Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Implementácia platformy na vizualizáciu ionosférickej scintilácie

Diplomová práca

2024 **Bc. Lukáš Brilla**

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Implementácia platformy na vizualizáciu ionosférickej scintilácie

Diplomová práca

Študijný program:	Informatika
Študijný odbor:	9.2.1. Informatika
Školiace pracovisko:	Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ:	Ing. Marcel Vološin, PhD.

Košice 2024 **Bc. Lukáš Brilla**

Abstrakt v SJ

Predkladaná diplomová práca sa zameriava na problematiku vizualizácie dát z kozmického počasia a ich využitie v predpovediach ionosférických scintilácií. Úvodná časť identifikuje súčasné poskytovateľov dát o kozmickom počasí a spôsoby ich vizualizácie, vrátane rôznych projekcií. Nasleduje analýza modelu strojového učenia na predikciu časových radov, na základe historických údajov. Hlavnou časťou práce je autonómna služba na predpovedanie ionosférických scintilácií (ASPIS), ktorá je detailne opísaná vrátane architektúry, postupov predspracovania dát a implementácie modelov. Popisuje sa aj grafické a aplikačné programové rozhranie, ktoré umožňuje užívateľom interaktívne pracovať s predpoveďami. Táto diplomová práca detailne dokumentuje proces výskumu, návrhu a implementácie autonómnej služby na predpovedanie ionosférických scintilácií ako aj jej možné budúce využitie.

Kľúčové slová v SJ

ionosferická scintilácia, vizualizácia dát, AWS, webová aplikácia, strojové učenie

Abstrakt v AJ

The present thesis focuses on the visualization of space weather data and its use in ionospheric scintillation forecasting. The introductory section identifies current space weather data providers and their visualization methods, including various projections. This is followed by an analysis of a machine learning model for time series prediction, based on historical data. The main part of the work is the Autonomous Service for Prediction of Ionospheric Scintillations (ASPIS), which is described in detail, including the architecture, data preprocessing procedures, and model implementation. The graphical and application programming interface that allows users to interactively work with the forecasts is also described. This thesis documents in detail the process of research, design and implementation of an autonomous service for ionospheric scintillation prediction as well as its possible future use.

Kľúčové slová v AJ

ionospheric scintillation, data visualization, AWS, web application, machine learning

Bibliografická citácia

BRILLA, Lukáš. *Implementácia platformy na vizualizáciu ionosférickej scintilácie*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2024. 59s. Vedúci práce: Ing. Marcel Vološin, PhD.

72594

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **Informatika**
Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Implementácia platformy na vizualizáciu ionosférickej scintilácie

Implementation of a Platform for Visualization of Ionospheric Scintillation

Študent: **Bc. Lukáš Brilla**
Školiteľ: **Ing. Marcel Vološin, PhD.**
Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**
Konzultant práce:
Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:
1. Oboznámiť sa s javom ionosférickej scintilácie.
2. Analyzovať vhodné zdroje dát z meraní ionosférických scintilácií.
3. Navrhnúť a implementovať softvérové riešenie na zbieranie, spracovanie a ukladanie dát súvisiacich so scintiláciou.
4. V rámci riešenia implementovať vhodnú vizualizáciu získaných dát.
5. Analyzovať možnosti predikcie scintilácie na základe získaných dát.
6. Vypracovať používateľskú a systémovú príručku k implementovanému riešeniu.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský
Termín pre odovzdanie práce: 19.04.2024
Dátum zadania diplomovej práce: 31.10.2023

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY -11-

prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 13.5.2024 .....

Vlastnoručný podpis

Poďakovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval svojmu vedúcemu práce Ing. Marcelovi Vološinovi, PhD. za jeho čas a odborné vedenie počas riešenia mojej záverečnej práce. Rovnako by som sa rád poďakoval svojim rodičom a priateľom za ich podporu a povzbudzovanie počas celého môjho štúdia.

Obsah

Úvod **1**

1 Úvod do problematiky **3**

2 Analýza súčastného stavu pre vizualizáciu dát **5**
2.1 Prehľad poskytovateľov služieb kozmického počasia a ich dáta . . . 5
2.1.1 Space Weather Prediction Center (SWPC) 5
2.1.2 European Space Agency (ESA) 6
2.1.3 International GNSS Service (IGS) 9
2.1.4 Electronic Space Wheater Upper Atmosphere (eSWua) . . . 10
2.2 Dáta ionosferických scintilácií 11
2.2.1 CHAIN 12
2.2.2 IMPC 12
2.2.3 INGV 12
2.2.4 NMA 13
2.2.5 MONITOR 13
2.3 Spôsob vizualizácie dát 14
2.3.1 Mercatorova projekcia 14
2.3.2 Ortografická projekcia 15
2.3.3 Gnómonická projekcia 16
2.3.4 Konická projekcia 17
2.3.5 Azimutálna ekvidištantná projekcia 18

3 Opis modelu strojového učenia **20**
3.1 Predspracovanie údajov 20
3.2 Model hlbokého učenia 22
3.2.1 Predikcia časových radov na základe minulých hodnôt . . . 22

4 ASPIS - Autonómna služba na predpovedanie ionosférických scintilácií **26**
4.1 Architektúra služby ASPIS 27

4.1.1 Nástroje Amazon Web Services (AWS) 29
4.2 Predspracovanie vstupných dát 32
4.3 Automatické získavanie dát a predikcie pomocou strojového učenia 38
4.4 Grafické a aplikačné programové rozhranie 42
4.4.1 Využite technológie pre vizualizáciu 43
4.4.2 Získavanie dát z AWS 43
4.4.3 Hlavná stránka pre vizualizáciu dát 44
4.4.4 Stránka API 46
4.4.5 Stránka ABOUT 47
4.5 Nasadenie a prevádzka služby 48
4.5.1 GitHub Actions 48
4.5.2 Cloud Development Kit (CDK) 49
4.5.3 Vývoj a Produkcia 49

5 Vyhodnotenie **51**
5.1 Porovnanie projekcie 51
5.2 Architektúra a získavanie dát 52
5.3 Náklady na prevádzku systému 53
5.4 Budúcnosť aplikácie 53

6 Záver **54**

Literatúra **56**

Zoznam skratiek **60**

Zoznam príloh **62**

A Používateľská príručka **63**
A.0.1 Mapy Nowcast a Forecast 64
A.0.2 Interaktívne skúmanie údajov 64
A.0.3 Preskúmavanie historických údajov 64
A.0.4 Rozsah geografického pokrytia 65
A.1 Stránka pre preskúmanie API 65
A.1.1 Zobrazenie údajov 65
A.1.2 Zobrazenie volania API 66
A.2 Stránka pre získanie informácii 66

B Systémová príručka **67**

B.1 Inštalácia a nastavenie projektu 67

B.1.1 Požadovaný softvér 67

B.1.2 Frontend 67

B.1.3 Štruktúra projektu 68

B.1.4 Backend 69

B.1.5 Api 72

Zoznam obrázkov

1.1 Prehľad ionosférických efektov na šírenie signálu [10] 4

2.1 Vizualizácia fyzikálnych javov na stránke Space Weather Prediction Center [11] 6
2.2 Vizualizácia aktuálneho kozmického počasia v rámci portálu ESA SWESNET. [12] 7
2.3 Reprezentácia krajín zapojených do SWESNET. [13] 8
2.4 Vizualizácia staníc na stránke International GNSS Service [14] . . . 9
2.5 Vizualizácia dát na stránke Electronic Space Wheater Upper Atmosphere [15] 10
2.6 Prijímače na monitorovanie ionosferickej scintilácie 11
2.7 Reprezentácia Mercatorovej projekcie [23] 15
2.8 Reprezentácia Ortografickej projekcie [24] 16
2.9 Reprezentácia Gnómonickej projekcie [25] 17
2.10 Reprezentácia Konickej projekcie [26] 18
2.11 Reprezentácia Azimutálnej ekvidištantnej projekcie [27] 18

3.1 Grafické zobrazenie autoregresívneho modelu 24

4.1 Diagram pre ASPIS architektúru 28
4.2 Reprezentácia binov celej Zeme. Zobrazené sú stredné biny s rozlíšením 1/8 v Robinsonovej projekcii 33
4.3 Dáta získavané z IMPC staníc, pre stanicu MSNZ02, GPS satelit, dňa 2024.02.08 35
4.4 Dáta získavané z INGV pre stanicu HEL0p, GPS satelit, dňa 2023.12.24 37
4.5 Diagram zobrazuje ako sú uložene dáta, dashboard a jeho komponenty na S3 bucket 44
4.6 Vizualizácia hlavnej stránky 45
4.7 Vizualizácia stránky Api 47
4.8 Vizualizácia stránky About 48

A.1 Vizualizácia pre stránku About 64
A.2 Vizualizácia pre stránku About 65
A.3 Vizualizácia pre stránku About 66

Zoznam tabuliek

2.1 Tabuľka obsahuje zoznam inštitúcii, počet staníc a región, kde zbierajú dáta o ionosferickej scintilácii 11

4.1 Zoznam a údaje o jednotlivých CHAIN staniciach, z ktorých boli získavané dáta 34
4.2 Zoznam a údaje o jednotlivých IMPC staniciach, z ktorých boli získavané dáta 36
4.3 Zoznam a údaje o jednotlivých INGV staniciach, z ktorých boli získavané dáta 38

Úvod

Ionosferické scintilácie majú výrazný vplyv na rádiovú komunikáciu a prenos signálu z navigačných družíc na pozemné prijímače. Kvôli komplexite tohto javu a jeho dynamickým zmenám je predikcia ionosferickej scintilácie náročným problémom. V posledných rokoch sa prístup založený na strojovom učení ukázal ako účinný nástroj na predikciu a pochopenie takýchto komplexných atmosférických javov.

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvoriť vizualizačný nástroj pre predikcie ionosferických scintilácií, ktoré vychádzajú z existujúceho modelu strojového učenia. Tento model, ktorý nie je hlavným predmetom našej práce, poskytuje predikcie na základe historických dát o ionosferických scintilácich. Naša úloha spočíva v návrhu a implementácii frontend a backend komponentov, ktoré umožnia užívateľom interaktívne preskúmať a porovnávať tieto predikcie.

V dnešnej dobe je vizualizácia dát neoddeliteľnou súčasťou analýzy výsledkov predikčných modelov. Naša práca sa zameriava na vytvorenie intuitívneho používateľského rozhrania, ktoré umožní rýchle a efektívne pochopenie predikcií ionosferických scintiláciach v reálnom čase. Sústredíme sa nielen na estetiku vizualizácie, ale aj na funkcionalitu, ktorá poskytne používateľom priestor na hlbšie preskúmanie a analyzovanie predikcií.

V nasledujúcich kapitolách sa detailne zameriame na teoretický základ ionosferických scintilácií, existujúce prístupy k jej predikcii ako aj na princípy strojového učenia, ktoré stojí za prediktívnym modelom, ktorý už bol vytvorený v minulosti.

Dôležitou súčasťou našej práce je aj návrh backend komponentu, ktorý bude riadiť spracovanie dát a komunikáciu s prediktívnym modelom. V záverečnej časti sa venujeme integrácii frontend a backend komponentov a prezentujeme výsledný vizualizačný nástroj. Naša práca by mala prispieť k lepšiemu porozumeniu ionosferických scintilácií a poskytnúť používateľom efektívny prostriedok na analyzovanie predikcií v tejto oblasti.

Naša diplomová práca sa sústreďuje na spojenie teoretických poznatkov o

ionosferických scintiláciach, využitie existujúceho model pre predikciu scintilácie a vytvorenia vizualizačného nástroja, ktorý má praktické využitie pre výskumníkov, odborníkov a iných zainteresovaných jednotlivcov pôsobiacich v oblasti rádiového komunikačného spektra. Výsledky práce sú súčasťou úspešného projektu pre Európsku vesmírnu agentúru (ESA).

Formulácia úlohy

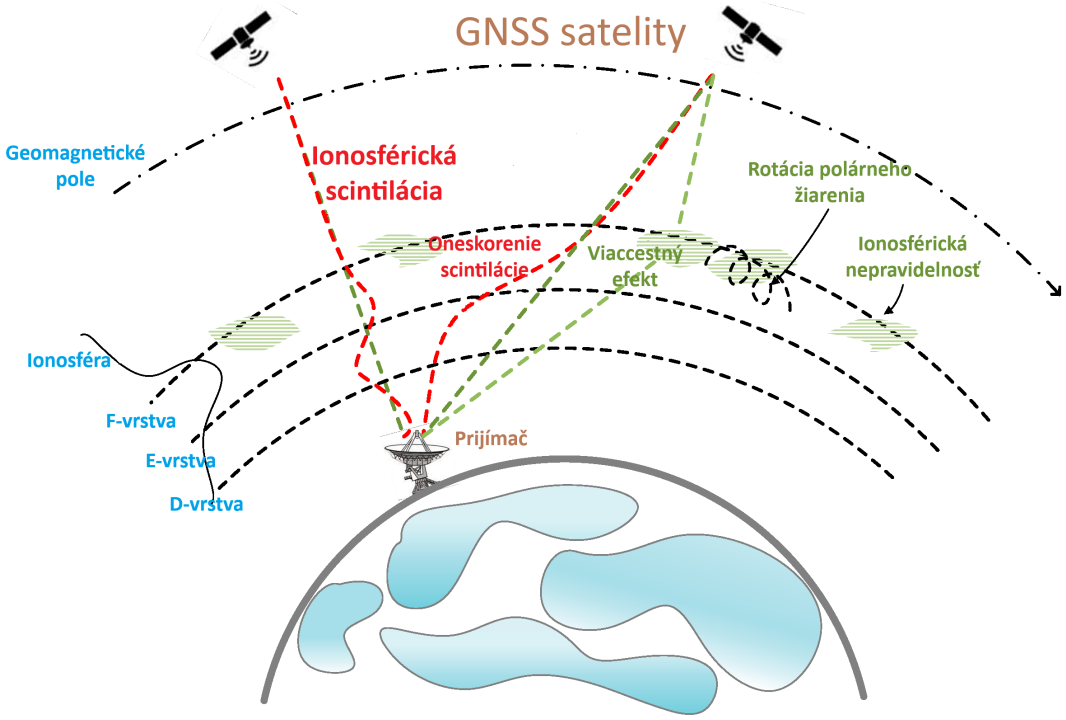
Hlavným cieľom tejto diplomovej práce je navrhnúť a implementovať frontend a backend komponenty, ktoré umožnia užívateľom interaktívne preskúmať a analyzovať aktuálnu situáciu (tzv. nowcast) a tiež predikcie tzv. forecast) a to v reálnom čase a tiež v archívnych záznamoch.Okrem grafického rozhrania má systém obsahovať aplikačné programové rozhranie (API), ktoré je nosnou technológiou celého systému a má slúžiť na poskytovanie aktuálnych a predikovaných dát pre ďalšie systémy v automatickom režime. Práca zahŕňa teoretický kontext ionosferickej scintilácie a strojového učenia, analýzu existujúceho modelu, návrh a implementáciu frontendu a backendu, a nakoniec integráciu oboch komponentov. Cieľom je vytvoriť efektívny vizualizačný nástroj s efektívnym API rozhraním pre lepšie porozumenie a monitorovanie ionosferických scintilácií.

1 Úvod do problematiky

Ionosféra je jednou z najdôležitejších vrstiev atmosféry Zeme. Nachádza sa vo výškach približne 60 km až 1000 km nad povrchom planéty a zohráva kľúčovú úlohu pri prenose rádiových signálov, komunikácii, navigácii a vo výskume vesmíru. Táto vrstva atmosféry je ionizovaná, čo znamená, že častice v ionosfére majú získané elektróny a sú schopné vytvárať elektricky nabitý priestor, ktorý môže ovplyvniť pohyb rádiových vĺn.

Jedným z dôsledkov ionizácie je výskyt ionosférických scintilácií. Tieto scintilácie sú spôsobené fluktuáciami v intenzite rádiových signálov, ktoré prechádzajú cez ionizované oblasti ionosféry. Tieto fluktuácie môžu byť spôsobené rôznymi faktormi ako sú slnečná aktivita, geomagnetické búrka alebo iné atmosférické javy. Predikcia ionosférických scintilácií je založená na pozorovaní slnečnej aktivity a monitorovaní parametrov ionosféry. Existuje niekoľko spôsobov, ako predpovedať tieto scintilácie. Jedným z nich je použitie matematických modelov ionosféry, ktoré sú založené na fyzikálnych princípoch interakcie medzi slnečným žiarením a atmosférou Zeme. Ďalším spôsobom je monitorovanie slnečnej aktivity a sledovanie vývoja slnečných erupcií, ktoré môžu ovplyvniť ionizáciu ionosféry. Výsledné predpovede ionosférických scintilácií môžu poskytnúť cenné informácie pre telekomunikačné a navigačné systémy, ktoré sú závislé od spoľahlivého prenosu rádiových signálov.

