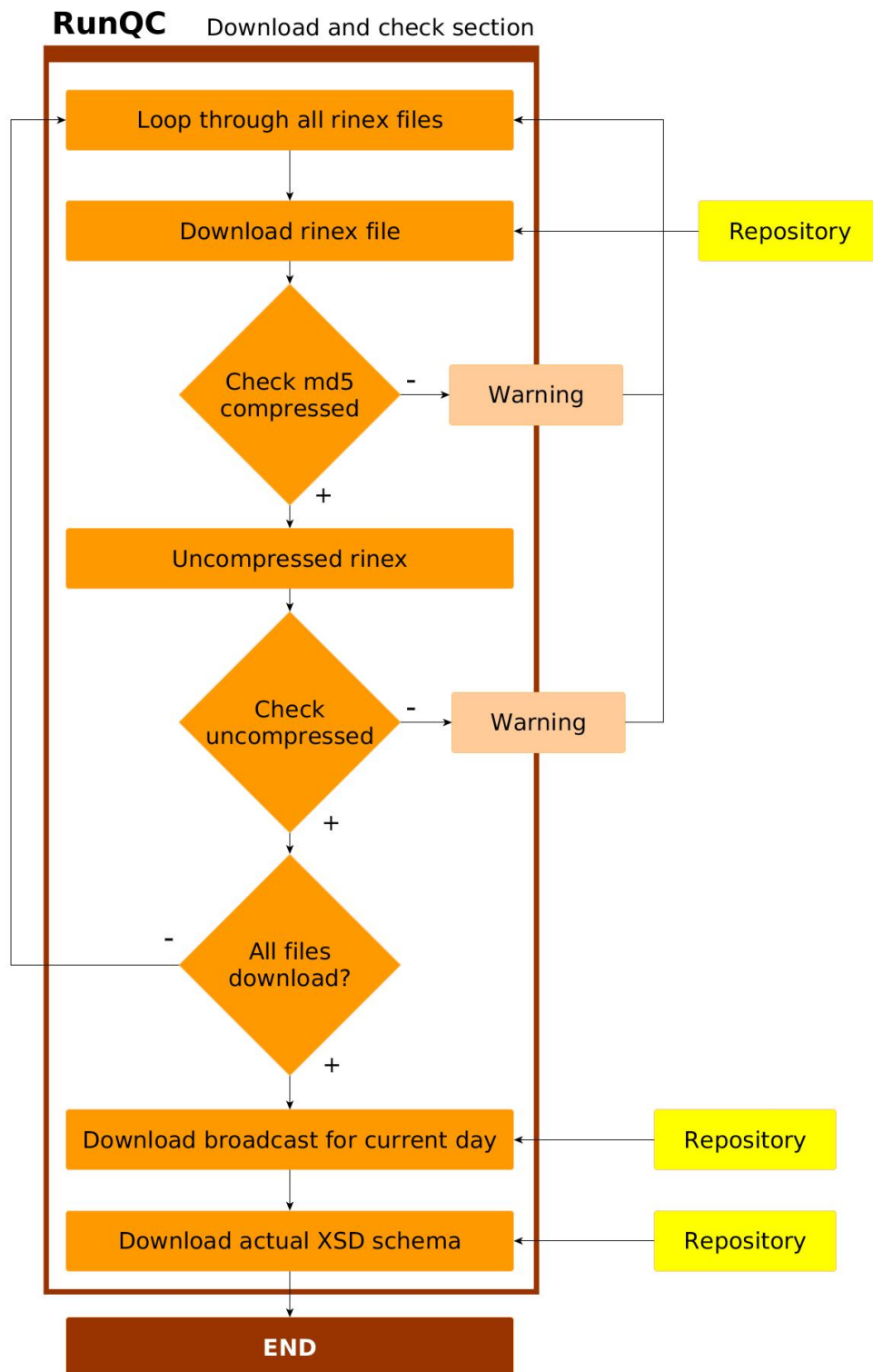
metrem je nominální datum. Z komunikace s DB API T2 dostáváme následující metadata:

- RINEX ID - interní identifikátor
- název stanice - unikátní název stanice (podpora 4 znaků a 9 znaků)
- lokální cesta k souboru - pro kopírování souboru v rámci serveru
- externí URL k souboru - pro stahování souboru z externího zdroje
- nominální počáteční datum epochy
- nominální konečné datum epochy
- nominální interval záznamu - podporován 30-ti sekundový
- MD5 komprese - pro kontrolu integrity souboru

Z obrázku 5.1 lze dále vyčíst, že pokud DB API T2 nevrátí ani jeden observovaný soubor formátu RINEX, proces potichu končí a nezaznamenává žádnou varovnou hlášku. V opačném případě RunQC zajistí stažení/zkopírování požadovaných souborů a provede se jejich kontrola. V následujícím kroku se spustí software G-Nut/Anubis a jeho výsledky se nahrají prostřednictvím DB API T3.

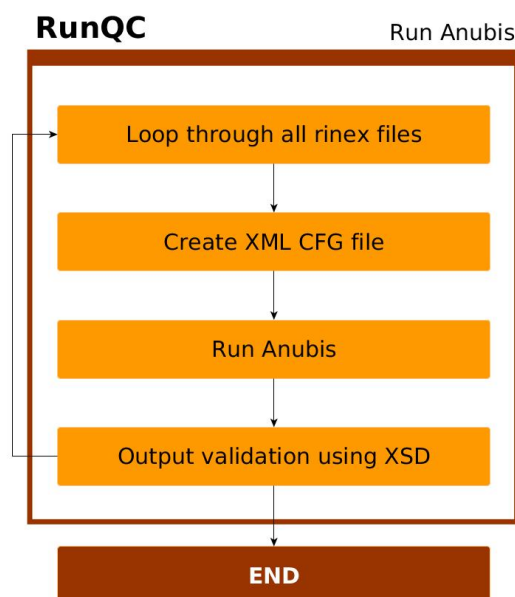
Následně si popíšeme detailní schéma pro stahování/kopírování observovaných dat, které je znázorněno obrázkem 5.2. Dávku souborů, které nám DB API T2 předalo, procházíme soubor po souboru. Pro potřeby RunQC si musíme vytvořit dočasný pracovní adresář, do kterého reálné observované data fyzicky stáhneme/nakopírujeme. Z důvodu rychlosti a stability preferujeme kopírování souboru přes NFS pomocí lokální cesty. V tomto případě ale musíme garantovat přístupová práva k souboru. Pokud by kopírování souboru skončilo chybou, RunQC se snaží stáhnout soubor externě přes URL.