Ionosférické scintilácie boli prvýkrát zaznamenané meraním rádiových signálov od hviezd [1]. Ich vplyv na modernú spoločnosť sa za posledné desaťročia zvýšil s príchodom konštelácií GNSS. Satelity GNSS operujú na frekvenciách okolo 1 GHz (L-pásmo). Prehľad ionosferických efektov môžeme vidieť na obrázku 1.1. Frekvencie tohto typu sú dostatočne vysoké na prechod cez ionosféru, ale nie dostatočne vysoké na imunitu voči ionosférickým scintiláciám. Preto sa ionosférické scintilácie stali dôležitým fenoménom kozmického počasia so širokou škálou následkov pre námorné a pozemné dopravné systémy, letectvo a satelity. [2, 3, 4, 5]Geografické rozloženie výskytu ionosférických scintilácií je definované javmi súvisiacimi s konkrétnymi lokalitami. Amplitúdové scintilácie sa vy-



Obr. 1.1: Prehľad ionosférických efektov na šírenie signálu [10]

skytujú hlavne v nízkych zemepisných šírkach rovníkového pásma ($\pm$ 20° zemepisnej šírky magnetického rovníka) s hlavnou aktivitou po západe slnka a pred polnocou. Plazmové nepravidelnosti, s rozmermi rádovo od niekoľkých stoviek metrov po niekoľko kilometrov, sú hlavne generované Rayleigh-Taylor nestabilitou na spodnej strane ionosferickej F-vrstvy.V dôsledku tejto nestability sú vytvorené rovníkové plazmové bubliny, ktoré sú priamo zodpovedné za ionosférické amplitúdové scintilácie prostredníctvom zachytenia transionosférického signálu. Výskyt scintilácií sa môže meniť v časových škálach od dní po solárne cykly. Na vysokej zemepisnej šírke v aurorálnej zóne a blízko pólov (geomagnetické zemepisné šírky $>$ 65°), môžu ostré horizontálne gradienty v hustote plazmy slúžiť ako difrakčná mriežka pre signály na GNSS frekvenciách a tak môže dôjsť k fázovým scintiláciám [6].Výskyt je maximálny počas slnečného maxima [7], v zimnom období a počas polárnej žiary [8]. Aj keď amplitúdové scintilácie predstavujú problém zoslabenia signálu, fázové scintilácie môžu ohroziť schopnosť prijímačov udržať samotné spojenie so satelitom. V extrémnych podmienkach môže dôjsť k strate tohto spojenia a služba GNSS nie je prístupná, kým sa spojenie neobnoví.V stredných zemepisných šírkach sú efekty scintilácií veľmi zriedkavé a obvykle sa vyskytujú len niekoľkokrát počas slnečného cyklu, počas najextrémnejších udalostí kozmického počasia [9].

2 Analýza súčastného stavu pre vizualizáciu dát

V tejto kapitole sa budeme venovať procesu analýzy súčasného stavu pre vizualizáciu dát. Preskúmame stránky a dáta, ktoré sa momentálne používajú pre vizualizáciu fyzikálnych javov.

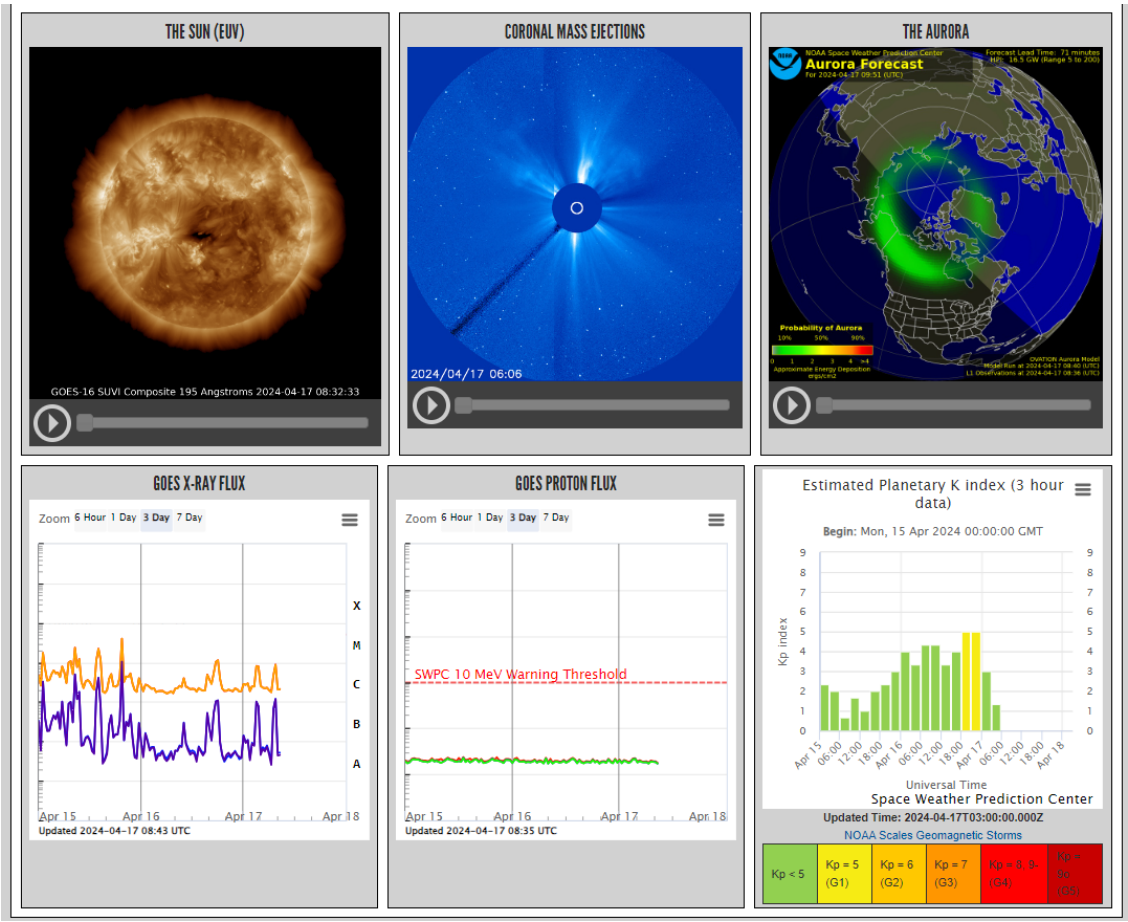
2.1 Prehľad poskytovateľov služieb kozmického počasia a ich dáta

Ionosférické scintilácie predstavujú komplexný jav v ionosfére, ktorý môže mať významný vplyv na spoľahlivosť rádiových komunikácií, satelitných navigačných systémov a ďalších technológií závislých od prenosu elektromagnetických vĺn. Táto sekcia sa zameriava na poskytnutie uceleného prehľadu poskytovateľov služieb kozmického počasia. V rámci tohto prehľadu budú analyzované a diskutované rôzne organizácie, inštitúcie a spoločnosti, ktoré sa zaoberajú monitorovaním, predpovedaním a poskytovaním informácií o kozmickom počasí.

2.1.1 Space Weather Prediction Center (SWPC)

Space Weather Prediction Center (SWPC) [11] je významným centrom v rámci National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) so špecializáciou na monitorovanie a predpovedanie kozmického počasia. SWPC sleduje ionosféru s pomocou širokej škály pozorovacích nástrojov, vrátane radarov, družíc a iných geofyzikálnych senzorov. SWPC poskytuje komplexné informácie o ionosférických scintiláciách, zahŕňajúce frekvenčné analýzy, amplitúdové spektrá a grafy vývoja scintilácií v čase. Jeho webová platforma umožňuje prístup k aktuálnym a historickým dátam prostredníctvom interaktívnych nástrojov, ktoré umožňujú používateľom hlbšie štúdium. Stránku SWPC možeme vidieť na obrázku 2.1, kde si môžeme všimnúť viaceré spôsoby vizualizácie pre predpovedanie kozmického

počasia ako je slnečné žiarenie, vypudzovanie plazmy a magnetického poľa alebo miesto a intenzitu polárnej žiary, ktoré taktiež vplývajú na samotnú ionosféru. Pre vizualizáciu využívajú rôzne grafy a diagramy ale aj videá, ktoré nám simulujú priebeh týchto javov v nejaký čas.



Obr. 2.1: Vizualizácia fyzikálnych javov na stránke Space Weather Prediction Center [11]

SWPC zohľadňuje nielen vplyv ionosférických scintilácií na globálnu komunikáciu a navigáciu, ale aj ich potenciálny dosah na kritické infraštruktúry ako sú energetické siete a satelitné operácie. Celkovo je SWPC kľúčovým zdrojom pre pochopenie aktuálneho stavu ionosféry a predpovedanie možných scintilácií.

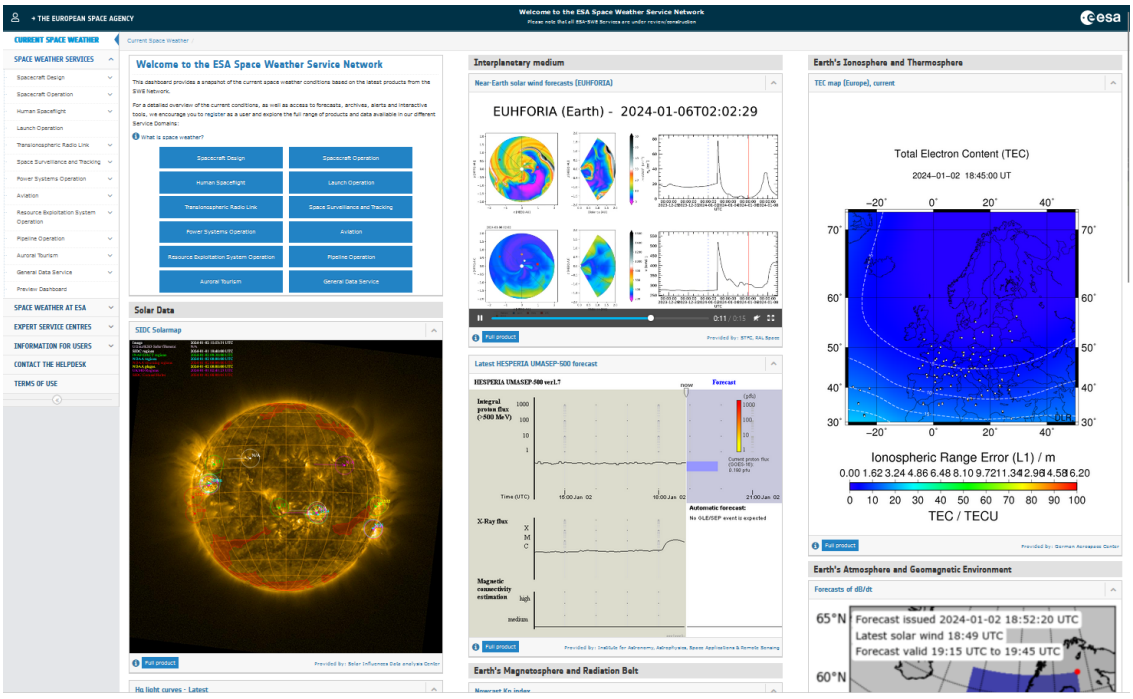
2.1.2 European Space Agency (ESA)

European Space Agency (ESA) [12] je medzinárodná organizácia, ktorá hrá kľúčovú úlohu v globálnom výskume ionosféry , kozmického počasia a celkovo kozmickej bezpečnosti. ESA prevádzkuje Space Weather Service Network (SWESNET), ktorá je v rámci expertného centra pre ionosféru špecializovaná na sledo-

vanie ionosférických podmienok a poskytovanie informácií pre odbornú komunitu.

ESA SWESNET zabezpečuje prístup k sofistikovaným modelom ionosférických scintilácií, ktoré umožňujú simulovať a predpovedať vplyvy rôznych podmienok. Tieto modely sú nástrojom pre výskumníkov a inžinierov na pochopenie ionosférických scintilácií a ich potenciálnych dôsledkov pre moderné technologické systémy. Jednotlivé modely možeme vidieť na stránke ESA, ktorá je zobrazená na obrázku 2.2. Využívajú statické projekcie ako sú obrázky, grafy alebo videá pre samotnú vizualizáciu fyzikálnych javov ako sú informácie o vertikálnej TEC alebo informácie o ionosferických scintiláciach.

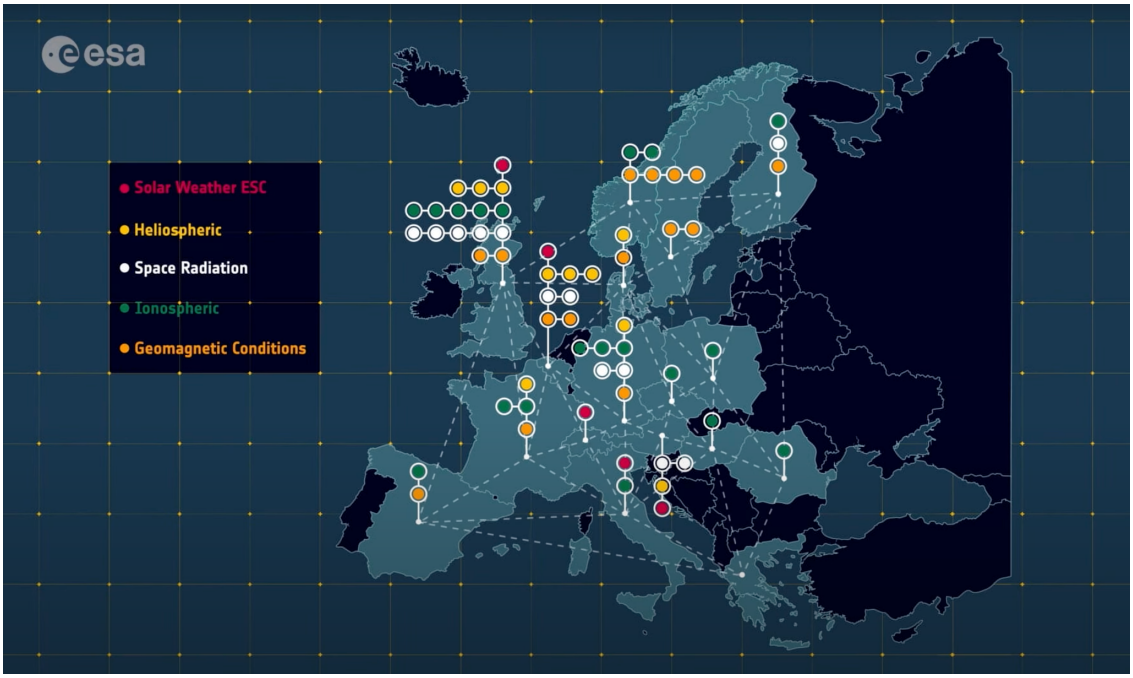
Okrem toho ESA spolupracuje s rôznymi medzinárodnými organizáciami a vedeckými skupinami, čo prispieva k vytváraniu komplexného pohľadu na dynamiku ionosféry a jej vplyv na elektromagnetické vlnenie.



Obr. 2.2: Vizualizácia aktuálneho kozmického počasia v rámci portálu ESA SWESNET. [12]

SWESNET

SWESNET [13] sa zameriava na pokračovanie predprevádzkovej prevádzky siete ESA Space Weather Service Network a jej ďalší rozvoj s cieľom zlepšiť kapacitu služby, zapojenie koncových používateľov a zrelosť siete. Medzi predprevádzkové aktivity patrí poskytovanie produktov a služieb kozmického počasia prostredníctvom portálu ESA Space Weather Portal, podpora používateľov prostredníctvom servisného helpdesku, monitorovanie a opravná údržba týchto prvkov a pravidelná kontrola ich výkonu a schopností. Vývojové aktivity pokrývajú vývoj a integráciu nových produktov, rozšírenie portfólia služieb, následné aktualizácie portálu ESA Space Weather Portal, zlepšenie výkonu servisnej siete a zvýšenie povedomia a zapojenia koncových používateľov smerom k sieti vesmírnych meteorologických služieb ESA. Na obrázku 2.3 môžeme vidieť krajiny zapojene do tohto projektu.



Obr. 2.3: Reprezentácia krajín zapojených do SWESNET. [13]

2.1.3 International GNSS Service (IGS)

International GNSS Service (IGS) [14] je globálna iniciatíva zameraná na poskytovanie presných informácií o signáloch zo satelitných navigačných systémov, vrátane ich vystavenia ionosférickým vplyvom. IGS zhromažďuje a distribuuje rozsiahle dáta z referenčných staníc na celom svete, umožňujúc výskumníkom sledovať a analýzovať odchýlky signálu v reálnom čase.

Dáta poskytované IGS sú neoceniteľným zdrojom pre optimalizáciu a presné kalibrácie navigačných systémov, a to najmä v oblastiach so zvýšenou pravdepodobnosťou výskytu ionosférických scintilácií. IGS pravidelne aktualizuje svoje dáta a spolupracuje s ďalšími vesmírnymi agentúrami, čo prispieva k vyššej úrovni pochopenia vplyvov ionosférických javov na satelitné technológie.