Stažený/nakopírovaný observační soubor zkontrolujeme pomocí md5 hashe. Pokud je zapotřebí, observovaný soubor dekomprimujeme standardním způsobem, a poté pomocí komprese HATANAKA. V situaci, kdy máme všechny soubory v dočasném pracovním adresáři, začneme stahovat navigační zprávy, které potřebujeme pro vytvoření kompletní kontroly kvality dat. Navigační zprávy stahujeme z více veřejně dostupných externích zdrojů pro konkrétní vstupní nominální dny (používáme zprávy od GOP a CDDIS). Pro stahování dat musíme být připraveni pracovat i s novými konvenčními názvy souborů ve formátu RINEX3.



Obrázek 5.2: RunQC - detailní schéma pro stahování/kopírování

Poslední část nástroje RunQC, která je popsána na obrázku 5.3, se zabývá kontrolu kvality dat, kterou provádíme soubor po souboru. Před spuštěním Anubis vždy vytvoříme jeho konfigurační XML soubor a poté teprve spustíme Anubis. Výsledné QC-XML poté validujeme podle aktuálního XSD schématu, které si RunQC stáhne ze stránek softwaru.



Obrázek 5.3: RunQC - detailní schéma pro spuštění G-Nut/Anubis

5.3 Implementace nástroje RunQC

Po nadefinování struktury nástroje a jeho funkcionalit bylo důležité zvolit si vhodný programovací jazyk. Nástroje pro EPOS jsou vyvíjeny v jazyce Python. Na první pohled se mi zdálo logické Python použít i pro RunQC a docílit tím v rámci EPOS jisté integrity. Nakonec jsem ale dal přednost programovacímu skriptovacímu jazyku Perl. K tomuto rozhodnutí mě vedl především fakt, že na GOP je většina nástrojů naprogramována v jazyku Perl, se kterými se v rámci mé pracovní pozice musím seznámit. Například nástroj `Gps_Date`, který je používán v Bernese GNSS Software, bylo vhodné použít i pro RunQC.

Jelikož Perl nemá v současné době širokou uživatelskou základnu a celý jazyk je na ústupu, rozhodl jsem se pro vývoj používat především systémové moduly. V případech, kdy systémové moduly nebyly dostačující, zaměřil jsem se na hledání stabilních externích modulů. Perl podporuje objektový přístup, který jsem pro vývoj nástroje RunQC použil.

Vývoj nástroje jsem rozdělil do následujících modulů:

- `Anubis_Cfg`
- `Util_RNX`
- `Util_API`
- `Util_Log`

Modul `Anubis_Cfg` zajišťuje tvorbu konfiguračního XML souboru (struktura souboru byla popsána v kapitole 4.2.1), který je zapotřebí pro regulérní spuštění G-Nut/Anubis. Prostřednictvím modulu `Util_RNX` je obstarán veškerý přístup k observovaným souborům ve formátu RINEX. Modul obsahuje nástroje

pro kopírování a stahování souborů, dekompresi HATANAKA a práci s navigačními zprávami. Komunikaci s EPOS DB API (viz. kapitola 3.3.2) zajišťuje modul Util_API. Logovací systém zajišťuje modul Util_Log.

6. Vývoj CzechGeo GNSS webového portálu

Jak již bylo v kapitole 2 zmíněno, v současné době vzniká evropská výzkumná infrastruktura EPOS, jejímž hlavním cílem je zajištění maximální integrace odpovídajících výzkumných infrastruktur na národní úrovni. Provoz tuzemské národní infrastruktury, označované jako CzechGeo, zajišťuje pro GNSS data GOP, které spravuje datové centrum. V datovém centru jsou archivovány data ze čtyř GNSS stanic (GEONAS, PPGNET, VESOG, CZEPOS) viz. kapitola 2.2. Pro potřeby výzkumných GNSS infrastruktur v rámci EPOS vznikají jednotlivé nástroje, jejichž testování bylo provedeno v kapitole 3. V současné době jsou tyto nástroje ve vývojové fázi a nelze je použít pro ostrý provoz. Jelikož na národní úrovni musíme data nejen archivovat, ale také publikovat, zahájili jsme vývoj webového portálu CzechGeo pro GNSS data.

Vývoj GNSS webového portálu pro národní infrastrukturu jsme pojali zcela konzervativně. Cílem je zabezpečit hlavní funkčnost národní infrastruktury (distribuci GNSS dat nad existujícím datovým centrem) a počítat s myšlenkou pozdější integrace do EPOS. Na národní úrovni jsme nezvolili cestu virtualizace dat a distribuci zajišťujeme bez databázového systému. Díky tomuto přístupu se nám podařilo maximálně omezit paralelní vývoj podobných nástrojů pro národní a evropskou infrastrukturu. Vývoj GNSS webového portálu CzechGeo bereme jako alternativu k evropskému webovému klientu EPOS GLASS GUI (viz. kapitola 3.4.2), který do budoucna může lépe reflektovat aktuální potřeby národní výzkumné infrastruktury. Příkladem může být například požadavek, abychom na úrovni národní infrastruktury spravovali vlastní uživatelské účty, monitorovali jejich frekvenci stahování dat apod.