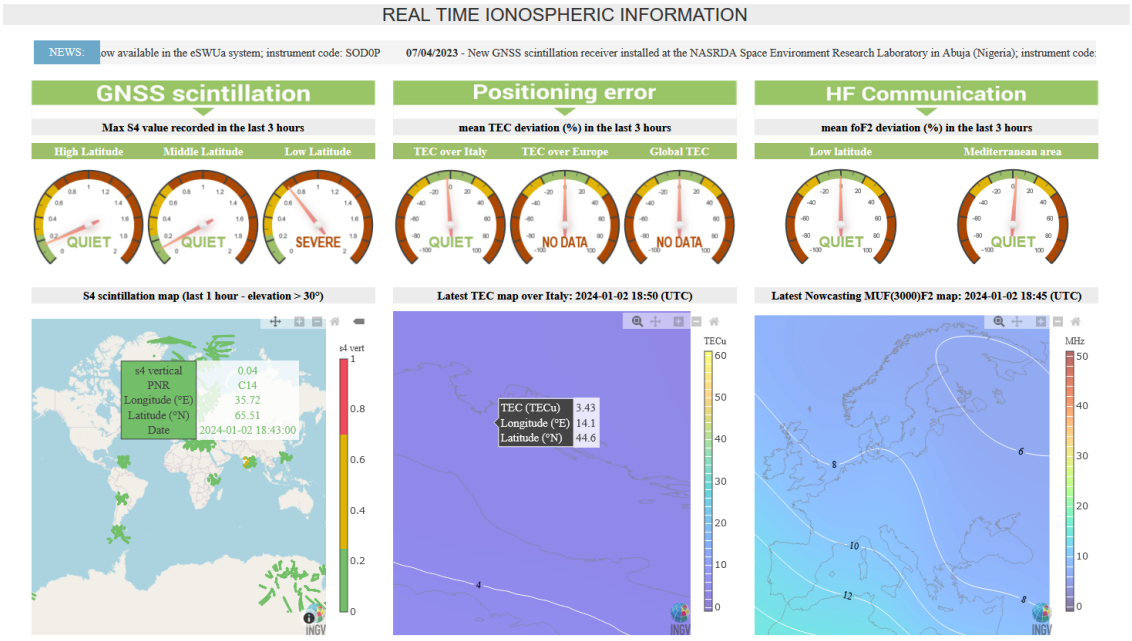
Vizualizácia tejto stránky je zaujímavá tým, že využíva Ortografická projekciu, ako možeme vidieť na obrázku 2.4



Obr. 2.4: Vizualizácia staníc na stránke International GNSS Service [14]

2.1.4 Electronic Space Wheater Upper Atmosphere (eSWua)

Electronic Space Wheater Upper Atmosphere (eSWua) [15] je webová služba prevádzkovaná talianskou inštitúciou INGV , ktorá je zameraná na priamu vizualizáciu ionosférického scintilačného javu. Používatelia tu môžu sledovať vizualizáciu scintilácie, chyby polohovania a tiež vizualizáciu vysokofrekvenčnej komunikácie. Pre vizualizáciu sa využívajú dáta z rôznych staníc, umiestnených na niektorých miestach po celom svete. Používa sa základná vizualizácia v Mercatorovej projekcii, no v polárnych oblastiach dochádza k najväčším skresleniam, čo vedie k nerealistickej vzdialenosti medzi bodmi.Ako možeme vidieť na obrázku 2.5 výsledná vizualizácia na tejto stránke je obmedzená na aktuálny časový úsek a neponúka podporu pre predikciu ionosférického scintilačného javu .



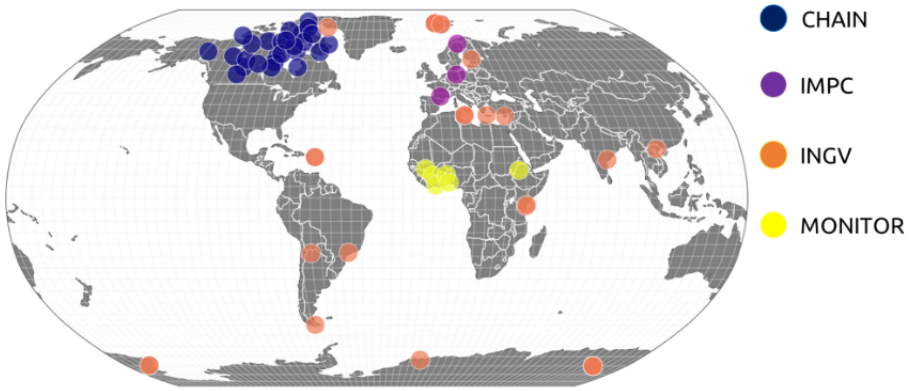
Obr. 2.5: Vizualizácia dát na stránke Electronic Space Wheater Upper Atmosphere [15]

2.2 Dáta ionosferických scintilácií

V súčasnosti existuje množstvo inštitúcií, ktoré sa venujú štúdiu ionosferickej scintilácie a zberu príslušných dát. Tieto inštitúcie disponujú rôznym počtom staníc, ktoré sú určené na zber dát. Každá z týchto staníc je umiestnená v rôznych častiach sveta ako môžeme vidieť na obrázku 2.6, čo umožňuje zber a analýzu dát z rôznych geografických oblastí a podmienok.

Názov	Množstvo staníc	Región
Kanadská vysoko arktická ionosférická sieť	26	Kanada
Centrum monitorovania a predpovede ionosféry, DLR	5	Európa
Národný ústav geofyziky a vulkanológie	28	Európa, Južná Amerika, Antarktída, Ázia
Nórsky kartografický úrad	8	Severná Európa
Sieť scintilačných prijímačov ESA	12	Európa, Afrika

Tabuľka 2.1: Tabuľka obsahuje zoznam inštitúcii, počet staníc a región, kde zbierajú dáta o ionosferickej scintilácii



Obr. 2.6: Prijímače na monitorovanie ionosferickej scintilácie

2.2.1 CHAIN

Sieť kanadského vysokého arktického ionosférického systému (CHAIN) [16] bola vytvorená v reakcii na základnu potrebu lepšieho porozumenia planetárnych prostredí ovplyvnených krátkodobou aj dlhodobou variabilitou slnečnej aktivity. Slnko-Zem systém je obrovský spätý systém, v ktorom prebieha množstvo fyzikálnych procesov, pričom variabilita slnečnej aktivity riadi pozemské aj vesmírne prostredie. Úplné porozumenie tohto komplexného systému vyžaduje poznanie jednotlivých fyzikálnych procesov, ktoré sa v ňom odohrávajú, a tým pádom aj pozorovania. CHAIN sa snaží pochopiť jednotlivé fyzikálne procesy potrebné na základné pochopenie spätosti medzi slnkom a Zemou a jej vplyv na naše planetárne prostredie.

CHAIN tvorí distribuovaná sieť zemských rádiových prístrojov umiestnených v kanadskom vysokom arktickom regióne. Nástroje CHAIN sú 25 vysokorýchlostných monitorovacích staníc GISTM (Scintilačné a celkové množstvo elektrónov) GNSS ionosférických a 6 kanadských pokročilých digitálnych ionosond. Väčšina týchto prístrojov sa nachádza v oblasti polárnej čiapky (región s otvorenými magnetickými poľami)

2.2.2 IMPC

Za účelom zmierňovania účinkov, Ionosférické monitorovacie a predikčné centrum (IMPC) [17] spravované organizáciou DLR poskytuje takmer v reálnom čase informácie a údaje o aktuálnom stave ionosféry, súvisiacich predpovediach a varovaniach. Základom vývoja IMPC je pevná a neustála výskumná činnosť v oblasti ionosférických vied. Výskum IMPC sa zaoberá okrem iného detekciou perturbácií ionosféry, modelovaním a predpovedaním, mapovaním chýb, vyššími rádovými chybami v presných bodových pozíciách, empirickým a fyzikálnym modelovaním a rekonštrukciou 3D elektrónovej hustoty. Etablované pozemné a vesmírne merania GNSS sú používané ako jedinečná databáza na trvalé monitorovanie elektrónovej hustoty a jej štruktúry v systéme ionosféry-plazmosféry.

2.2.3 INGV

Cieľom INGV [18] je prispievať k pochopeniu dynamiky Zemskej sústavy, v jej rôznych fenoménoch a pevných aj kvapalných komponentoch a k zmierňovaniu s nimi spojených prírodných rizík. Konkrétne činnosti organizácie môžeme rozdeliť do troch veľkých kategórií:

- Vedecké a technologické výskumné aktivity v oblasti geovied s osobitným zreteľom na seizmológiu, vulkanológiu a environmentálne témy.
- Inštitucionálne výskumné a servisné aktivity pre spoločnosť, verejnú správu a priemysel najmä sa vyzdvihujú činnosti vykonávané v rámci ročnej dohody v rámci desaťročnej rámcovej dohody s Úradom civilnej ochrany, pokiaľ ide o seizmické, vulkanické a tsunami riziká, a aktivity monitorovania seizmickej činnosti a pôdnych deformácií v oblastiach s ťažbou geologických zdrojov v mene Ministerstva pre hospodársky rozvoj. Inštitucionálne výskumné aktivity zahŕňajú aj činnosti týkajúce sa navrhovania, rozvoja a udržiavania výskumných infraštruktúr, z ktorých niektoré majú medzinárodnú prestíž a európsky rozmer.
- Aktivity tretieho úseku, vrátane vzdelávania, popularizácie, technologického transferu, odnoží a patentov, múzejných centier a verejnej angažovanosti.

2.2.4 NMA

Nórsky úrad pre mapovanie (NMA) [19] je nórska národná mapovacia agentúra, ktorá sa zaoberá geodéziou, hydrografickým prieskumom, katastrom a kartografiou. NMA má za úlohu definovať rámce, metodológie a špecifikácie pre Nórsku priestorovú dátovú infraštruktúru ako aj spravovať a riadiť digitálne projekty pre Nórsko. Okrem toho vykonáva merania a mapovanie na zemi aj na mori a produkuje, spravuje a zabezpečuje geografické informácie, ktoré sú považované za zodpovednosť vlády. Poskytuje tiež geodetické služby pre presné polohovanie GNSS a vytvára primárne dátové rady. Medzi jej úlohy patria tiež katastrálne informácie, zápis vlastníctva pozemkov a rozvoj elektronických služieb na distribúciu dát. Okrem toho sa podieľa na medzinárodnej spolupráci a projektoch.

2.2.5 MONITOR

MONITOR (Monitoring Ionosféry pomocou inovatívnych techník koordinovaných pozorovaní a zdrojov) [20] je projekt realizovaný v rámci Programu pre evolúciu GNSS Európskej vesmírnej agentúry. Jeho cieľom je získavanie, spracovávanie a archivácia ionosférických údajov a produktov počas aktívnych období slnečnej aktivity, vývoj zlepšených zariadení na monitorovanie scintilácie a vytvorenie siete monitorovania scintilácie na vytvorenie vhodnej infraštruktúry na analýzu vplyvu ionosféry na výkon európskych GNSS systémov (EGNOS a Ga-

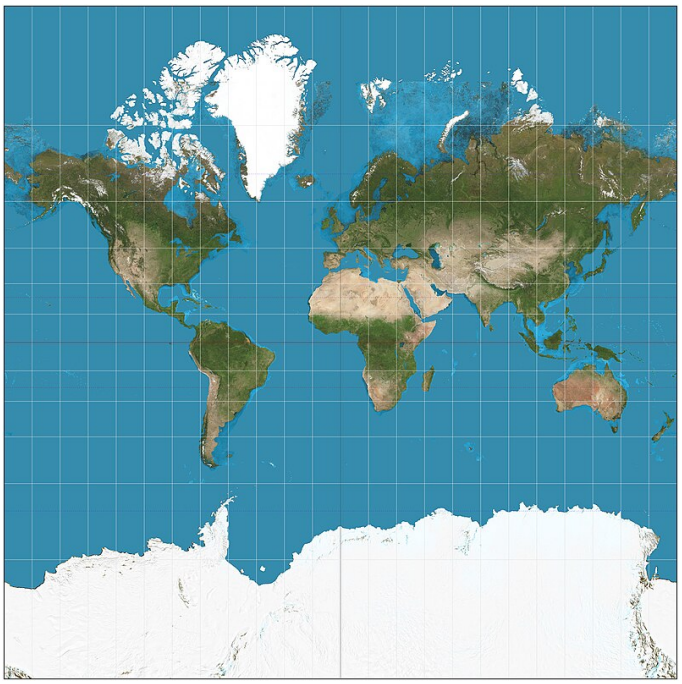
lileo). Prístroje inštalované pre tento projekt boli umiestnené na nízkych a vysokých zemepisných šírkach, ktoré sú dvoma hlavnými oblasťami, kde môže byť ionosféra príčinou poklesu výkonu EGNOS.

2.3 Spôsob vizualizácie dát

Vizualizácia máp je kľúčovým aspektom geografickej prezentácie údajov, ktorý umožňuje lepšie pochopenie a interpretáciu priestorových vzťahov. Rôzne mapové projekcie a techniky ponúkajú rôzne spôsoby, ako zobraziť geografické údaje s rôznou presnosťou a dôrazom na rôzne aspekty geografických javov. Táto kapitola preskúma niekoľko významných spôsobov vizualizácie, vrátane ich charakteristík, výhod a nevýhod ako aj ich aplikačného kontextu [21].

2.3.1 Mercatorova projekcia

Mercatorova projekcia [22] je cylindrická projekcia Obr. 2.7, ktorá zachováva uhly a smerové vlastnosti, čo ju robí vhodnou pre námornú navigáciu. Zobrazuje plochy v blízkosti rovníka s minimálnym skreslením. Tento typ projekcie sa stal obzvlášť užitočným pre objaviteľov a obchodníkov v dobách, keď sa významne zvyšovala morská navigácia a obchodné cesty. Jeho výhodou je presné zobrazenie uhlov a smerov, čo je dôležité pre navigačné účely. Avšak jeho nevýhodou je výrazné skreslenie veľkostí a tvarov, najmä v polárnych oblastiach, čo vedie k deformácii veľkostí na vyšších zemepisných šírkach.



Obr. 2.7: Reprezentácia Mercatorovej projekcie [23]

2.3.2 Ortografická projekcia

Ortografická projekcia [22] je jednou z mnohých kartografických projekcií 2.8, ktoré sa používajú na zobrazenie povrchu Zeme na mapách. Tento typ projekcie je zaujímavý tým, že nám umožňuje pozerať sa na Zem z pohľadu diaľkového bodu v priestore. Tu sú niektoré dôležité body o tejto projekcii:

- Centrum projekcie: V ortografickej projekcii je centrom projekcie bod mimo povrchu Zeme. Tento bod môže byť ďaleko v priestore, čo nám umožňuje získať pohľad na Zem ako na guľu.
- Zobrazenie polárnych oblastí: Ortografická projekcia je často využívaná na zobrazovanie polárnych oblastí. Jej presnosť vo vzdialenostiach od stredu projekcie je v týchto oblastiach významná.
- Astronomické pozorovania: Vďaka svojej schopnosti zobrazovať Zem z diaľky je táto projekcia vhodná pre potreby astronomických pozorovaní. Astronómovia ju používajú na zobrazovanie hviezd, planét a iných vesmírnych objektov.

Nevýhodou ortografickej projekcie je skreslenie, ktoré sa zvyšuje s vzdialenosťou od stredu projekcie. To vedie k deformácii vzdialených oblastí. Preto sa táto projekcia najlepšie hodí pre špecifické účely ako sú astronómia a zobrazenie polárnych oblastí.



Obr. 2.8: Reprezentácia Ortografickej projekcie [24]

2.3.3 Gnómonická projekcia

Typ Gnómonickej projekcie [22] 2.9 je charakterizovaný tým, že zobrazuje najkratšiu vzdialenosť medzi dvoma bodmi ako priamu čiaru. Tu sú niektoré dôležité body o tejto projekcii:

- Presnosť v blízkosti centra: Gnómonická projekcia je veľmi presná v miestach blízkych centru projekcie. To znamená, že najkratšie vzdialenosti medzi bodmi sú zobrazené presne. Táto vlastnosť je užitočná pre leteckú navigáciu a zobrazovanie vzdušných trás.
- Vzdialené oblasti: Nevýhodou gnómonickej projekcie je veľké skreslenie vzdialených oblastí od centra projekcie. Čím ďalej od centra, tým väčšie deformácie. Preto sa táto projekcia najlepšie hodí pre oblasti blízko centra.
- Použitie gnómonickej projekcie: Vďaka svojej presnosti je gnómonická projekcia vhodná pre leteckú navigáciu. Piloti a leteckí dispečeri ju používajú na plánovanie letových trás, kde pri plánovaní tras je dôležité zobraziť najkratšiu vzdialenosť medzi dvoma bodmi.

Aj keď má gnómonická projekcia svoje obmedzenia, jej presnosť v blízkosti centra a využitie v leteckej navigácii ju robia dôležitou súčasťou kartografického arzenálu.



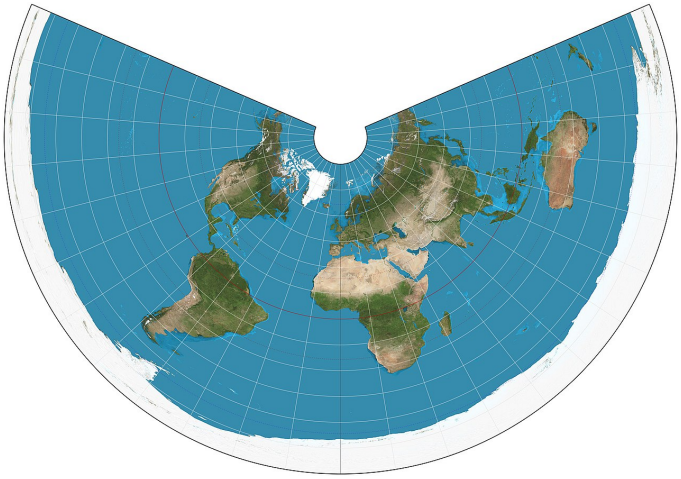
Obr. 2.9: Reprezentácia Gnómonickej projekcie [25]

2.3.4 Konická projekcia

Konická projekcia [22] je vytvorená pretínajúcimi sa kuželmi 2.10, ktoré sa dotýkajú Zeme v určených miestach. Tento typ projekcie je často používaný na zobrazovanie stredných šírok, kde je skreslenie menej výrazné ako pri polárnych oblastiach. Táto projekcia sa vyznačuje týmito bodmi:

- Centrum projekcie: V konickej projekcii je centrom projekcie bod mimo povrchu Zeme. Tento bod môže byť ďaleko v priestore, čo nám umožňuje získať pohľad na Zem z diaľky.
- Zobrazenie polárnych oblastí: Konická projekcia je často využívaná na zobrazovanie polárnych oblastí. Jej presnosť vo vzdialenostiach od stredu projekcie je v týchto oblastiach významná.
- Presnejšie zobrazenie tvarov a veľkostí: Oproti niektorým iným projekciám konická projekcia poskytuje presnejšie zobrazenie tvarov a veľkostí oblastí.
- Skreslenie so vzdialenosťou: Podobne ako pri ostatných projekciách, skreslenie sa zvyšuje so vzdialenosťou od stredu projekcie.

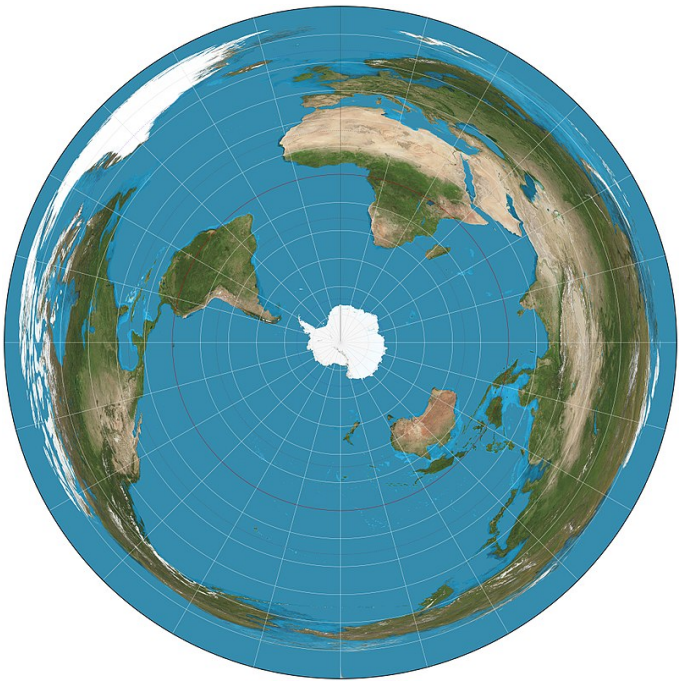
Tento typ projekcie je vhodný pre špecifické účely ako sú zobrazenie stredných šírok a je často využívaný v kartografii a geografii .



Obr. 2.10: Reprezentácia Konickej projekcie [26]

2.3.5 Azimutálna ekvidištantná projekcia

Azimutálna ekvidištantná projekcia [22] zobrazuje vzdialenosti a smer od centra projekcie presne 2.11. Tento typ projekcie sa často používa na zobrazovanie polárnych oblastí, kde je jeho presnosť vo vzdialenostiach od stredu projekcie významná. Výhodou azimutálnej ekvidištantnej projekcie je jej presné zobrazenie vzdialeností a smerov od centra projekcie, čo ju robí vhodnou pre niektoré navigačné a astronomické aplikácie. Avšak, obdobne ako pri ostatných projekciách, skreslenie sa zvyšuje so vzdialenosťou od stredu projekcie, čo môže viesť k deformáciám vzdialených oblastí.



Obr. 2.11: Reprezentácia Azimutálnej ekvidištantnej projekcie [27]

Po dôkladnom zvážení všetkých aspektov a charakteristík rôznych projekcií Zeme sme sa nakoniec rozhodli pre jednu konkrétnu projekciu, čo sa týka nášho projektu. Toto rozhodnutie bolo podmienené niekoľkými dôležitými faktormi a nasledujúce dôvody nám pomohli v tomto rozhodovacom procese:

- Presnosť v blízkych oblastiach okolo jej stredu.
- Zobrazenie Zeme z veľkej vzdialenosti, čo zjednodušuje interpretáciu geografických informácií.
- Vytvorenie príjemného obrazu Zeme, ktorý je jednoduchý pre používateľa.
- Ortografická projekcia umožňuje zdôrazniť určité oblasti Zeme a umiestniť ich do stredu mapy. Táto schopnosť nám umožňuje lepšie zobraziť a analyzovať konkrétne regióny, ktoré sú pre náš projekt kľúčové.

Z týchto dôvodov sme sa rozhodli pre Ortografickú projekciu pre náš projekt.

3 Opis modelu strojového učenia

Strojové učenie je odvetvie umelej inteligencie (AI), ktoré umožňuje počítačovým systémom učiť sa z údajov a zlepšiť ich výkonnosť pri konkrétnej úlohe bez toho, aby boli výslovne naprogramované. Pri strojovom učení sú algoritmy navrhnuté tak, aby identifikovali vzory a vzťahy vo veľkých súboroch údajov a využívali tieto poznatky na vytváranie predpovedí alebo rozhodovaní o nových údajoch.

V nasledujúcej časti si predstavíme model, ktorý sme s využili na získavanie prognóz dát, ktoré sú veľkou podstatou tejto práce. Účelom tohto detailného opisu je poskytnúť zrozumiteľný pohľad na štruktúru a funkčnosť tohto modelu, ktorý nám poskytuje predikcie s vysokou presnosťou. Proces vývoja a trénovania tohto modelu bol predmetom diplomových prác v minulosti [28] [29]. Jeho efektívnosť a spoľahlivosť boli potvrdené v rámci týchto prác, čo posilňuje jeho dôveryhodnosť pre analýzu a prognózovanie dát.

3.1 Predspracovanie údajov

Predspracovanie údajov je základným krokom v pracovných postupoch strojového učenia, ktorý zahŕňa transformáciu nespracovaných údajov do formátu vhodného na trénovanie modelov strojového učenia. Zvyčajne zahŕňa niekoľko čiastkových krokov ako je čistenie údajov, škálovanie príznakov, príznakové inžinierstvo a transformácia údajov.

Aby boli časové rady vhodné pre analýzu a modelovanie, je potrebné ich hodnoty transformovať špecifickým spôsobom, čo sa nazýva normalizácia časových radov. To pomáha vytvárať modely, ktoré sú odolnejšie voči rozmanitosti vstupných údajov a umožňujú modelu ľahšie učiť sa vzorce v dátach. Ako techniku normalizácie bola použitá Min-Max, ktorá upravuje údaje tak, že ich hodnoty sú medzi minimálnymi a maximálnymi hodnotami. Sú to hodnoty 0 a 1, pôvodné hodnoty boli proporcionálne zmenšené v tomto rozsahu. Táto normalizácia sa ukázala ako veľmi dôležitá pre proces učenia, najmä v architektúrach hlbokého učenia.

Ako ďalšie bolo použité rozdelenie údajov do okien, vďaka čomu sa údaje rozdelia do rôznych časových období a intervalov. Rozmery okna a horizontu (window and horizon) sú kľúčové faktory, ktoré môžu mať vplyv na kvalitu predpovedí. Optimálne rozmery týchto parametrov sa odvíjajú od charakteristiky dát časových radov a konkrétnej úlohy, ktorá bola riešená. Preto je vždy vhodné skúsiť rôzne kombinácie rozmerov okna a horizontu a hodnotiť efektívnosť modelu, aby sa identifikovali optimálne hodnoty.

V kontexte metódy posuvného okna je kľúčové riadne zaobchádzať s absentujúcimi hodnotami.Tento problém nastáva, keď konkrétna premenná nemá dostatok dátových bodov, čo vedie k neúplným informáciám a potenciálne poškodzuje presnosť a spoľahlivosť modelov[30].

Existujú tri hlavné typy chýbajúcich údajov:

- Chýbajúce úplne náhodne (MCAR): MCAR je špecifický typ chýbajúcich údajov, pri ktorom je pravdepodobnosť, že dátový bod chýba, úplne náhodne a nezávisle od akejkoľvek inej premennej v datasete[30].
- Chýbajúce náhodne (MAR): MAR je typ chýbajúcich údajov, kde pravdepodobnosť chýbajúceho dátového bodu závisí od hodnôt iných premenných v datasete, ale nie na samotnej chýbajúcej premennej[30].
- Chýbajúce nie náhodne (MNAR): MNAR je najťažší typ chýbajúcich údajov, s ktorým sa treba vysporiadať. Vyskytuje sa, keď je pravdepodobnosť, že dátový bod chýba, spojená s chýbajúcou hodnotou samotnou.[30]

Existujú rôzne metódy na riešenie chýbajúcich údajov, napríklad:

- Odstránenie: Táto metóda sa bežne používa na riešenie nulových hodnôt. Je jednoduchá na implementáciu a nevyžaduje manipuláciu s dátami.
- Imputácia: Imputácia je proces nahradzovania chýbajúcich, nesprávnych alebo nekonzistentných hodnôt inými hodnotami.
- Prediktívny model: Táto metóda sa používa na predpovedanie chýbajúcich hodnôt na základe iných hodnôt v datasete.

V popisovanom modely bola vybraná možnosť odstránenia, kde sme mali dostatočné množstvo dát, takže aj po odstránení okien s chýbajúcimi hodnotami bolo prítomných stále dostatok údajov pre trénovanie a testovanie.

Nevyvážené časové rady predstavujú dôležitý aspekt analýzy časových radov, ktoré sa zameriavajú na rôzne charakteristiky, ovplyvňujúce presnosť modelovania a predikcie. Tieto rady majú nerovnomerné rozdelenie hodnôt v čase, pričom

niektoré obdobia môžu mať viac pozorovaní ako iné. Tento stav môže byť spôsobený rôznymi faktormi ako sú chýbajúce hodnoty, nerovnomerné vzorkovanie alebo špecifické udalosti ovplyvňujúce počet pozorovaní. Pri modelovaní nevyvážených časových radov sa často stretávame s výzvami, ktoré sa týkajú predikcie budúcich hodnôt a váženia pozorovaní na základe ich dôležitosti alebo frekvencie. Existujú rôzne metódy riešenia takýchto situácií, medzi ktoré patrí, kde v tomto modely sa osvedčila interpolácia chýbajúcich hodnôt na základe existujúcich údajov.

3.2 Model hlbokého učenia

Hlboké učenie je podmnožinou strojového učenia v oblasti umelej inteligencie. Tento prístup sa vyznačuje použitím hlbokých neurónových sietí, ktoré majú schopnosť učiť sa z veľkého množstva neštruktúrovaných alebo neoznačených údajov. Často sa tiež označuje ako hĺbkové neurálne učenie.

- Hlboké neurónové siete: Používajú viacvrstvové perceptróny, ktoré majú viac skrytých vrstiev. Týmto spôsobom sa model môže naučiť sofistikovanejšie vzorce a reprezentácie.
- Bez dozoru: Hĺbkové učenie umožňuje modelom učiť sa bez dozoru z dát. To znamená, že nemusíme mať označené trénovacie dáta, čo je veľkou výhodou pri spracovaní veľkého množstva údajov.
- Komplexné úlohy: Hĺbkové učenie je vhodné na riešenie komplexných úloh ako sú rozpoznávanie obrazov, spracovanie prirodzeného jazyka, generovanie textu a mnoho ďalších.

Hĺbkové učenie je v súčasnosti veľmi populárne a nachádza uplatnenie v rôznych oblastiach, od medicíny až po autonómne vozidlá. Je to dynamická oblasť, ktorá sa neustále vyvíja a prináša nové techniky a metódy.

3.2.1 Predikcia časových radov na základe minulých hodnôt

Predikcia časových radov na základe minulých hodnôt je metóda v analýze časových radov, ktorá sa používa na predikciu budúcich hodnôt na základe historických dát. Táto metóda sa zakladá na predpoklade, že budúce hodnoty časového radu sú lineárne závislé od jeho minulých hodnôt. Čím viac minulých hodnôt sa zahrnie do modelu, tým presnejšie by mala byť predikcia budúcich hodnôt.

Predikcia časových radov na základe minulých hodnôt pomocou hlbokého učenia kombinuje princípy autoregresnej predikcie s technikami hlbokého učenia. Tento prístup umožňuje modelom flexibilne zachytávať zložité vzory a závislosti v časových radoch a poskytuje výkonné nástroje na predikciu budúcich hodnôt.

Existuje niekoľko spôsobov implementácie:

- Rekurentné neurónové siete (RNN): RNN siete sú štruktúry neurónových sietí, ktoré majú schopnosť zachytávať časovú závislosť v dátach. Používa sa to na autoregresívne predikcie tým, že sa modeluje vývoj časového radu v čase a využíva sa na predikciu budúcich hodnôt na základe jeho minulých hodnôt.

- Rekurentné neurónové siete s dlhodobou krátkodobou pamäťou (LSTM): LSTM sú špeciálne typy RNN, ktoré majú schopnosť efektívnejšie zachytávať dlhodobé závislosti v dátach. V autoregresívnych predikciách môžu LSTM siete účinne modelovať zložité dynamiky v časových radoch a poskytovať presné predikcie.

- Siete s uzavretými opakujúcimi sa jednotkami (GRU): GRU siete sú ďalším typom RNN, ktoré sú podobné LSTM, ale majú jednoduchšiu architektúru. Aj keď majú menej parametrov ako LSTM, môžu byť účinné pri autoregresívnych predikciách časových radov.

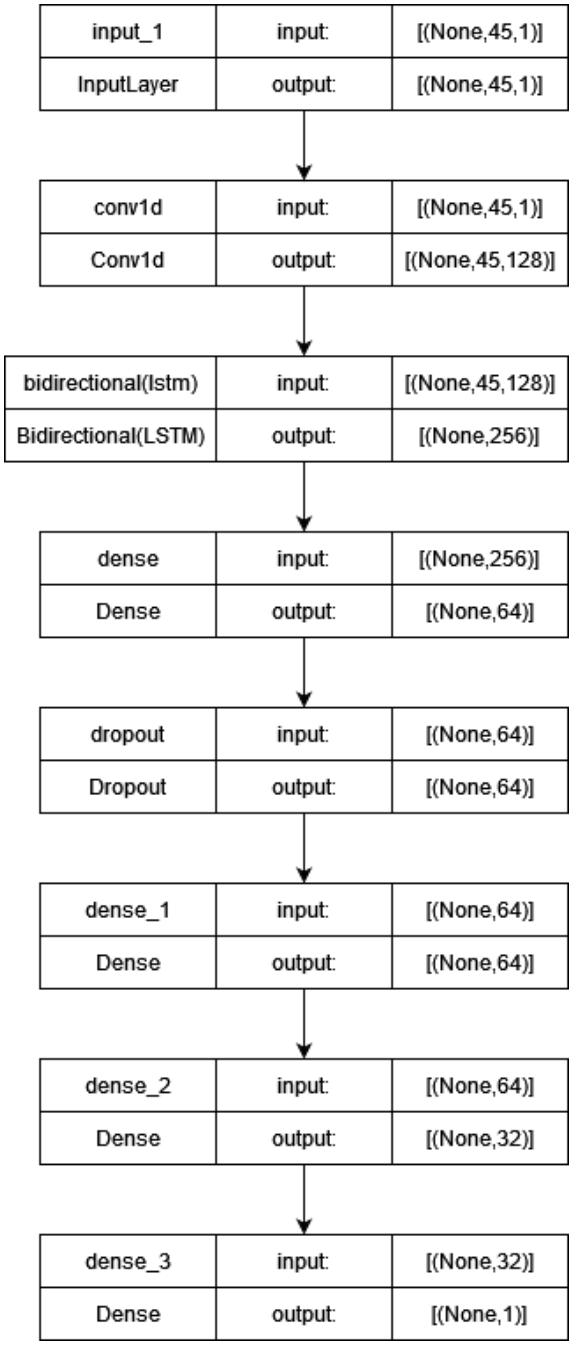
- Transformery: Transformer architektúra, ktorá bola pôvodne navrhnutá pre spracovanie prirodzeného jazyka, sa tiež ukázala ako účinná pri predikcii časových radov. Transformer modely dokážu paralelne spracovávať dlhé sekvencie a efektívne zachytávať vzory v časových radoch.

Pri implementácii autoregresívnych predikcií pomocou hlbokého učenia je dôležité zvoliť vhodnú architektúru siete, optimalizovať hyperparametre a vhodne predspracovať dáta. Tento prístup umožňuje modelom flexibilne prispôsobiť sa rôznym charakteristikám časových radov a poskytnúť presné a spoľahlivé predikcie.

Štruktúra modelu

Model je definovaný ako sekvencia vrstiev, ktoré spracúvavajú vstup a generujú výstup. Vstup do modelu je definovaný ako pole s tvarom (Phi60_Sig1.shape[1],1) a toto pole je prenesené ako vstup do prvej vrstvy modelu.

Začína sa s konfiguráciou 1D konvolučnej vrstvy, ktorá je vybavená 128 filtrami a má jadro s veľkosťou 2. Veľkosť jadra v tejto konvolučnej vrstve predstavuje dôležitý parameter, ktorý určuje rozsah údajov zahrnutých do výpočtu konvolúcie. Zvolená hodnota 2 indikuje, že každá konvolúcia zohľadňuje dva susedné prvky vstupných dát, čím umožňuje modelu zachytiť subtílne vzory a vzťahy medzi susednými údajmi.



Obr. 3.1: Grafické zobrazenie autoregresívneho modelu

Parameter padding, nastavený na hodnotu "same", hovorí o pridávaní okrajových hodnôt k vstupným dátam. Táto stratégia zabezpečuje, že veľkosť výstupu zostáva rovnaká ako veľkosť vstupu. Proces pridávania okrajových hodnôt sa uskutočňuje automaticky a umožňuje sieť zachovať integritu informácií na okrajoch dátových sekvencií počas operácií konvolúcie.

Výstup z konvolučnej vrstvy je následne vstupom do obojsmerného LSTM modelu s 128 jednotkami. Vyhodnocovanie vstupu v oboch smeroch umožňuje modelu lepšie trénovanie.

Pri každom aktualizačnom kroku sa náhodne vyradí 10% neurónov, vďaka čomu je zabránené pretrénovaniu modelu, to bolo dosiahnuté tým, že hodnoty dropout a reccurent dropout boli nastavené na hodnotu 0,1. Ďalej sa prechádza cez Dense vrstvu , kde sa nachádza 64 jednotiek s aktivačnou funkciou ReLU. Vystúp z tejto vrstvy následne prejde cez Dropout s hodnotou 0,2 pre zníženie pretrénovania. Ako ďalšie sa prechádza cez druhú Dense vrstvu, ktorej veľkosť je 64 jednotiek , kde aktivačná funkcia zostava rovnaká. Vystúp tejto vrstvy je spracovávaný ďalšou Dense vrstvou , ktorá má 32 jednotiek a aktivačnú funkciu ReLU. Výstup tejto vrstvy prejde cez koncovú Dense vrstvu, ktorá ma lineárnu aplikačnú vrstvu a počet jednotiek je 1.