6.1 Schéma hlavních procesů

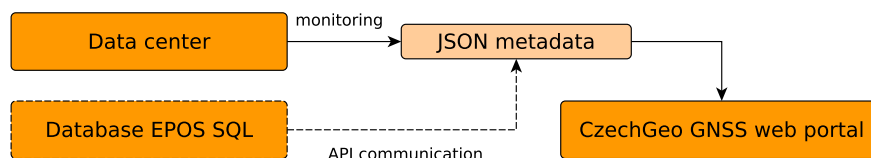
Při vývoji webového portálu jsme se zaměřili na jeho všestranné použití pro různé typy projektů, se kterými se na GOP setkáváme:

- CzechGeo - vizualizace a distribuce GNSS dat napřímo z datového centra
- ostatní projekty - rychlá vizualizace GNSS dat, se kterými pracujeme
- EPOS - vizualizace a distribuce GNSS dat z EPOS SQL databáze

Na obrázku 6.1 je znázorněno základní schéma procesu vizualizace GNSS dat. Pro potřeby infrastruktury CzechGeo nad datovým centrem spouštíme v pravidelném intervalu monitorovací skripty, které nám vytváří metadata o souborech ve formátu JSON. Tato metadata jsou při každém načtení webového portálu uživateli interpretována jako zdrojová.

Pro ostatní projekty jsme schopni monitorovací skripty spouštět nad vybranými daty. Při využívání webového portálu nejsme tedy vázáni přímo na konkrétní datové centrum pro CzechGeo. Zájmové úložiště dat si pomocí konfigurace máme možnost nastavit, pouze musíme dodržet rozumnou adresářovou strukturu ukládaných dat.

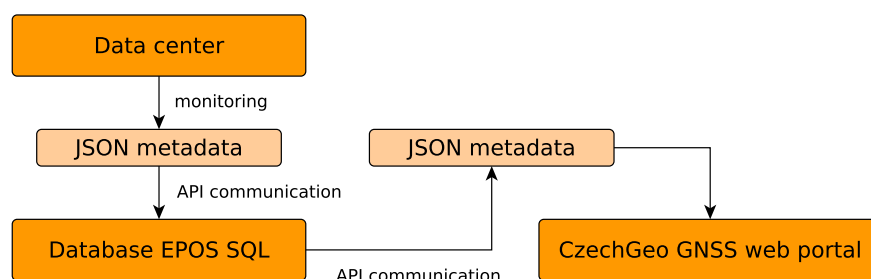
Jak je na obrázku 6.1 také vidět, v budoucnu jsme schopni velice elegantně zdrojová metadata čerpat z EPOS SQL databáze pomocí komunikace s API.



Obrázek 6.1: CzechGeo GNSS webový portál - základní schéma procesu

Výstupem z API dostáváme totiž GNSS metadata ve formátu JSON, se kterými webový portál při jakékoliv konfiguraci pracuje jako se zdrojovými. V okamžiku, až bude k dispozici finální produkční verze databáze EPOS SQL a DB API, můžeme webový portál pomocí konfigurace přepnout a GNSS metadata čerpat z EPOS SQL databáze.

V tomto případě si musíme však uvědomit, že monitorovací skripty nad datovým centrem budeme používat nadále, a to pro vkládání metadat do databáze. Pro tyto účely si skripty musíme upravit, aby byly schopny komunikovat s DB API. Schéma procesu bude poté ve skutečnosti vypadat následovně (obrázek 6.2).



Obrázek 6.2: CzechGeo GNSS webový portál - komunikace s EPOS SQL databází

6.2 Implementace jednotlivých nástrojů

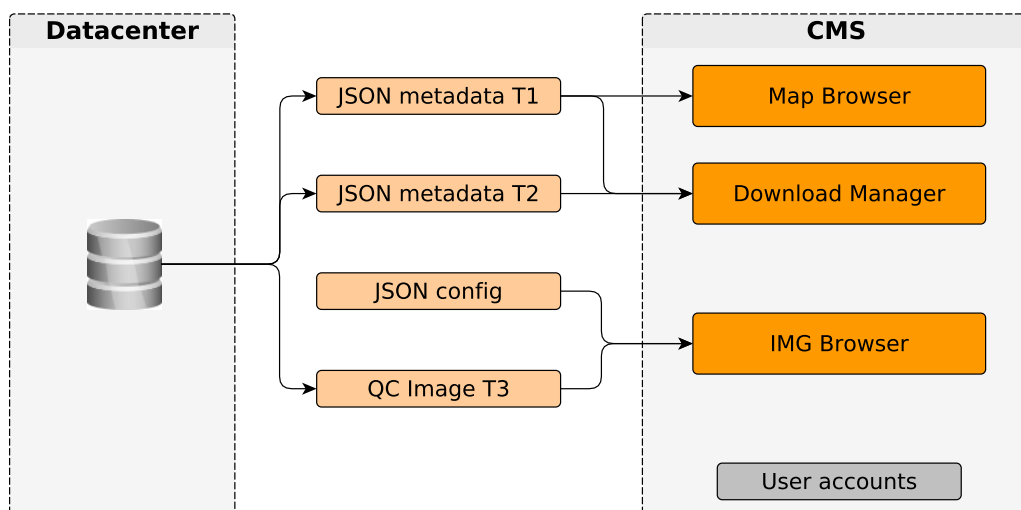
Jako stěžejní programovací jazyky jsme zvolili pro webové aplikace PHP a jQuery, a to především na základě mých zkušeností z předchozích projektů. Na pozadí běží Perl ze stejných důvodů jako u RunQC. Při vývoji webového portálu jsme se rozhodli použít již existující open-source redakční systém (označujeme jako CMS). Při volbě redakčního systému jsme se zaměřili na následující tři parametry, které jsme pro tento projekt vyhodnotili jako nejdůležitější:

- nenáročná modifikace redakčního systému pro naše potřeby
- uživatelsky příjemná a jednoduchá administrace
- snadná správa uživatelských účtů

Nakonec jsme vybrali redakční systém WordPress, který především v prvních dvou bodech oproti ostatním redakčním nástrojům vynikal. Velkou nevýhodou WordPressu může být u větších projektů pomalejší načítání webových stránek. Tato nevýhoda je v našem projektu minimalizována především kvůli malému

zatěžování interní databáze redakčního systému, která běží na MySQL. V interní databázi pouze provozujeme redakční systém, spravujeme uživatelské účty, udržujeme obsah prezentačních statických stránek a zaznamenáváme statistiky stahování jednotlivých souborů. Veškerá objemná metadata spravujeme v rámci monitoringu datového centra prostřednictvím JSON souborů nebo v EPOS SQL databázi, která poběží nezávisle na redakčním systému v PostgreSQL.