Ako ďalšie bolo potrebné optimalizovať nastavenia modelu pomocou trénovania . Tak sa vytvoril balík s údajmi, ktoré boli vopred upravené s rôznou hodnotou okien a posunov. Ako ďalšie bolo potrebne získať potrebne hodnoty pre okna (windows) a taktiež pre časový posun horizontov (horizons). Tieto dáta sa podarilo získať na základe experimentov s viacerými hodnotami, kde bola vyhodnotená najlepšia výkonnosť modelu. Pre selekciu okna sa experimentovalo s hodnotami 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 180, kde tento model mal najlepšiu výkonnosť s použitím hodnoty 45. Následne bolo potrebné získať časový posun horizontov. Podobne ako pri oknách aj tu sa rozhodovalo medzi viacerými hodnotami 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60. Pri tomto experimente sa už používala pevná veľkosť okna s hodnotou 45. Pri vyhodnotení týchto experimentov s viacerými hodnotami pre časový posun horizontov sa zistilo, že modely dlhším časovým posunom (hodnoty 50, 60) majú nižšiu presnosť ako modely, ktoré mali pre časový posun nižšiu hodnotu (1, 5). Hodnoty pre AUC-ROC a AUC-PR sa vyznačujú vyššou veľkosťou pre modely s dlhším posunom, vďaka čomu bolo zistené, že tieto modely sú lepšie pre určenie pozitívnych javov.

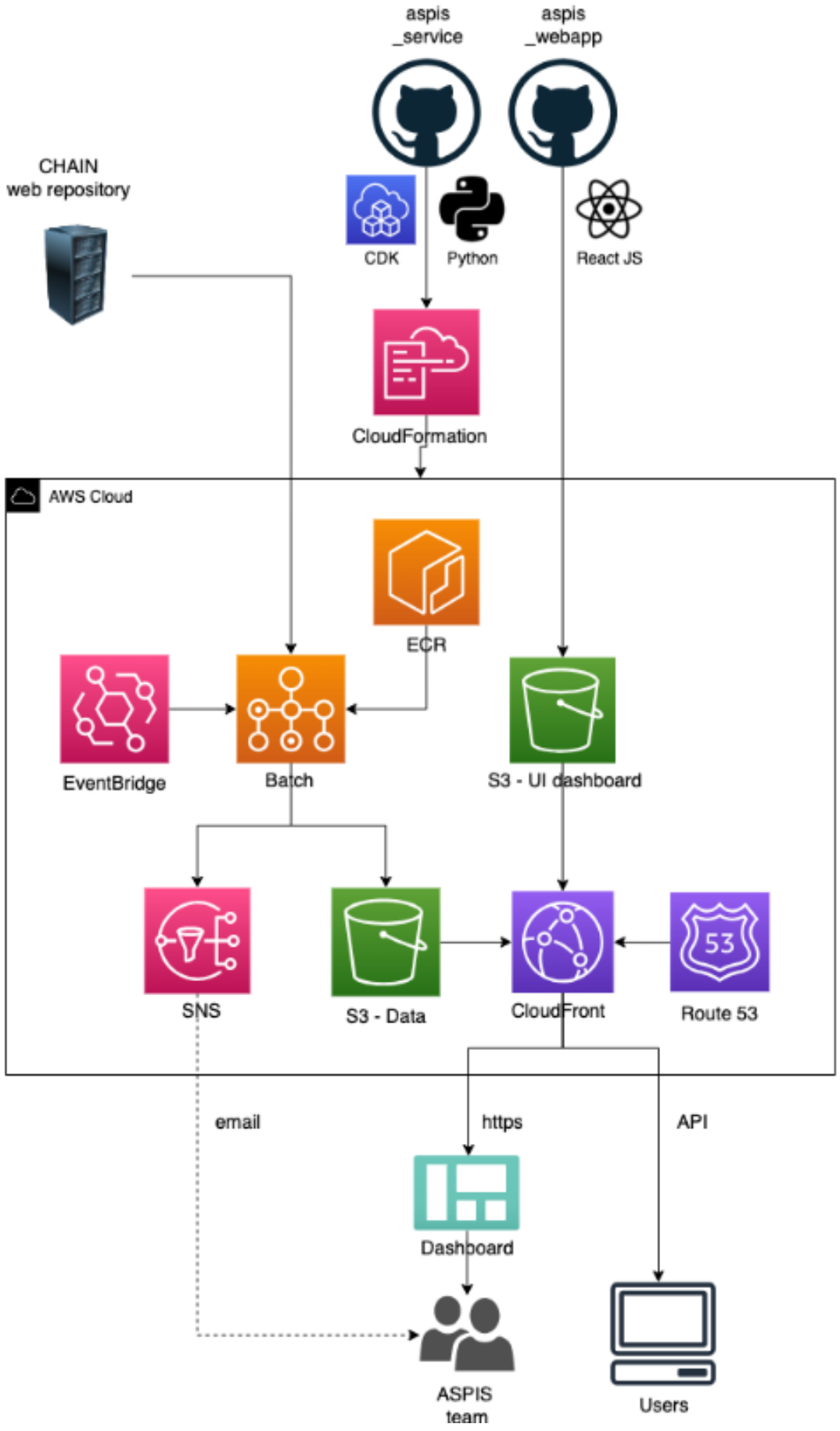
4 ASPIS - Autonómna služba na predpovedanie ionosférických scintilácií

Autonómna služba predpovedania ionosférických scintilácií (ASPIS) predstavuje sofistikovaný nástroj založený na analýze a spracovaní údajov, ktorý sa venuje monitorovaniu a prognózovaniu výskytu ionosférických scintilácií. Táto služba využíva zložité algoritmy a modely na spracovanie vstupných údajov a generovanie aktuálnych predpovedí a prognóz týkajúcich sa scintilácií v ionosfére. Svojou povahou ASPIS predstavuje cenný nástroj, ktorý môže prispieť k rozšíreniu a posilneniu siete služieb Európskej vesmírnej agentúry (ESA), špecificky k Ionosferickému expertnému centru (I-ESC). Požiadavky pre návrh ASPIS služby boli nasledovné:

- Vytvorenie samostatnej softvérovej služby, ktorá bude spracovávať potrebné vstupné údaje, vykonávať automatické spracovanie údajov a predpovede pomocou nasadených modelov strojového učenia.
- Vytvorenie Python skriptu pre automatické získavanie a spracovanie dát, ktorý bude následne nasadený na cloudovú platformu AWS, kde sa musí brať ohľad na všeobecné zásady bezpečnosti, škálovateľnosti a spoľahlivosti.
- Vytvorenie služby, ktorá bude poskytovať výstupy pre geografické lokality pokryté meraniami prijímačov na monitorovanie ionosferických scintilácií. Poskytnutie informácii o výskyte scintilácie pre konkrétne miesto v aktuálnom čase a taktiež poskytnutie predpovede o hodinu vopred na základe dostupných údajov z prijímačov.

4.1 Architektúra služby ASPIS

V prvom rade sme museli zvážiť akú technológiu použiť na vizualizáciu predikcií a ako chceme, aby naša stránka vyzerala ako máme v úmysle prepojiť jednotlivé programy. Preto sme potrebovali vytvoriť architektúru 4.1 a nájsť najjednoduchší spôsob, ktorý nám umožní automatizovane získavať jednotlive dáta z prijímačov, ktoré následne budú upravované pre potreby vopred navrhnutého modelu strojového učenia. Po úprave týchto dát ich vložíme do modelu, vďaka čomu získame finálne dáta ionosferických scintilácií pre aktuálny čas a predikciu o hodinu dopredu. Ako ďalšie je potrebne vytvoriť spôsob, ktorý bude finálne dáta ukladať na úložisko odkiaľ neskôr vieme tieto dáta získavať a využívať ich pre našu vizualizáciu ionosferických scintilácií. Celý tento priebeh je potrebné navrhnúť tak aby fungoval úplne samostatne a v prípade nejakej chyby nám o tom poskytol informáciu. Vďaka tomu sme vytvorili diagram, ktorý môžeme vidieť na obrázku, kde jednotlive komponenty sú popísane v ďalších častiach našej práce.



Obr. 4.1: Diagram pre ASPIS architektúru

4.1.1 Nástroje Amazon Web Services (AWS)

Amazon Web Services (AWS) [31] je služba cloud computingu od spoločnosti Amazon, ktorá ponúka sadu cloudových služieb a infraštruktúry. Prostredníctvom internetu poskytuje na požiadanie prístup k výpočtovému výkonu, úložisku, databázam a ďalším službám s možnosťou platby len za to, čo sa používa. AWS ponúka široké spektrum služieb, viac ako 200, ktoré pokrývajú všetko od ukladania dát a databáz, až po nástroje na strojové učenie a vývoj mobilných aplikácií. Výhodou cloudových služieb je škálovateľnosť. AWS funguje na modeli platíte koľko používate, takže platíte len za využívané prostriedky. To môže byť nákladovo efektívna voľba pre firmy všetkých veľkostí. Celkovo je AWS výkonná a všestranná platforma, ktorá sa dá využiť pre širokú škálu aplikácií. Pri našej implementácii využívame vďaka AWS službám model vývoja softvéru, pri ktorom implementácia kódu sa realizuje bez potreby riadenia, alebo správy serverovej infraštruktúry, čo sa označuje ako Serverless. Medzi hlavné výhody serverless patrí:

- Nulová správa infraštruktúry, ktorá zapríčiňuje, že sa nemusíme starať o riadenie serverov, ich škálovanie alebo údržbu. O všetky tieto úkony sa stará poskytovateľ cloudovych služieb.
- Automatická škálovatelnosť podľa aktuálnej záťaže aplikácie nám zaručuje, že naša aplikácia bude schopná efektívne spracovávať veľké množstvo požiadaviek bez nutnosti ručného škálovania alebo konfigurácie.
- Platenie len za skutočne využívanie zdrojov ako sú výpočtový čas, pamäť a sieťová prevádzka.
- Zníženie času potrebného pre vývoj a nasadenie nových funkcií a projektov.
- Vysoká dostupnosť a odolnosť vďaka tomu, že serverless služby sú navrhnuté tak aby boli vysoko dostupné a odolné voči výpadkom.

Vďaka týmto výhodám je Serverless model čoraz populárnejší medzi vývojármi a organizáciami, preto sme sa aj my rozhodli využívať tento model vývoja softvéru.

AWS Batch

AWS Batch [32] je služba, ktorej cieľom je pomôcť pri spúšťaní úloh dávkového počítania na veľké množstvo výpočtových zdrojov. Táto služba by mala odstrániť

kapacitné obmedzenia, znížiť náklady na výpočtovú techniku a poskytnúť výsledky rýchlo. My túto službu využívame na spúšťanie výpočtových úloh na veľkom množstve výpočtových zdrojov, kde spracovávame dáta a získavame predikcie, ktoré sa následne odošlú a uložia na S3.

Amazon S3

Nielen dáta potrebné pre predikciu, ale už aj samotne predikované dáta a celý model strojového učenia sme uložili na S3 bucket [33], ktorý poskytuje úložisko objektov prostredníctvom webovej služby v cloude. Amazon S3 využíva škálovateľnú infraštruktúru úložiska. Amazon S3 môže ukladať akýkoľvek typ objektu, napríklad: úložisko dátových archívov, webové aplikácie, zálohy, obnovy po katastrofách, dátové jazerá pre analýzu v cloude. Amazon S3 spravuje dáta pomocou architektúry úložiska objektov. Výhodami sú škálovateľnosť, vysoká dostupnosť a nízka latencia s vysokou odolnosťou. Základnými úložnými jednotkami Amazon S3 sú objekty, ktoré sú usporiadané do košov (buckets).

Amazon CloudFront

Amazon CloudFront [34] je vynikajúci poskytovateľ obsahu (CDN), ktorý je súčasťou širšieho ekosystému Amazon Web Services (AWS). Vďaka tejto globálnej sieti proxy serverov poskytujeme našim používateľom rýchly a spoľahlivý prístup k našim dátam.

Využívaním CloudFront sme dosiahli výrazné zlepšenie rýchlosti načítavania obsahu pre našich používateľov, pretože ich dáta boli uložené bližšie k ich geografickému umiestneniu. Taktiež sme využívali CloudFront na prezentáciu statických webových stránok, ktoré sme ukladali na úložisko Amazon S3. Tento prístup nám umožnil zabezpečiť rýchle dodanie obsahu a výrazne zvýšiť škálovateľnosť našich služieb.

AWS CloudFormation

Služba, ktorá poskytuje používateľom možnosť modelovať a spravovať infraštruktúrne zdroje automatizovaným a bezpečným spôsobom. Pomocou CloudFormation [35] môžeme definovať a poskytovať zdroje infraštruktúry AWS pomocou šablóny IAC (Infrastructure as Code) vo formáte JSON alebo YAML. Pomocou šablón môžu používatelia vytvárať, aktualizovať a odstraňovať kolekciu zdrojov spoločne ako jeden celok známy ako zásobník. Šablóna CloudFormation sa skladá z niekoľkých častí vrátane zdrojov, parametrov, mapovaní, podmienky, výstupy

a metadáta. Najdôležitejšou časťou sú zdroje, ktoré definujú AWS zdroje, ktoré sa majú vytvoriť alebo upraviť. Ak chceme vytvoriť tieto CloudFormation šablóny je vhodné použiťAWS Cloud Development Kit (CDK), ktorý umožňuje ich prípravu v bežne používaných programovacích jazykoch (napr. Python).

Amazon EventBridge

Bezserverová zbernica udalostí je revolučný nástroj [36], ktorý spojuje aplikácie a služby bez potreby tradičných serverových infraštruktúr. Táto inovatívna technológia funguje ako spojovací bod medzi rôznymi aplikáciami, softvérom ako službou (SAAS) a službami AWS, umožňuje nám zdieľať údaje. Vďaka tomuto môžeme odosielať udalosti do Amazon EventBridge vždy, keď sa v našej S3 zmenia alebo pribudnú dáta.

Amazon Elastic Container Registry (ECR)

Plne spracovateľný register kontajnerov [37] predstavuje revolučný prístup k hostingu, ktorý nám poskytuje vysokovýkonné prostredie pre nasadzovanie obrazov aplikácií a artefaktov kdekoľvek, kde je to potrebné. S týmto registrom sme schopní jednoducho presunúť obrazy kontajnerov do systému Amazon ECR (Amazon Elastic Container Registry) bez nutnosti inštalácie komplexnej infraštruktúry, alebo záťaže na škálovanie.

Amazon ECR nám umožňuje ukladať a spravovať naše kontajnery s vysokou spoľahlivosťou a bezpečnosťou a to bez potreby použitia akéhokoľvek ďalšieho nástroja na správu. Tento plne spravovateľný register je ľahko dostupný a integrovateľný do našej existujúcej infraštruktúry, čo nám poskytuje flexibilitu a efektívnosť pri našich nasadzovaných procesoch.

Amazon Route 53

Systém názvov domén (DNS) [38] je kľúčovou súčasťou našej infraštruktúry, ktorý sa vyznačuje svojou výnimočnou dostupnosťou a škálovateľnosťou. Tento systém nám umožňuje efektívne smerovať požiadavky používateľov na naše internetové aplikácie, či už sú umiestnené na platforme AWS, alebo v našej lokálnej infraštruktúre. Vďaka DNS sme schopní spravovať a konfigurovať naše doménové mená s vysokou spoľahlivosťou a rýchlosťou, čo zaručuje minimálnu latenciu a maximálnu dostupnosť pre našich používateľov.

Amazon Simple Notification Service (SNS)

Táto služba [39] pre vzájomnú komunikáciu medzi aplikáciami predstavuje základný kameň nášho informačného ekosystému, umožňujúc aplikáciám komunikovať a posielať správy medzi sebou s minimálnym úsilím. S touto službou sme schopní poskytovať oznámenia, presne podľa našich preferencií a to prostredníctvom rôznych koncových bodov ako HTTPS, e-maily, SMS, alebo push oznámenia.

4.2 Predspracovanie vstupných dát

Aktuálne realizujeme vizualizáciu dát pre Kanadu a Európu. Využívame informácie z monitorovacích staníc CHAIN, INGV a IMPC. Zber dát prebieha prostredníctvom skriptov v jazyku Python a tieto získané údaje sú následne spracované v našom modeli. Čím viac dát náš model získava, tým presnejšie môže predikovať. Smerom k budúcnosti plánujeme rozšírenie našej aplikácie tak, aby dokázala získavať a spracovávať údaje z rôznych regiónov sveta, zahŕňajúc Európu a Kanadu. Tento prístup nám umožní poskytovať ešte spoľahlivejšie a komplexnejšie analýzy a prognózy environmentálnych dát.

Aby sme zohľadnili nielen časovú, ale aj priestorovú štruktúru scintilácií, rozdelili sme Zem do rovnako vzdialených intervalov. Celkový počet týchto intervalov je 14 710 a sú to vzdialené od seba 200 km.

Na výpočet ich polôh sa použil vzorec:

$$dA = r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi = r \, d(r\cos\theta) \, d\phi = r \, dz \, d\phi. \tag{4.1}$$

Tento vzorec predstavuje diferenciálne elementy plochy v sférickej súradnicovej sústave. Pomocou tohto vzorca môžeme vypočítať diferenciálne plochy v priestore v sférickej súradnicovej sústave. Rozloha malého plošného elementu v sférických súradniciach je daná dvojitým integrálom, kde :

- r: je polomer sféry
- ϕ je zemepisná šírka
- θ je zemepisná dĺžka

V poradí bolo potrebné vypočítať IPP každého merania, t. j. bod, v ktorom sa pretína čiara spájajúca prijímač a družicu ionosféry. Na tento účel sme použili rovnice:

$$x = \sqrt{pR^2 + r^2 + 2Rr \cdot \sin(h)} \tag{4.2}$$

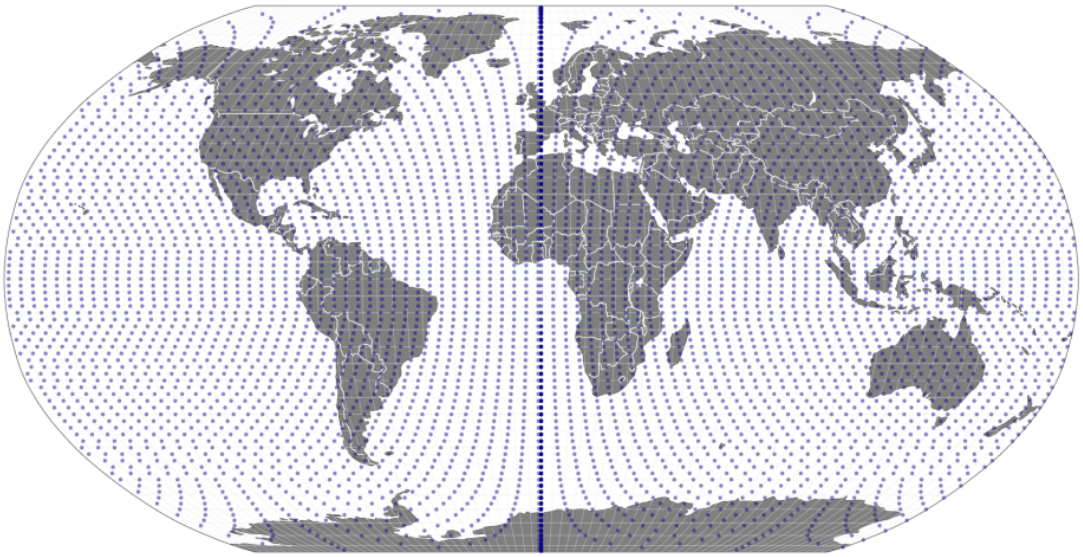
$$\phi_x = \arcsin\left(\frac{(R + r\sin(h))\sin(\phi) + r\cos(h)\cos(A)\cos(\phi)}{|x|}\right) \tag{4.3}$$

$$l_x = \arcsin\left(\frac{(R + r\sin(h))\sin(\phi)\sin(l) - r\cos(h)\cos(A)\sin(\phi)\sin(l) + \sin(A)\cos(l)}{(R + r\sin(h))\sin(\phi)\cos(l) - r\cos(h)\cos(A)\sin(\phi)\cos(l) - \sin(A)\sin(l)}\right) \tag{4.4}$$

Vyznám jednotlivých premenných :

- lx: Je zemepisná šírka (zemepisná poloha) bodu x v priestore.
- R: Je polomer sféry.
- r: Je vzdialenosť bodu x od osi z.
- h: Je vzdialenosť bodu od roviny xy.
- ϕ: Uhlová pozícia bodu v priestore.
- A: Rotácia v rovine xy.

Uvažovali sme nad výškou ionosféry 350 km nad zemským povrchom. Každé meranie sme potom priradili k najbližšiemu binu. Na obrázku 4.2 môžeme vidieť prehľad binov Zeme.



Obr. 4.2: Reprezentácia binov celej Zeme. Zobrazené sú stredné biny s rozlíšením 1/8 v Robinsonovej projekcii

CHAIN stanice a ich dáta

Celkový počet CHAIN staníc je 26 , kde momentálne nie sú všetky aktívne. Vďaka týmto staniciam získavame súbory vo forme .ismr. Obsahujú 62 stĺpcov s rôznymi dátami, no pre nás sú najpodstatnejšie elevácia a azimut GNSS satelitu, čas, zemepisná dĺžka a šírka prijímača, ionosférický parameter v našom prípade σ_ϕ.

V rámci tohto projektu sme prevzali údaje len z 18 staníc meraných prijímačom Septentrio Po-laRxS, aby sme sa vyhli možnému skresleniu údajov zo staníc, ktoré používajú prijímač NovAtel. Údaje pokrývajú obdobie od mája 2013 do decembra 2021. Keďže jednotlivé stanice neboli krížovo kalibrované, vykonali sme štatistickú analýzu na posúdenie správnosti meraní. Zamerali sme sa len na fázovú scintiláciu ($\sigma\phi$) označenú ako "Phi60_Sig1", keďže ide o cieľový parameter našej predpovede. Odstránili sme 3 stanice s veľmi malým počtom údajov a 4 stanice, ktorých rozsah meraní $\sigma\phi$ sa výrazne líšil od ostatných staníc. Konečný zoznam nakoniec vybraných 11 staníc.

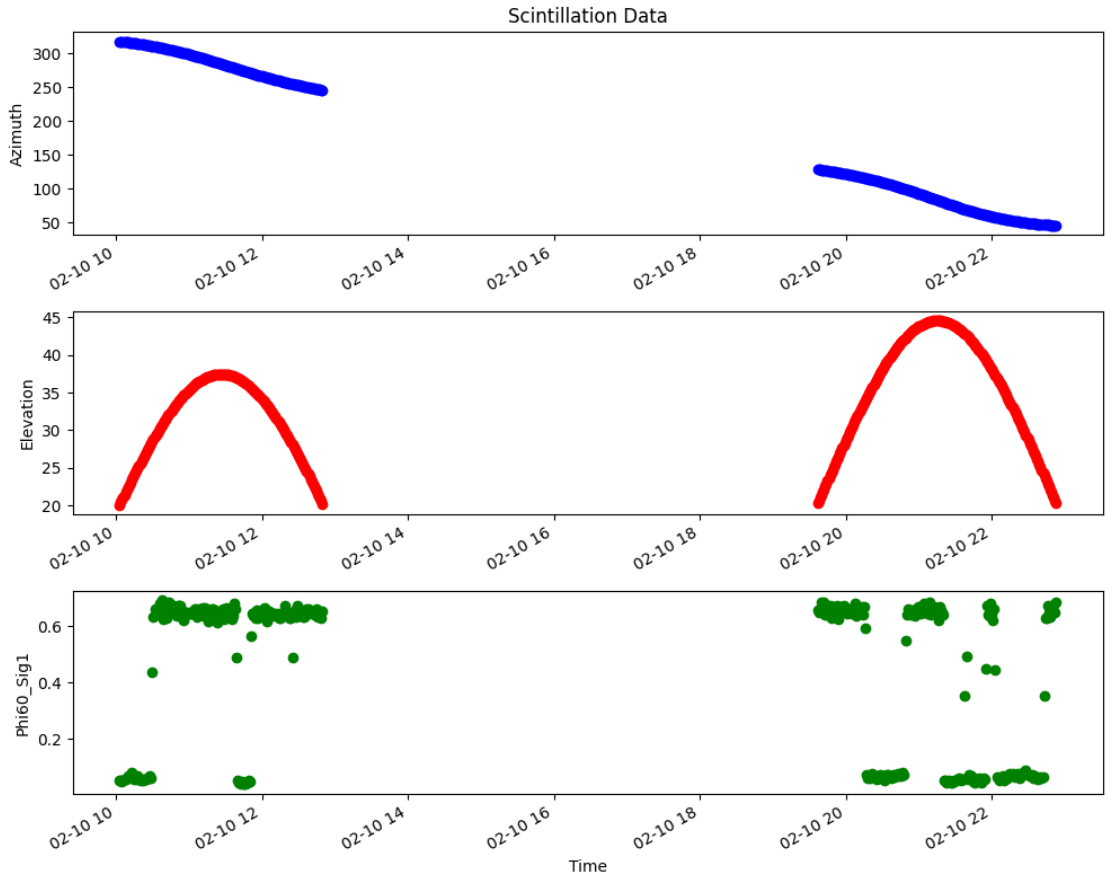
Umiestnenie	Abbr	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	$\sigma\phi$ odľahlé prahové hodnoty
Arctic Bay	arc	73.004093	274.973959	>2.5
Arviat	arv	61.097941	265.928533	>8
Churchill	chu	58.759279	265.913402	>8
Coral Harbour	cor	64.188201	276.650145	>8
Fort Simpson	fsi	61.756554	238.771946	>8
Fort Smith	fsm	60.026095	248.067109	>8
Gjoa Haven	gjo	68.632630	264.151719	>8
Fort McMurray	mcm	56.649535	248.779728	>8
Rabbit Lake	rab	58.226935	256.322945	>8
Rankin Inlet	ran	62.824700	267.885291	>8
Sachs Harbour	sac	71.990630	234.739381	>8

Tabuľka 4.1: Zoznam a údaje o jednotlivých CHAIN staniciach, z ktorých boli získavané dáta

IMPC stanice a ich dáta

Poskytnuté scintilačné indexy sa pozorujú pomocou prijímačov GNSS s vysokou rýchlosťou, ktoré DLR prevádzkuje na všetkých viditeľných spojeniach GNSS podľa konfigurácie prijímačov GNSS. Amplitúdový scintilačný index S4 je definovaný ako štandardná odchýlka vzoriek výkonu vysokorýchlostného (napr. 50 Hz) surového signálu normalizovaná na priemerný výkon signálu v intervale 60 sekúnd. Index fázovej scintilácie $\sigma\phi$ je definovaný ako štandardná odchýlka 50 Hz detrendovaných vzoriek fázy nosiča spriemerovaných v intervale 60 sekúnd. Obe tieto hodnoty sa vytvárajú ako výstup prijímačov GNSS každú minútu.

Podobne ako pri dátach z CHAIN, získavame údaje ako azimut a výška nad horizontom, pričom iba dáta s výškou nad horizontom vyššou ako 20° sú zohľadnené. Ďalej získavame hlavný parameter a to je fázová scintilácia, označená ako phi60l1slant. Tento parameter je kritickým ukazovateľom v analýze scintilácie a poskytuje dôležité informácie o kolísaní signálu prenosu v atmosfére. Prehľad získaných parametrov môžeme vidieť na grafe 4.3.



Obr. 4.3: Dáta získavané z IMPC staníc, pre stanicu MSNZ02, GPS satelit, dňa 2024.02.08

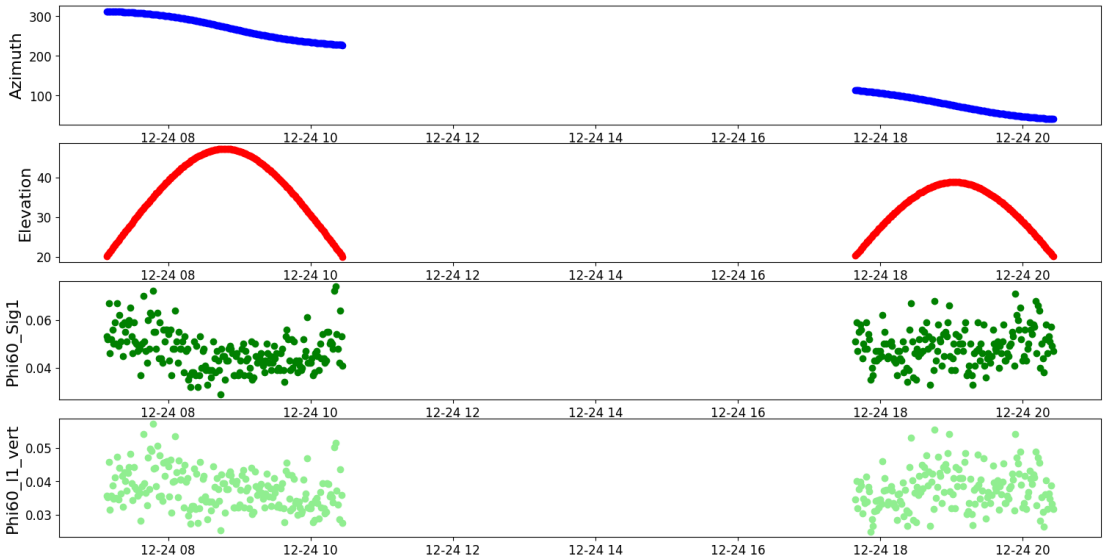
V súčasnosti agregujeme údaje z deviatich monitorovacích staníc, ktoré sa nachádzajú v rôznych oblastiach Európy. S ohľadom na ďalší vývoj, naším zámerom je rozšíriť zber dát na všetkých šestnásť monitorovacích staníc, ktoré ponúka distribuovaná sieť reálnych monitorovacích staníc (DLR). Tieto stanice sa nachádzajú v rôznych regiónoch sveta, čím by sme mohli zabezpečiť komplexnejšie záznamy o environmentálnych podmienkach. Tento rozšírený záber by umožnil lepšie porozumenie vzorov a trendov vo výskyte environmentálnych javov a ich vplyv na rôzne oblasti zeme.

Umiestnenie	Abbr	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	$\sigma\phi$ odľahlé prahové hodnoty
Lampedusa	LAM0P	35.52	12.63	>7
Longyearbyen Svalbard	LYB0P	78.2	16	>7
Kiruna	MSKI01	67.84	20.41	>7
Neustrelitz	MSNZ02	53.33	13.07	>7
Ramfjordbotn	MSRF01	69.58	19.22	>7
Teneriffe	MSTE01	28.48	-16.32	>7
Toulouse	MSTO01	43.56	1.47	>7
Tromsoe	MSTR01	69.68	18.98	>7
Ny Alesund/Svalbard	NYA0P	78.9	11.9	>7

Tabuľka 4.2: Zoznam a údaje o jednotlivých IMPC staniciach, z ktorých boli získavané dáta

INGV stanice a ich dáta

Databáza eSWua (electronic Space Weather upper atmosphere) obsahuje údaje v takmer reálnom čase a historické údaje pochádzajúce z prístrojov ionosférickej monitorovacej siete INGV a všetky súvisiace vedecké produkty vyvinuté skupinou INGV "Fyzika horných vrstiev atmosféry a šírenie žiarenia". Táto zbierka zahŕňa údaje získané prijímačmi GNSS na monitorovanie TEC a scintilácie. Tieto konkrétne prístroje umožňujú monitorovať prechodné javy ako sú ionosférické scintilácie, vzorkovanie signálov konštelácií GNSS v amplitúde aj fáze s frekvenciou najmenej 50 Hz. Scintilačná sieť INGV je aktívna od roku 2003, keď bol na Špicbergoch (Nórsko) nainštalovaný prvý prístroj. V súčasnosti do siete patrí niekoľko stálych observatórií umiestnených v rôznych zemepisných šírkach, od polárnych až po rovníkové oblasti.



Obr. 4.4: Dáta získavané z INGV pre stanicu HEL0p, GPS satelit, dňa 2023.12.24

Vertikálne údaje zahrňujú informácie o rôznych výškach satelitov nad horizontom, ktoré sú následne spriemerované, simulujúc tak ich polohu v zenite (kolmo nad prijímačom). Avšak, vzhľadom k tomu, že disponujeme údajmi o azimute a výške satelitov, môžeme priamo spracovávať "sklonené"údaje. To znamená, že môžeme aplikovať podmienku, ktorá vylučuje údaje získané v prípade, keď bola elevácia (výška nad obzorom) menšia ako 20 stupňov. V takýchto prípadoch totiž signál prechádza cez veľmi hustú atmosféru, kde môžu vznikať poruchy podobné tým, ktoré spôsobujú scintilácie. Treba však zdôrazniť, že tieto poruchy nie sú spôsobené ionosférou, ale skôr prechodom cez hustú troposféru, najnižšiu vrstvu atmosféry. Takéto údaje by mali byť vylúčené z analýzy aby sa zachovala presnosť a spoľahlivosť spracovania. Surové údaje, ktoré sa získavajú 24

hodín denne, 7 dní v týždni sa diaľkovo spracúvajú pomocou špecializovaného softvéru a spravujú sa takmer v reálnom čase systémom eSWua v ústredí INGV . Táto zbierka sprístupňuje používateľom údaje a produkty úrovne I (amplitúdový scintilačný index, fázový scintilačný index, celkový obsah elektrónov, scintilačné mapy). Získavané dáta môžeme vidieť na grafe 4.4.

Umiestnenie	Abbr	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	$\sigma\phi$ odľahlé prahové hodnoty
Helsinki	hel0p	60.203800	24.960762	>7
Sodankylä	sod0p	67.366669	26.629917	>7
Suomussalmi	suo0p	65.016639	28.885333	>7

Tabuľka 4.3: Zoznam a údaje o jednotlivých INGV staniciach, z ktorých boli získavané dáta

V súčasnej dobe zhromažďujeme údaje z troch monitorovacích staníc, ktoré sú lokalizované v rôznych oblastiach Európy. Podobne ako v prípade INGV, v budúcnosti máme ambíciu rozšíriť naše zberové úsilie na ďalšie monitorovacie stanice, pričom Talianska služba ponúka až 37 takýchto staníc, ktoré sú rozmiestnené v rôznych častiach sveta. Tento rozšírený záber by nám umožnil lepšie porozumieť globálnym trendom a ich regionálnym variantom, čím by sme získali komplexnejší pohľad na dynamiku atmosférických a geofyzikálnych javov. Takýto krok by tiež zvýšil našu schopnosť predvídať a monitorovať zmeny s vyššou presnosťou a relevanciou voči rôznorodým geografickým oblastiam.

4.3 Automatické získavanie dát a predikcie pomocou strojového učenia

Pre samotne získavanie dát používame python script, ktorého cieľom je integrácia, analýza a predikcia údajov o scintilácii ionosféry, čo je dôležitý aspekt v geofyzike a vesmírnych vedeckých štúdiách. Skript sa skladá z niekoľkých hlavných častí, z ktorých každá má špecifický účel a prispieva k celkovému procesu analýzy a predikcie údajov.