Klasifikaci GNSS metadat zachováváme stejnou jako u evropské infrastruktury (viz. kapitola 3.2.1) pouze s výjimkou absence metadat T0, která nám v EPOS-GNSS zajišťují komunikaci mezi jednotlivými uzly. Tuto funkcionalitu na úrovni národní infrastruktury nepotřebujeme, a proto metadata T0 nezavádíme. K jednotlivým typům metadat T1, T2 a T3 přistupujeme rozdílnými způsoby, které jsou popsány na obrázku 6.3. Na zmíněném obrázku lze vidět, že GNSS metadata čerpáme z datového centra (lze i z EPOS SQL databáze). Popisné informace o GNSS stanicích, metadata T1, vizualizujeme pomocí mapové aplikace, která je popsána v kapitole 6.2.1. V kapitole 6.2.2 se zabýváme modulem, který nám zajišťuje stahování observovaných souborů. Do tohoto modulu vstupují metadata T1 a T2. Kapitola 6.2.3 popisuje prezentaci výsledků kontroly kvality dat prostřednictvím prohlížeče obrázků, do kterého vstupují grafy a staticky vytvořená konfigurace nástroje, která slouží pro filtrování jednotlivých grafů.



Obrázek 6.3: CzechGeo GNSS webový portál - implementace nástrojů

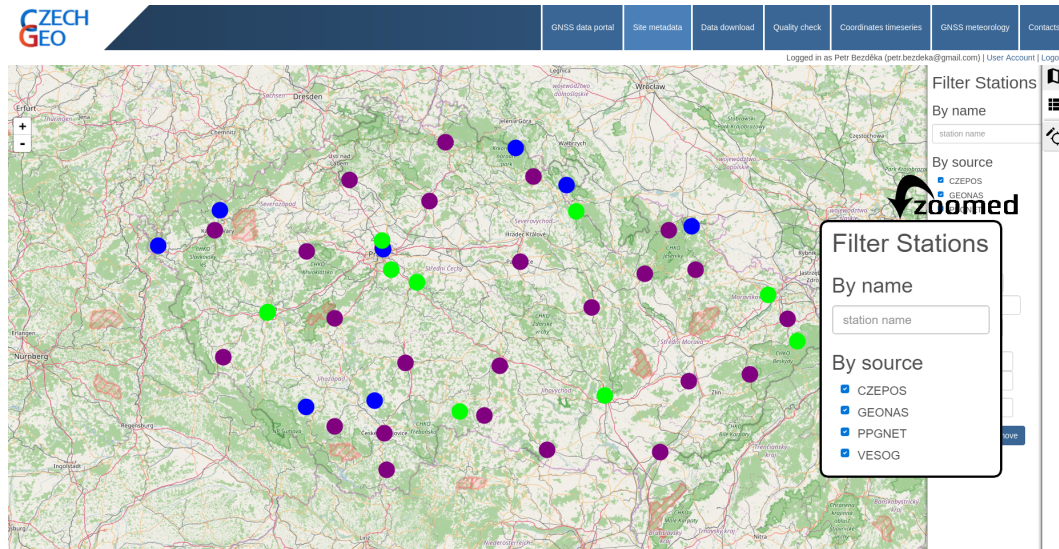
Před vývojem webového portálu jsme z dřívějších dob měli k dispozici následující nástroje, které jsme mohli pro GNSS webový portál CzechGeo po drobných úpravách využít:

- mapová aplikace
- prohlížeč grafů

Při integraci existujících nástrojů do webového portálu jsme se potýkali s menšími problémy, nejčastěji jsme naráželi na nerobustnost nástrojů při definici relativních cest apod. Dostali jsme se ale také do situace, kdy se nám knihovny nástroje díky stejným názvům jednotlivých funkcí spojily dohromady s knihovnamy redakčního systému. Samotná integrace tedy nebyla tak triviální, jak jsme na začátku předpokládali.

6.2.1 Vizualizace T1 metadat

Jak již bylo v této diplomové práci uvedeno, metadata T1 nám popisují informace o GNSS stanicích. Tato metadata vizualizujeme pomocí mapové aplikace, jejíž ukážka je vyzobrazena na obrázku 6.4. V mapové aplikaci máme možnost stanice filtrovat podle jména nebo podle jednotlivých GNSS sítí, které jsou barevně odlišeny. Po najetí myši na konkrétní stanici se nám zobrazí základní metadata T1.



Obrázek 6.4: CzechGeo GNSS webový portál - metadata T1

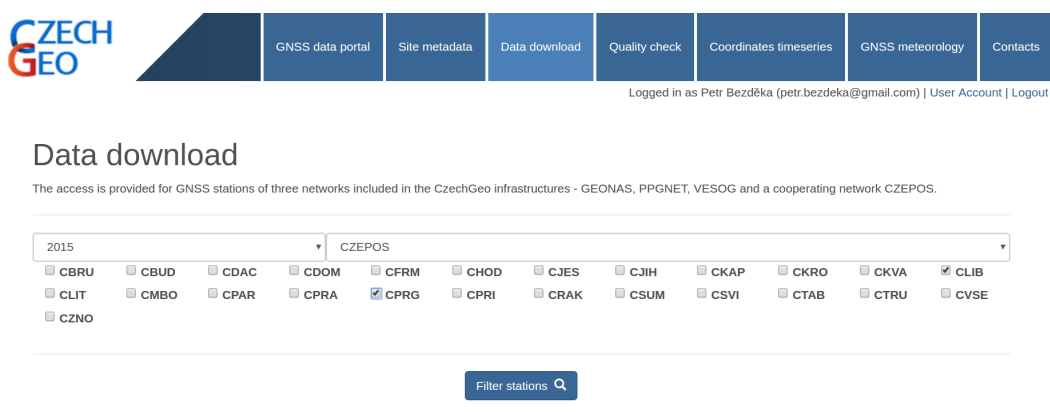
Na obrázku 6.5 je vidět seznam metadat T1, ve kterém je uveden čtyřmístný název stanice, název je také uveden ve formátu RINEX3, dále jsou uvedeny zeměpisné souřadnice stanice, název sítě, počátek a případný konec observací na stanici. Metadata máme možnost filtrovat podle jednotlivých parametrů. Seznam metadat má uživatel možnost si stáhnout ve formátu csv.

STATION	BEG	LAT	BEGS	EMB	LOG	SRC	ENDS	CNT	END	SIT	GRP	LEN
CBRU_11555M001	2009247.00	49.989	2009-09-04	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cbruc_20170221.log							68
CBUD_11578M001	2013109.00	48.968	2013-04-19	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cbud_20150127.log							75
CDAC_11556M001	2005058.00	49.08	2005-02-27	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cdac_20150127.log	535.058	Dacice	CZEPOS	2015-11-14	Czech R	20151818.00	CDAC GNSS 15.437
CDOM_11557M001	2011195.00	49.446	2011-07-14	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cdom_20150127.log	519.993	Domazlice	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CDOM GNSS 12.924
CFRM_11525M001	2012024.00	49.685	2012-01-24	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cfrm_20150127.log	373.903	Frydek-Mstek	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CFRM GNSS 18.353
CHOD_11562M001	2012012.00	48.85	2012-01-12	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/chod_20150127.log	228.742	Hodonin	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CHOD GNSS 17.129
CJES_11576M001	2012324.00	50.233	2012-11-19	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cjes_20150127.log	495.563	Jesenik	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CJES GNSS 17.208
CJH_11571M001	2011354.00	49.394	2011-12-20	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/cjh_20150127.log	577.182	Jhava	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CJH GNSS 15.586
CKAP_XXXXXXX	2005195.00	48.739	2005-07-14	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/ckap_20150127.log	600.136	Kaplice	CZEPOS	2013-03-27	Czech R	2013086.00	CKAP GNSS 14.494
CKRO_11564M001	2012038.00	49.297	2012-02-07	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/ckro_20150127.log	258.901	Kromeriz	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CKRO GNSS 17.4
CKVA_11568M001	2011180.00	50.233	2011-06-29	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/ckva_20150127.log	446.469	Karlovy Vary	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CKVA GNSS 12.842
CLIB_11526M001	2011243.00	50.772	2011-08-31	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-GEOLOG/ICZEPOS/clib_20150127.log	448.724	Liberec	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CLIB GNSS 15.06
CLIT_11566M001	2011154.00	50.54	2011-06-01	0	http://www.pecny.cz/WWW_IMG/CZECH-	243.658	lromerice	CZEPOS	2017-05-17	Czech R	2017137.16	CLIT GNSS 14.14

Obrázek 6.5: CzechGeo GNSS webový portál - seznam metadat T1

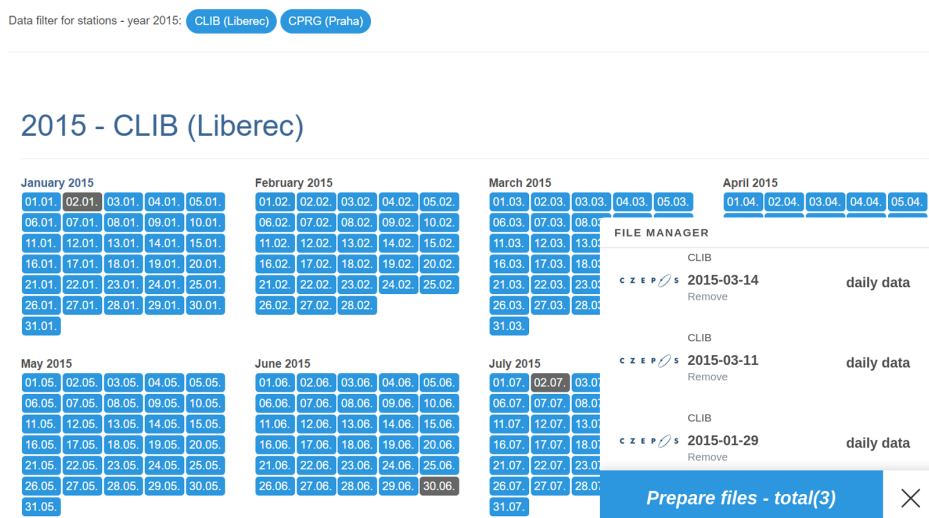
6.2.2 Vizualizace T2 metadat

Na základě metadat T2, která popisují jednotlivé observované soubory, jsme připravili stahovací modul. Uživatelé tak mají možnost, po úspěšné registraci a přihlášení se, stáhnout si na webovém portálu libovolný soubor v rámci GNSS národní výzkumné infrastruktury. Před samotným stažením musí uživatelé pomocí interaktivního webového formuláře (obrázek 6.6) vybrat rok a GNSS síť. Na základě aktuálního výběru se uživatelům zobrazí stanice z konkrétní GNSS sítě. Stanice mají uživatelé možnost označit prostřednictvím zaškrtnutí a celý výběr potvrdit pomocí tlačítka "Filter stations". Při tomto filtru kombinujeme metadata T1 (názvy sítí a stanic) s metadaty T2 (jednotlivými soubory).



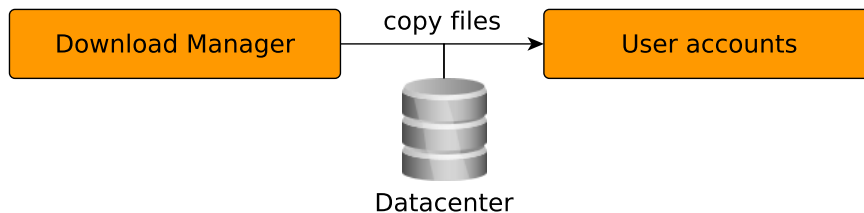
Obrázek 6.6: CzechGeo GNSS webový portál - stahovací modul (filtr)

Pro vybrané GNSS stanice se pro konkrétní rok vypíše jednotlivé observované soubory. V současné době pracujeme s denními daty, které jsou vizualizovány formou kalendáře rozděleného po měsících (obrázek 6.7). Jednotlivé dny (tedy observované soubory) zobrazujeme se světle modrým pozadím. Pokud nejsou v datovém centru GNSS data pro konkrétní den dostupná, pozadí zobrazujeme tmavě šedivou barvou.