Na začiatku skriptu sú importované potrebné knižnice ako napríklad pandas na manipuláciu s dátovými rámcami, numpy pre numerické výpočty a ďalšie,

spolu s konštantami a modulmi, ktoré budú potrebné v ďalších častiach skriptu.

Nasleduje definícia funkcií na stiahnutie údajov o scintilácii ionosféry. Tieto funkcie môžu zahrňovať pripojenie k webovým službám, alebo API, alebo načítanie údajov zo súborov. Ich úlohou je získať potrebné dáta pre ďalšiu analýzu.

Jednou z funkcií pre získavanie dostupných dát pre Taliansko je download_data_italy, ktorá prijíma ako parameter aktuálny čas a na jeho základe určuje časový rozsah dát, ktoré sa majú stiahnuť. Časový rozsah je definovaný ako jedna hodina od aktuálneho času. Po vytvorení časových intervalov sa prechádza zoznamom BASE_URLS, ktorý obsahuje základné URL adresy pre zdroje dát o scintilácii. Pre každú URL sa vytvára konečná URL s parametrami. Následne sa pomocou HTTP požiadavky GET stiahnu dáta z danej URL.

Po stiahnutí sa dáta spracujú do formátu JSON a pridajú sa do zoznamu all_data. Každý záznam obsahuje informácie o stanici, z ktorej pochádza. Po spracovaní všetkých zdrojových dát sa kontroluje, či bola HTTP požiadavka úspešná a či boli získané nejaké dáta.

V prípade úspechu sa dáta transformujú pomocou funkcie transform_api_response_italy a vráti sa transformovaný dataframe. V opačnom prípade sa vypíše chybové hlásenie a vráti sa stavový kód HTTP požiadavky a pôvodné dáta. Keďže každý zdroj dát nám dáta poskytuje v inom formáte je pre každý zdroj vytvorená podobná funkcia ako táto, ktorá transformuje dáta na rovnaký dataframe. Nižšie môžeme vidieť pseudokód pre našu funkciu download_data_italy.

Zdrojový kód 4.1: Pseudokód pre spôsob získavania dát

```
Funkcia download_data_italy(datetime_now):
    start_time = vytvorenie_casoveho_intervalu(datetime_now)
    end_time = start_time + 1 hodina
    filter_params = vytvorenie_filter_parametrov(start_time, end_time)
    all_data = []

    Pre kazdy base_url v BASE_URLS:
        Vytvor konecnu URL s filter_params, ORDER_PARAMS a
            INCLUDE_PARAMS
        Stiahni data z URL
        Spracuj data do formatu JSON a pridaj ich do all_data

    Ak bola HTTP poziadavka uspesna a all_data nie je prazdny:
        transformuj data pomocou transform_api_response_italy
        Vrat transformovany dataframe a povodne data
    Inak:
        Vypis chybove hlasenie a vrat stavovy kod HTTP poziadavky a
            povodne data
```

Po načítaní údajov nasleduje sekcia funkcií na spracovanie a analýzu. Tieto funkcie vykonávajú rôzne operácie na čistenie, filtrovanie, agregáciu a transformáciu údajov.

Funkcia transform_api_response_italy je navrhnutá tak, aby prijímala získané dáta a ak nie je tento zoznam prázdny, vykoná transformáciu týchto dát a vráti transformovaný DataFrame.V rámci funkcie, ak nie je vstupný zoznam all_data prázdny, prechádza sa každý záznam a získavajú sa hodnoty azimutu, elevácia , Phi60_Sig1, dt a názov stanice. Tieto hodnoty sú potom uložené do príslušných polí v transformovaných dátach. Taktiež sa získavajú geografické súradnice, stanice a pridávajú sa do transformovaných dát. Následne sa tieto dáta konvertujú na DataFrame pomocou knižnice pandas. Časové značky sa nastavia ako index a potom sa odstránia záznamy s eleváciou nižšou ako 20 stupňov a s parametrom Phi60_Sig1 vyšším ako 8. Táto funkcia je užitočná v procese transformácie a filtrovania dát získaných z API, aby boli vhodné pre ďalšiu analýzu, alebo vizualizáciu, najmä pri práci s dátami.

Zdrojový kód 4.2: Pseudokód pre zobrazenie spôsobu transformácie dát

```
Funkcia transform_api_response_italy(all_data):
    Ak all_data nie je prazdny:
        Inicializuj prazdny slovnik transformed_data
        Pre kazdy zaznam v all_data:
            Ziskaj hodnoty azimutu, elevacie a dalsich parametrov
                zaznamu
            Pridaj tieto hodnoty do prislusnych poli v
                transformed_data
            Ziskaj geograficke suradnice stanice a pridaj ich do
                transformed_data

        Vytvor DataFrame z transformed_data
        Nastav casove znacky ako index
        Odstran zaznamy s elevaciou nizsou ako 20 stupnov a s
            parametrom Phi60_Sig1 vyssim ako 8

        Vrat transformovany DataFrame
    Inak:
        Vrat None
```

Ďalej je definovaná sekcia funkcií pre tvorbu predikcií. Tieto funkcie vytvárajú predikcie na základe historických údajov o scintilácii ionosféry. Používajú algoritmy strojového učenia na odhad budúcich hodnôt scintilácie.

Zdrojový kód 4.3: Pseudokód pre vkladanie dát do modelov

```
Vytvor measurements_df z make_measurements(df)
Vytvor predictions_df_15 z make_predictions(df, 15,
   PREDICTION_MODEL_PATH_15)
Vytvor predictions_df_30 z make_predictions(df, 30,
   PREDICTION_MODEL_PATH_30)
Vytvor predictions_df_45 z make_predictions(df, 45,
   PREDICTION_MODEL_PATH_45)
Vytvor predictions_df_60 z make_predictions(df, 60,
   PREDICTION_MODEL_PATH_60)

Vytvor all_pred_df z merge_predictions (
    predictions_df_15,
    predictions_df_30,
    predictions_df_45,
    predictions_df_60
)
```

Tento kód vykonáva niekoľko operácií na spracovaníe a predikciu dát. Najprv volá funkciu make_measurements(df), ktorá transformuje vstupný DataFrame df a vytvára nový DataFrame s meraniami, pričom priraďuje výsledok do premennej measurements_df. Následne volá funkciu make_predictions(df, 15, PREDICTION_MODEL_PATH_15) a podobne pre ostatné časové kroky (30, 45 a 60 minút). Tieto funkcie predikujú dáta pre daný časový krok s využitím modelu predikcie, ktorý je uložený na ceste definovanej v premennej PREDICTION_MODEL_PATH_15 a podobných. Nakoniec všetky predikcie z jednotlivých krokov sú zlúčené do jedného DataFrame pomocou operácií merge z pandas. Každá predikcia je zlúčená na základe určitých stĺpcov (zodpovedajúcich hodnotám MERGE_COLS). Zlúčenie sa vykonáva postupne pre všetky kombinácie predikcií (15, 30, 45 a 60 minút).

Na záver je definovaná hlavná funkcia main, ktorá riadi celý proces skriptu. Táto funkcia volá ostatné funkcie v správnom poradí, aby sa vykonali stiahnutie údajov, ich spracovanie, analýza, predikcia a vytvorenie výstupov. Výsledky sú ďalej exportované do S3 , kde sú všetky predikcie ukladané.

Zdrojový kód 4.4: Pseudokód pre nahratie dát na S3

```
Ziskaj nazov cieloveho uloziska z prostredia
Vytvor klienta pre sluzbu S3

Nahraj surove data nowcast_raw do uloziska S3:
    Vytvor kluc pre subor na zaklade aktualneho datumu a casu
       (nowcast_dt)
    Nahraj subor do cieloveho uloziska s danym klucom
```

```
Nahraj priemerovane data nowcast_averaged do uloziska S3:
    Vytvor kluc pre subor na zaklade aktualneho datumu a casu
        (nowcast_dt)
    Nahraj subor do cieloveho uloziska s danym klucom

Nahraj priemerovane data forecast_averaged do uloziska S3:
    Vytvor kluc pre subor na zaklade predpovedaneho datumu a casu
        (forecast_dt)
    Nahraj subor do cieloveho uloziska s danym klucom
```

Najprv sa získa názov cieľového úložiska zo systémového prostredia pomocou premennej TARGET_BUCKET_NAME. Potom sa vytvorí klient pre službu S3 pomocou knižnice boto3. Následne sa vykonajú tri operácie put_object, ktoré nahrávajú dáta do S3 úložiska:

1. Prvá operácia nahráva surové dáta (nowcast_raw) do súboru s určeným názvom na základe aktuálneho dátumu a času (nowcast_dt). Súbor je uložený v adresári api/nowcast/rok/mesiac/deň/hodina/raw.json.

2. Druhá operácia nahráva priemerované dáta (nowcast_averaged) do súboru s určeným názvom na základe aktuálneho dátumu a času (nowcast_dt). Súbor je uložený v adresári api/nowcast/rok/mesiac/deň/hodina/averaged.json.

3. Tretia operácia nahráva priemerované dáta (forecast_averaged) do súboru s určeným názvom na základe predpovedaného dátumu a času (forecast_dt). Tento súbor je uložený v adresári api/forecast/rok/mesiac/deň/hodina/averaged.json.

Celkovo je náš skript komplexným nástrojom na integráciu, analýzu a predikciu údajov o scintilácii ionosféry. Jeho flexibilita a funkcionalita ho robia užitočným nástrojom pre výskumníkov a odborníkov zaoberajúcich sa geofyzikou a vesmírnymi vedeckými štúdiami.

4.4 Grafické a aplikačné programové rozhranie

Grafické rozhranie je neodmysliteľnou súčasťou každej modernej webovej aplikácie. V tejto kapitole sa budeme venovať detailnej analýze a popisu grafického rozhrania nášho systému ASPIS, ktorý slúži na vizualizáciu a analýzu ionosférických scintilácií. Pri navrhovaní a implementácii tohto rozhrania sme sa roz-

hodli využiť moderné technológie a frameworky, ktoré nám umožňujú vytvoriť robustné a interaktívne používateľské prostredie.

4.4.1 Využite technológie pre vizualizáciu

V tejto časti sa budeme zameriavať najmä na použitie frameworku React a Vite, ktoré sú jedným z popredných nástrojov pre tvorbu moderných webových aplikácií.

React

React nám poskytuje vysokú flexibilitu a efektivitu pri vytváraní dynamických používateľských rozhraní a komponentov. Jeho deklaratívny prístup k tvorbe používateľského rozhrania a znovupoužiteľnosť komponentov nám umožňujú jednoduchú a efektívnu implementáciu rôznych častí systému ASPIS.

Vite

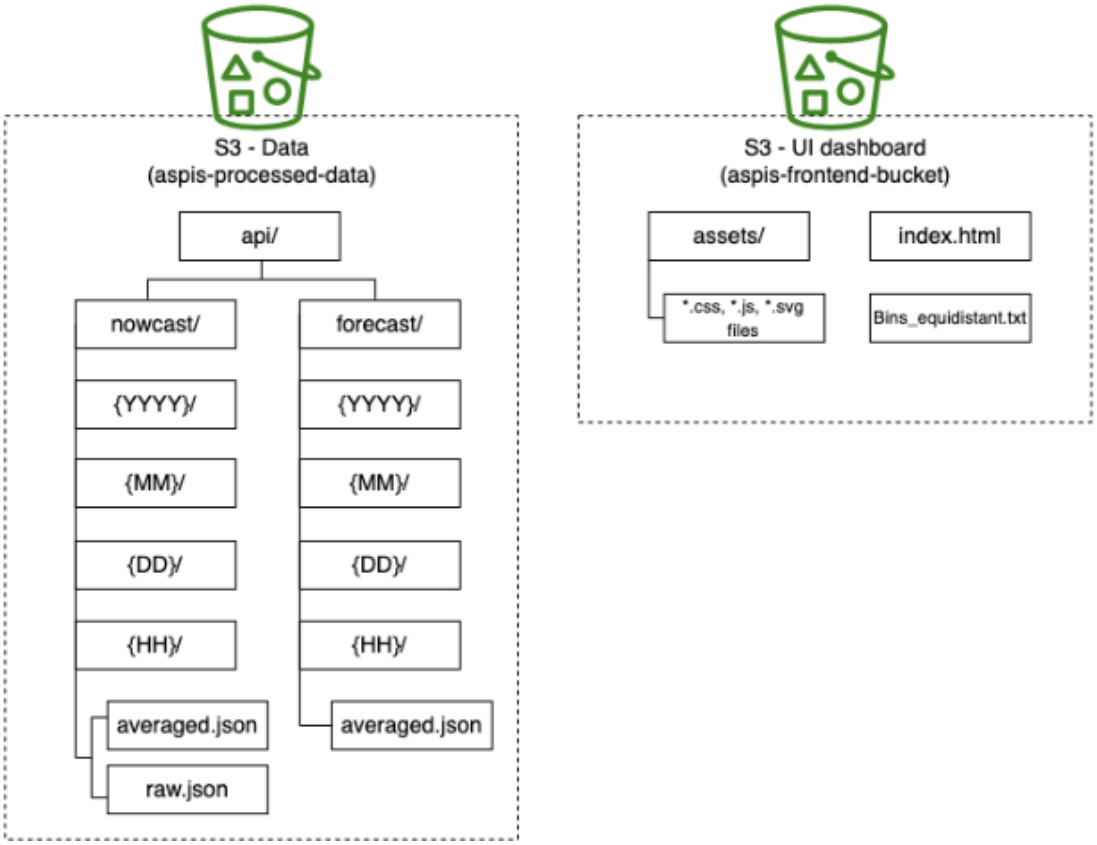
Vite je moderný nástroj na tvorbu frontendu, ktorý ponúka rýchle vývojové prostredie a balí kód pre produkciu. V porovnaní s predchodcom Mix, ktorý sa spoliehal na webpack sa Vite zameriava na rýchlejší a produktívnejší vývoj bohatých JavaScriptových aplikácií. Umožňuje aktualizovať kód v prehliadači v reálnom čase bez nutnosti obnovovania stránky a taktiež Vite natívne podporuje TypeScript, JSX, CSS a mnoho ďalších moderných technológií používaných vo frontendovom vývoji.

4.4.2 Získavanie dát z AWS

Aktuálne dáta, často označované ako "nowcast", reprezentujú momentálne ionosférické podmienky, zatiaľ čo predpovede ionosférických scintilácií, známe aj ako "forecast", poskytujú informácie o budúcich podmienkach.Tieto dáta sú získavané pomocou aplikačného rozhrania (API), ktoré umožňuje komunikáciu medzi React aplikáciou a úložiskom dát v cloude.

V rámci React aplikácie je bežné využívať funkciu fetch na vykonávanie HTTP požiadaviek na dané endpointy, ktoré poskytujú prístup k týmto dátam. V kontexte tejto práce sa API používa na poskytovanie a získavanie ionosférických dát z úložiska v cloude. Toto úložisko poskytuje dáta vo formáte JSON a je prístupné prostredníctvom špecifických URL adries, ako je:

/api/forecast/year/month/day/hours/averaged.json



Obr. 4.5: Diagram zobrazuje ako sú uložene dáta, dashboard a jeho komponenty na S3 bucket

Architektúra a štruktúra API sú dôsledkom špecifických požiadaviek na ukladanie dát v AWS. Táto štruktúra je detailne zobrazená v príslušnom diagrame 4.5 , ktorý poskytuje prehľad o organizácii a vzájomných vzťahoch jednotlivých komponentov. Okrem toho je na tomto diagrame zreteľný aj spôsob, akým sú ukladané a organizované rôzne časti dashboardu a jeho súčasti v S3 úložisku.

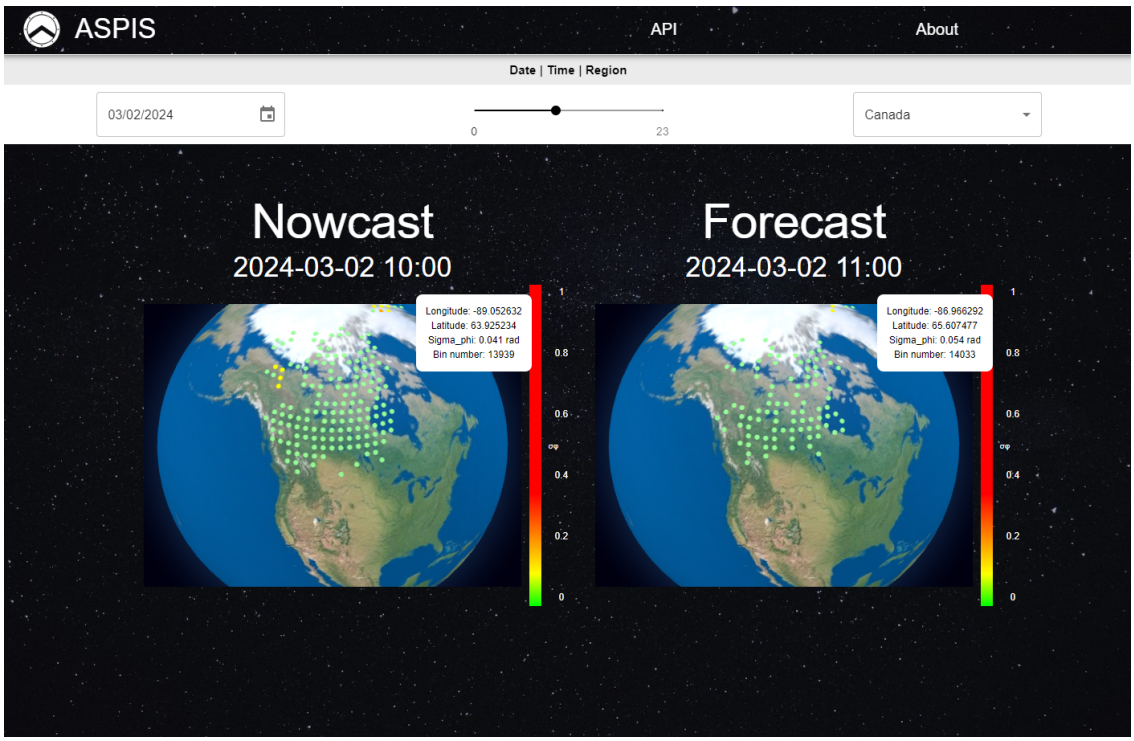
Naše API má potenciál byť ďalej využívané aj inými službami a projektmi. Napríklad, ESA môže využiť naše API na vizualizáciu dát na svojich vlastných paneloch, alebo na integráciu s inými nástrojmi a aplikáciami, čím poskytne pridanú hodnotu a rozšíri využitie našich dát pre širšie publikum a aplikačné prípady.