Obrázek 6.7: CzechGeo GNSS webový portál - stahovací modul (košík)

Pro stahování dat mají uživatelé k dispozici interaktivní košík, do kterého klikem vkládají jednotlivé observované soubory. Před stažením lze v košíku vybrané soubory odstranit. Samotné stahování lze zahájit klikem na tlačítko "Prepare files". Proces stahování souborů je popsán na obrázku 6.8.

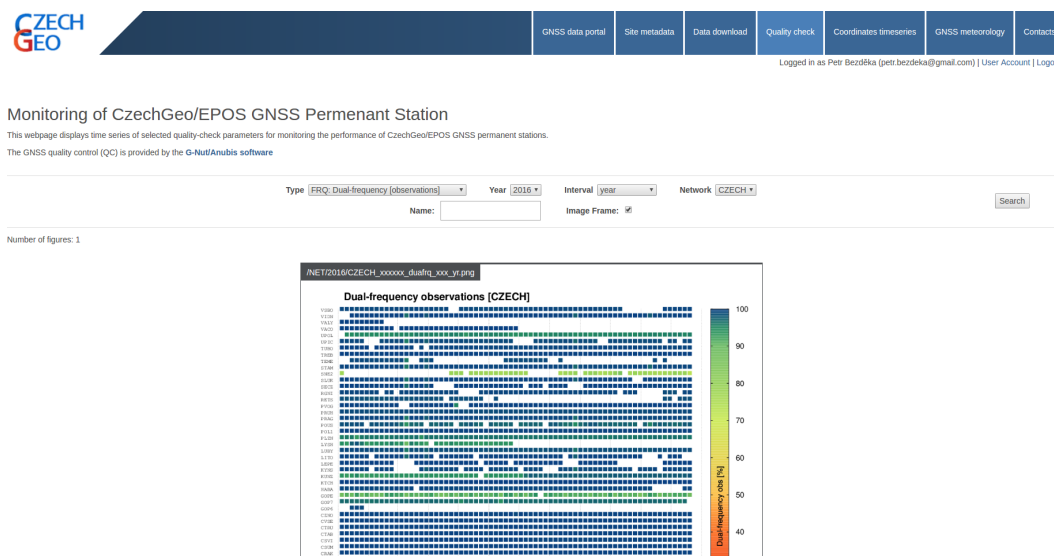


Obrázek 6.8: CzechGeo GNSS webový portál - proces stahování GNSS dat

Stahovací modul na základě požadavku od uživatele kopíruje jednotlivá GNSS data z datového centra na webový portál. Každý proces evidujeme pod jedinečným identifikátorem, který ukládáme do databáze. Uživatel má přístup k požadovaným datům v sekci uživatelského účtu, ze kterého je lze stáhnout. Cílem tohoto systému je, aby uživatel neměl žádné informace o datovém centru, na kterém jsou GNSS data uložena. Jelikož uživatel stahuje vybrané kopie souborů přímo z webového portálu ze sekce uživatelského účtu, je tento cíl splněn.

6.2.3 Vizualizace T3 metadat

Výsledky kontroly kvality dat v projektu CzechGeo v současné době prezentujeme pomocí grafů, jejichž analýzou jsem se zabýval v kapitole 4.3. Nad GNSS data v datovém centru je spuštěn software G-Nut/Anubis. Z jeho výsledků jsou externím skriptem tvořeny grafy, které jsou nahrávány na webový portál. Pomocí modulu pro prohlížení grafů (obrázek 6.9) vizualizujeme metadata T3. Grafy můžeme filtrovat podle typu a roku na základě staticky vytvořené konfigurace ve formátu JSON.



Obrázek 6.9: CzechGeo GNSS webový portál - metadata T3

7. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo seznámit se s nově vznikajícími GNSS výzkumnými infrastrukturami a aktivně se do jejich vývoje zapojit. Pro přiblížení problematiky výzkumných infrastruktur, které popisují v kapitole 2, mi velice pomohla účast na CzechGeo/EPOS Workshopu konaném v listopadu 2016 na GFÚ. Seznámit se s myšlenkami EPOS GNSS pracovní skupiny, jejich principem fungování a aktuálním stavem jednotlivých nástrojů, mi umožnila účast na EPOS Integration Workshopu, který se uskutečnil v březnu 2017.

Na základě získaných informací z EPOS Integration Workshopu jsem byl schopen se blíže seznámit a otestovat existující nástroje, které vznikají pro Evropský observační systém (viz. kapitola 3). Cílem mého testování bylo evropským kolegům z pracovní skupiny poskytnout zpětnou vazbu. Při testování jsem místy narazil na problémy se vzájemnou neintegritou jednotlivých nástrojů, které jsem se snažil ve zdrojových kódech odstranit. Jako příklad mohu zmínit nesrovnalosti mezi testovanou verzí EPOS SQL databáze a DB API. Právě tento přístup mi pomohl se s jednotlivými nástroji podrobněji seznámit a položil mi základ pro případnou budoucí užší spolupráci na vývoji, o které v současné době s evropskými kolegy jednáme.

Nejdůležitějším výstupem mého testování bylo zprovoznění EPOS národního uzlu, který na úrovni národní infrastruktury budu prostřednictvím mého působení na GOP spravovat. V rámci zprovoznění národního uzlu bylo pro mě důležité lokálně vyzkoušet průběh instalace a samotnou konfiguraci celého systému. Je jisté, že vzhledem k probíhajícímu vývoji jednotlivých nástrojů se nejedná o jeho finální verzi.

V kapitole 4 jsem se zaměřil na procesy spojené s kontrolou kvality GNSS dat prostřednictvím softwaru G-Nut/Anubis a distribuci jejich výsledků v návaznosti na potřeby výzkumných infrastruktur. V první části této kapitoly jsem se seznámil s významem kontroly kvality GNSS dat a soustředil jsem se na samotný software G-Nut/Anubis. Uživatelsky jsem se se softwarem seznámil, provedl jeho instalaci, naučil jsem se vytvářet konfigurační soubory ve formátu XML a obeznámil jsem se s formáty výstupních souborů. V diplomové práci je podrobněji popsán výstupní formát QC-XML, který vznikl pro potřeby EPOS.

V druhé části kapitoly 4 jsem se zaměřil na samotnou problematiku kontroly kvality GNSS dat hlouběji. Provedl jsem ukázkové analýzy denních dat s 30-ti sekundovým intervalem pozorování, na kterých jsem demonstroval význam jednotlivých sledovaných parametrů, a přiblížil jsem problémy, se kterými se při hodnocení kvality GNSS observací setkáváme. Výsledné parametry jsem vizualizoval pomocí grafů s použitím nástroje Gnuplot. Pro efektivnější průběh analýz jsem grafy rozdělil do tří úrovní, kterými jsem se jednotlivě podrobněji zabýval.

Aktivně jsem se zapojil do evropské výzkumné infrastruktury EPOS vývojem nástroje RunQC (viz. kapitola 5), který bude v rámci infrastruktury sloužit pro zpracování miliónů datových souborů v GNSS archivech. Cílem nástroje je zajistit pro výzkumnou infrastrukturu tvorbu metadat T3, které nám prezentují výsledky kontroly kvality dat. Nástroj RunQC servisuje spouštění software G-Nut/Anubis pro vybrané obseované soubory na základě komunikace s EPOS SQL databází prostřednictvím DB API. Výsledky kontroly kvality dat pak nástroj RunQC zpětně pomocí zmíněné DB API předává do EPOS SQL databáze.

Jelikož v současné době DB API podporuje komunikaci pouze s metadaty T1, nástroj RunQC je zatím připraven pro manuální spuštění kontroly kvality dat pro konkrétní den a také pro jednorázové spuštění kontroly kvality pro archiv GNSS dat. Pro komunikaci s DB API mám připravené funkce, které musím podrobněji otestovat v okamžiku, kdy bude DB API podporovat komunikaci s metadaty T2 a T3, což se očekává koncem léta tohoto roku.

Na národní úrovni jsem vyvinul pro CzechGeo GNSS webový portál (viz. kapitola 6), který slouží jako alternativa webovému klientovi EPOS GLASS GUI a který má možnost oproti evropskému řešení lépe reflektovat potřeby národní výzkumné infrastruktury. Před vývojem webového portálu jsem měl k dispozici dva existující nástroje - mapovou aplikaci a prohlížeč grafů. Zaměřil jsem se tedy na jejich integraci do zvoleného redakčního systému a na vývoj stahovacího modulu, který umožňuje široké veřejnosti přístup k GNSS observovaným datům. Pro potřeby stahovacího modulu se mi podařilo naprogramovat, s využitím vhodné zvolené externí knihovny, efektivní monitoring datového centra, který běží na pozadí a díky kterému má uživatel možnost před samotným stažením souboru zjistit, zda je soubor v datovém centru dostupný. V rámci redakčního systému jsem připravil rozšířené možnosti správy uživatelských účtů pro potřeby tohoto projektu. Především jsem zavedl různé úrovně uživatelských oprávnění a naprogramoval jsem zaznamenávání podrobných statistik stahování vztažně k jednotlivým zaregistrovaným uživatelům. V budoucnu bych se chtěl zaměřit na vývoj nového nástroje, který bude interaktivně prostřednictvím grafů prezentovat výsledky kontroly kvality dat a který nahradí stávající nástroj pro prohlížení grafů.

V kapitole 6 také zmiňuji způsob integrace vybraných nástrojů EPOS do GNSS webového portálu CzechGeo. Na GOP se chceme vyvarovat zbytečnému paralelnímu vývoji podobných nástrojů pro národní a evropskou infrastrukturu. V současné době ale nemáme možnost použít evropské funkcionality pro národní účely, jelikož se na jejich vývoji neustále pracuje. V okamžiku, kdy budou nástroje pro EPOS připraveny, preferujeme v rámci národní výzkumné infrastruktury využívat především EPOS SQL databázi a DB API.

Na samém závěru této diplomové práce bych chtěl ještě jednou poděkovat za poskytnutí intenzivních konzultací k tematům GNSS výzkumných infrastruktur Ing. Janu Doušovi, Ph.D., který naši GNSS skupinu na GOP vede a který nám díky svému vysokému pracovnímu nasazení otevírá možnost účastnit se zajímavých mezinárodních projektů. Děkuji mu za poskytnutí příležitosti stát se součástí jeho týmu a těším se na další spolupráci!

Literatura

- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. *Cestovní mapa České republiky velkých infrastruktur pro výzkum, experimentální vývoj a inovace pro léta 2016 až 2022*. 10 2015. ISBN 978-80-87601-33-4.
- EPOS Board of National Scientific Representatives. *EPOS White Paper*, 04 2017.
- J. Kostecký and V. Plicka. *VESOG, PPGNet, CZEPOS networks*, 11 2016.
- T. Hjörvar and Q. Baire. *Database for EPOS-IP*, 10 2016.
- Q. Baire, J. Douša, and P. Pereira. *D10.4 Report on Use Cases, Requirements, Metadata and Interoperability of WP 10*, 12 2016.
- F. Sigurðarson. *FLASK Web Service Server 2*, 02 2017.
- P. Pereira. *GLASS Web Service API*, 12 2016.
- Khai-Minh Ngo, M. Vergnolle, J. L. Menut, L. Rolland, and M. Vidal. *GLASS GUI T1, T2 and T3 Technical Report*, 01 2017.
- P. Václavovic and J. Douša. Development Towards Advanced GNSS Data Quality Monitoring. In *Družicové metody v geodézii a katastru*. ECON publishing, s.r.o, 2015.
- P. Václavovic and J. Douša. G-Nut/Anubis - open-source tool for multi-GNSS data monitoring. In *IAG Symposia Series*. Springer, 2016.
- J. Douša and P. Bezděka. *EGNOS RIMS site environment monitoring (October – December 2016)*, 02 2017.

Seznam obrázků

2.1	Fáze rozvoje Evropského observačního systému	6
2.2	Schéma integrace výzkumných infrastruktur v EPOS	6
2.3	Tematické služby EPOS pro jednotlivé vědní obory	7
3.1	Schéma distribuce GNSS dat v rámci EPOS	12
3.2	Schéma distribuce GNSS metadat T1	12
3.3	Struktura EPOS nástrojů pro práci s GNSS metadaty	13
3.4	Struktura metadat T0	14
3.5	Ukázka komunikace s DB API v klientu Postman	20
3.6	EPOS GLASS GUI webový klient	22
3.7	EPOS GLASS GUI webový klient	23
3.8	EPOS GLASS GUI webový klient	24
3.9	EPOS GLASS GUI webový klient	24
3.10	EPOS GLASS GUI webový klient	25
4.1	Celistvost GNSS dat	35
4.2	Minimální elevační úhel pozorování	35
4.3	Kompletnost pozorování na dvou frekvencích	36
4.4	Poměr skutečných a očekávaných observací nad horizontem	36
4.5	Poměr reálných a očekávaných observací nad elevační maskou 15°	37
4.6	Přesnost určení polohy standardním procesem zpracování GPS	37
4.7	Charakteristika vícecestného šíření signálu na frekvenci L1	38
4.8	Vybrané klíčové parametry pro stanice CzechGeo infrastruktury	38
4.9	Dostupnost a použitelnost epoch měření pro 3. a 4. čtvrtletí 2016	39
4.10	Posloupnosti průměrných denních souřadnic (nahore), jejich opakovatelností (ve středu) a charakteristika vícecestného šíření signálů (dole) na frekvencích L1 a L2	40
4.11	Zobrazení 1/2-frekvenčních pozorování v závislosti na azimutu a elevaci	41
4.12	Ztráta signálu na druhé frekvenci (černá barva)	41
5.1	RunQC - schéma hlavního procesu	44
5.2	RunQC - detailní schéma pro stahování/kopírování	46
5.3	RunQC - detailní schéma pro spuštění G-Nut/Anubis	47
6.1	CzechGeo GNSS webový portál - základní schéma procesu	50
6.2	CzechGeo GNSS webový portál - komunikace s EPOS SQL databází	50
6.3	CzechGeo GNSS webový portál - implementace nástrojů	51
6.4	CzechGeo GNSS webový portál - metadata T1	52
6.5	CzechGeo GNSS webový portál - seznam metadat T1	52
6.6	CzechGeo GNSS webový portál - stahovací modul (filtr)	53
6.7	CzechGeo GNSS webový portál - stahovací modul (košík)	53
6.8	CzechGeo GNSS webový portál - proces stahování GNSS dat	54
6.9	CzechGeo GNSS webový portál - metadata T3	54

Seznam použitých zkratek

API	...	Platforma pro sestavování REST aplikací
BeiDou	...	Čínský globální družicový navigační systém
CDDIS	...	Datové centrum dat kosmických technik v NASA
CMS	...	Redakční systém pro správu webového obsahu
CNRS	...	Národní centrum vědeckého výzkumu ve Francii
CZEPOS	...	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
DDSS	...	Data, datové produkty, software a služby
ECO	...	Exekutivní a koordinační úřad
EGNOS	...	Regionální evropský družicový navigační systém
EPN	...	EUREF permanentní síť GNSS stanic
EPOS	...	Evropský observační systém
EPOS-IP	...	EPOS projekt implementační fáze
EPOS-PP	...	EPOS projekt přípravné fáze
EPOS-ERIC	...	Evropské konsorcium pro výzkumnou infrastrukturu
ESFRI	...	Evropské strategické fórum pro výzkumné infrastruktury
EUREF	...	Evropský referenční rámec
FLASK	...	EPOS server, který využívá framework Flask
GenT2	...	EPOS nástroj pro tvorbu GNSS metadat T2
GeodesyML	...	Standard pro distribuci GNSS metadat T1
GEONAS	...	Geodynamická síť GNSS Akademie věd ČR
GFÚ	...	Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
GLASS	...	EPOS server, který využívá framework GlassFish
GLONASS	...	Ruský globální družicový navigační systém
GNSS	...	Globální družicové navigační systémy
GPL	...	Všeobecná veřejná licence GNU
GOP	...	Geodetická observatoř Pecný
GPS	...	Americký globální družicový navigační systém
GUI	...	Grafické uživatelské rozhraní
HTTP	...	Internetový protokol
ICS	...	EPOS integrované služby
IGS	...	Mezinárodní GNSS služba

IMO	...	Islandský meteorologický úřad
INGV	...	Italský národní institut pro geofyziku a vulkanologii
JSON	...	Datový formát určený pro výměnu dat
jQuery	...	Javascriptová knihovna
L1	...	Frekvenční pásmo GNSS signálu
L2	...	Frekvenční pásmo GNSS signálu
MŠMT	...	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky
Multi-GNSS	...	Kombinace více GNSS najednou
MySQL	...	Relační databázový systém
NAVIC	...	Regionální indický družicový navigační systém
NRI	...	Národní výzkumné infrastruktury
PPGNET	...	Síť permanentních stanic GNSS v Řecku
QC-XML	...	Výstupní soubor ze softwaru G-Nut/Anubis pro potřeby EPOS
QZSS	...	Regionální japonský družicový navigační systém
RIMS	...	EGNOS GNSS referenční síť
RINEX	...	Výměnný formát GNSS dat nezávislý na typu přijímače
RunQC	...	EPOS nástroj pro tvorbu GNSS metadat T3
T0	...	GNSS metadata typu T0
T1	...	GNSS metadata typu T1
T2	...	GNSS metadata typu T2
T3	...	GNSS metadata typu T3
TCS	...	EPOS oborové tematické služby
UBI	...	Univerzita Beira Interior v Portugalsku
VESOG	...	Výzkumná a experimentální síť permanentních stanic GNSS v ČR
WAAS	...	Regionální americký družicový navigační systém
XTR	...	Výstupní soubor ze softwaru G-Nut/Anubis