4.4.3 Hlavná stránka pre vizualizáciu dát

Hlavná časť našej stránky je vizualizácia samotnej predikcie ionosferických scintilácií. Preto po príchode na stránku môžeme vidieť samotnú vizualizáciu, kde sme použili knižnicu react-globe.gl. Táto knižnica nám pomohla vytvoriť dva glóbusy, ktoré je možné otáčať zhora nadol a prejsť tak celý svet. Hlavným dôvodom tejto vizualizácie bolo, že mnohé mapy využívajú klasické zobrazenie, ktoré skresľuje

následne vzdialenosť medzi bodmi, ktoré sme zobrazovali. Toto riešenie nám pomohlo vyriešiť náš problém so skresľovaním.

Na snímke na hlavnej stránke nášho projektu môžete vidieť dve hlavné mapy: Nowcast a Forecast. Tieto mapy sú kľúčovým prvkom našej služby, pretože poskytujú používateľom aktuálne informácie o ionosférických scintiláciach. Nowcast mapa zobrazuje aktuálne dáta v danom čase. Je to aktuálna situácia, ktorá je užitočná pre používateľov, ktorí potrebujú okamžite dostať informácie o scintilácii v určitej oblasti. Naopak mapa Forecast slúži pre predpoveď. Poskytuje používateľom dáta pre budúce hodiny, čo je kľúčové pre plánovanie a prípravu na možné problémy spojené s ionosférickými scintiláciami. Body na mapách predstavujú lo-



Obr. 4.6: Vizualizácia hlavnej stránky

kácie, pre ktoré sme predpovedali ionosférické scintilácie. Nie všetky body majú rovnaké dátumy, pretože situácia môže byť odlišná v závislosti od miesta a času. To znamená, že počet bodov na mape sa môže líšiť podľa dostupných dát. Farebnosť týchto bodov na mape závisí od miery scintilácie, ktorú daný bod obsahuje. K dispozícii je farebná škála, ktorá vám rýchlo ukáže, aká veľká je scintilácia v danej oblasti. Jednou z výhod našej služby je možnosť detailného skúmania dát. Stačí jednoducho kliknúť na ľubovoľný bod na mape a zobrazí sa vám viac informácií. Zistiť môžete nielen mieru scintilácie, ale aj zemepisnú šírku a dĺžku miesta a identifikačné číslo bodu.

Ďalej sme mysleli na našich používateľov, ktorí chcú preskúmať historické zá-

znamy. Naša databáza obsahuje údaje z minulosti, ktoré sme už predpovedali. Pridali sme preto možnosť výberu dátumu a času priamo v hornom navigačnom paneli. Vyberte si, aký časový úsek chcete preskúmať a tieto dáta sa následne zobrazia na mapách v hlavnom menu.

Naša stránka neobmedzuje svoje zdroje údajov len na jednu geografickú oblasť, ale integruje dáta z viacerých lokalít z Kanady a Európy. Tento prístup nám umožňuje poskytovať používateľom komplexný pohľad na ionosférické scintilácie a získavať údaje z rôznych zdrojov a zemepisných oblastí, čo zabezpečuje širšiu a komplexnejšiu analýzu tohto javu.

4.4.4 Stránka API

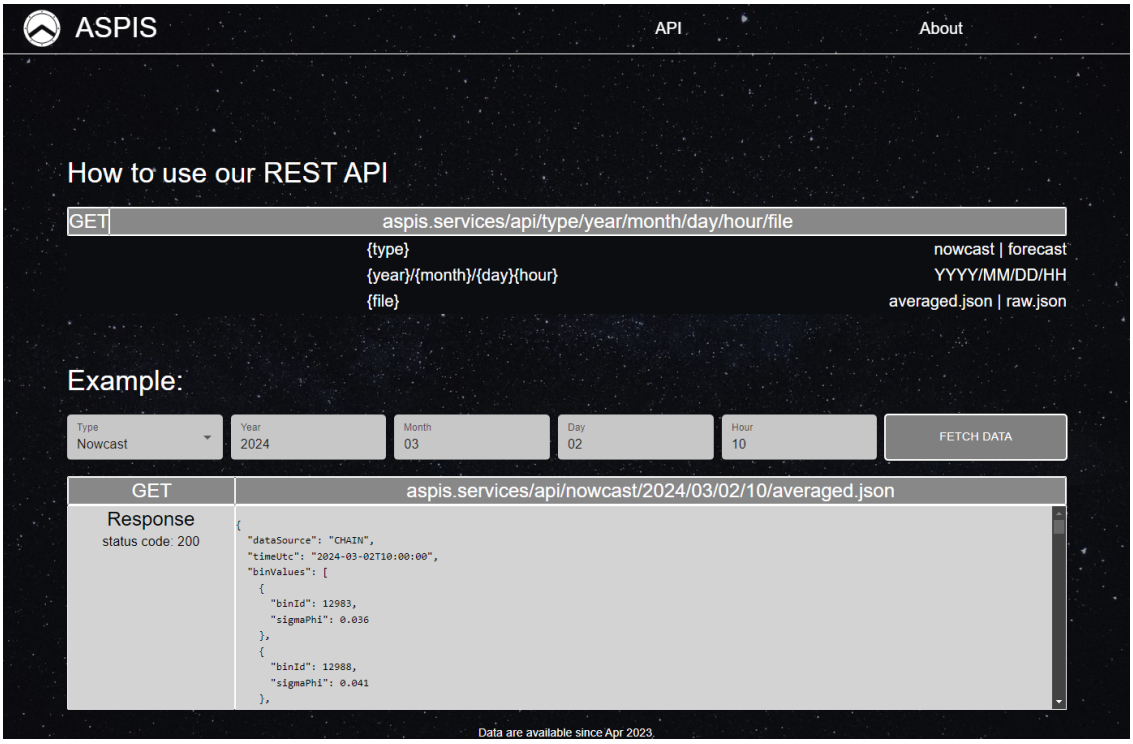
Na našej webovej stránke sme implementovali detailnú časť, ktorá poskytuje prehľad o tom ako získavame dáta z API. Táto časť stránky umožňuje používateľom experimentovať s rôznymi parametrami a preskúmať ako vyzerá náše API volanie a aké dáta dostávame ako odpoveď.

Pri vstupe na túto časť stránky si používateľ môže zvoliť konkrétny rok, mesiac, deň a čas, ktorý chce preskúmať. Má tiež možnosť vybrať, či ide o predpoveď (forecast), alebo aktuálne dáta (nowcast). Po zadaní týchto parametrov môže používateľ odoslať svoju požiadavku.

Po odoslaní požiadavky sa zobrazia dáta dostupné pre zadaný časový údaj. Je dôležité poznamenať, že ak používateľ zvolí čas, pre ktorý nie sú k dispozícii žiadne dáta, zobrazí sa príslušné upozornenie. Týmto spôsobom sa zabezpečuje, že používateľ vidí len reálne dostupné dáta pre daný časový úsek.

Pri vyhľadávaní dát používateľ taktiež môže vidieť ako vyzerá samotné API volanie vrátane všetkých príslušných parametrov a hodnôt. To mu poskytuje lepší prehľad o tom ako je systém navrhnutý a ako funguje na pozadí.

Celkový cieľ tejto časti našej stránky je poskytnúť používateľom transparentný pohľad na to ako získavame dáta z API a umožniť im experimentovať s rôznymi časovými údajmi a parametrami. Tento interaktívny prístup k dátam nám umožňuje lepšie porozumieť ich povahe a využiť ich efektívne vo svojich aplikáciách alebo analýzach.

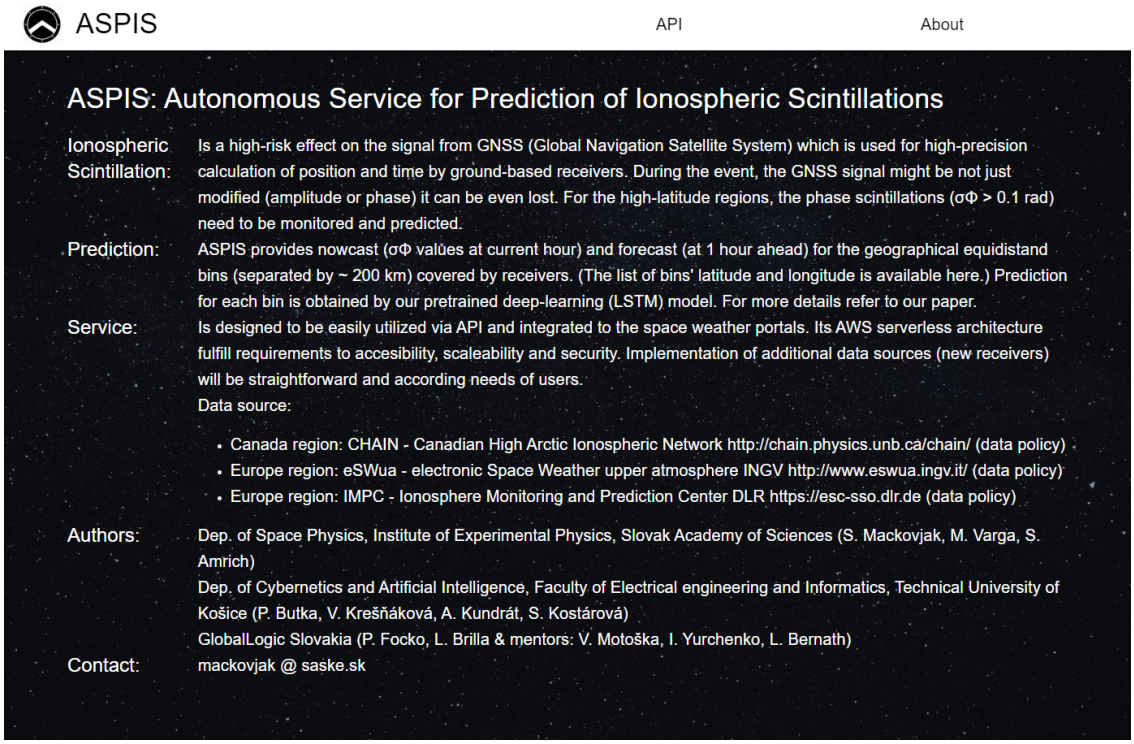


Obr. 4.7: Vizualizácia stránky Api

4.4.5 Stránka ABOUT

Na našej ďalšej stránke detailne rozoberáme problematiku ionosférických scintilácii, jedného z kritických faktorov ovplyvňujúcich komunikáciu v rádiových systémoch. Naša analýza sa opiera o širokú škálu dát z rôznych zdrojov, zahŕňajúcich aj údaje o ionosférických podmienkach. Pre používateľa je k dispozícii interaktívny nástroj, ktorý umožňuje zobraziť a analyzovať dostupné údaje v závislosti od zadaného času. Tento nástroj okrem toho automaticky filtruje údaje tak, aby zobrazoval len informácie, ktoré boli dostupné v danom časovom okamihu.

Následne sa zaoberáme našou vlastnou predikciou ionosférických scintilácií, kde využívame pokročilé matematické modely a algoritmy na prognózovanie budúcich podmienok. V rámci tejto predikcie zohľadňujeme nielen aktuálnu situáciu, ale aj dlhodobé trendy a pravdepodobné scenáre vývoja.V popise našej služby podrobne vysvetľujeme ako funguje náš systém a aké služby poskytujeme. Zameriavame sa nielen na lokálne údaje, ale aj na dáta z iných častí sveta ako napríklad Kanady a Európy. Údaje získavame z rôznych zdrojov a pre Európu dokonca využívame dva nezávislé zdroje na zabezpečenie vyššej presnosti.Na stránke poskytujeme aj odkazy na relevantné zdroje odkiaľ čerpáme naše dáta. Taktiež umožňujeme používateľovi stiahnuť si zoznam binov, ktorý obsahuje podrobné informácie o jednotlivých binoch, ich čísla a geografických súradnice. V zá-



Obr. 4.8: Vizualizácia stránky About

verečnej časti stránky uvádzame zoznam mien a spoločností, ktoré sa podieľajú na tomto projekte. Tento prehľad demonštruje našu odbornú spoluprácu a angažovanosť v oblasti výskumu a vývoja v oblasti ionosférických scintilácií a súvisiacich technológií. Takýmto spôsobom sa snažíme rozšíriť povedomie a porozumenie nášmu projektu a poskytnúť návštevníkom dôkladný prehľad do problematiky, ktorú skúmame a riešime.

4.5 Nasadenie a prevádzka služby

Nasadenie a prevádzka služby sa týka procesu uvádzania softvérových aplikácií do prevádzky a ich následného fungovania v produkčnom prostredí. V modernom softvérovom vývoji je bežné používať automatizované nástroje a postupy na zjednodušenie tohto procesu a minimalizáciu chýb pri nasadzovaní.

4.5.1 GitHub Actions

GitHub Actions je nástroj od GitHubu, ktorý nám umožňuje vytvárať, zdieľať a používať automatizované postupy pri práci s ich repozitármi na GitHub. GitHub Actions môže byť využité na automatizáciu rôznych úloh ako sú testovanie kódu, zostavovanie aplikácie a nasadzovanie zmien do produkčného prostredia.

My ho využívame pre vytvorenie automatizovaného procesu nasadenia frontendovej aplikácie do súborového úložiska AWS S3, keď sa zmenia kódy a posunú sa do vetvy. Tiež aktualizujeme systémové balíčky, nastavujeme Node.js, inštalujeme závislosti, zostavujeme projekt a nahrávame zostavené prostriedky do špecifikovaného S3 súborového úložiska. Pre backend našej aplikácie využívame GitHub Actions hlavne pre nasadzovanie infraštruktúry CDK do AWS prostredía.

4.5.2 Cloud Development Kit (CDK)

Cloud Development Kit je nástroj, ktorý umožňuje vytvárať infraštruktúru v cloudových prostrediach pomocou programovateľného API alebo programovacích jazykov ako je napríklad TypeScript, Python, Java. S CDK môžeme definovať IAC, čo nám umožňuje automatizované nasadzovanie a správu infraštruktúry.

Naše CDK je napísane v jazyku Python, kde samotne CDK využívame pre vytvorenie infraštruktúry v prostrediach dev a prod. V našom CDK scripte importujeme potrebné moduly, definujeme konštanty pre údaje o AWS (účet, region, ID, názov doménových zón). Následne vďaka týmto údajom si vytvárame prostredie a inštancie aplikácie CDK. Pre každé naše prostredie sa vytvára inštancia AspisStack, ktorá predstavuje zásobník. Definujú sa tu taktiež konkrétne zdroje vrátane VPC, podsiete a doménové informácie.

4.5.3 Vývoj a Produkcia

Vývojové (dev) a produkčné (prod) prostredia sú dve odlišné inštancie, ktoré slúžia na rôzne účely v softvérovom vývoji a prevádzke. Každé z nich má svoje špecifické vlastnosti a výhody:

1. Vývojové (dev) prostredie
    - V dev prostredí často vykonávame rýchle a iteratívne cykly vývoja, kde meníme a testujeme nové funkcie, aby sa čo najrýchlejšie reagovalo na zmeny v požiadavkách.
    - Na dev prostredí využívame testovacie dáta a nástroje, ktoré nám umožňujú ľahko testovať a ladiť aplikácie.
2. Produkčné (prod) prostredie:
    - Produkčné prostredie využívame pre prevádzku aplikácie v reálnom svete a musí byť stabilné a poskytovať vysokú dostupnosť.

- Produkčné prostredie by malo byť schopné škálovať sa podľa potreby a zvládať rastúci počet používateľov alebo záťaž.

5 Vyhodnotenie

Ciele práce v rámci ktorej sme sa oboznámili s ionosférickými scinitiláciami a existujúcim modelom strojového učenia na ich predikcie, zahŕňajú nadobudnutie hlbšieho pochopenia fenoménu ionosférickej cinitilácie a jeho vplyvu na komunikačné systémy. Okrem toho našim cieľom bolo vytvoriť nástroje a vizualizačné techniky na prezentáciu a analýzu dát o ionosférických cinitiláciach v reálnom čase aby sme umožnili užívateľom efektívne porozumieť vzorcom, trendom a vzťahom v dátach. Počas celého vývoja sme kládli dôraz na poskytnutie kvalitného a konkurencieschopného riešenia. V prvom rade sa pozrieme na porovnanie našej aplikácie s inými dostupnými riešeniami. Budeme analyzovať ich funkčnosť, užívateľské rozhranie, výkon aby sme mohli identifikovať silné a slabé stránky našej aplikácie v porovnaní s konkurenciou. Toto porovnanie nám poskytne jasné pochopenie miesta, ktoré zaujíma naše riešenie na trhu a kde máme priestor na zlepšenie. Porovnáme si taktiež našu vizualizáciu predikcie s inými službami na trhu a okrem toho sa pozrieme aj na celkove náklady nášho projektu.

5.1 Porovnanie projekcie

V tejto časti je možné zdôrazniť výrazné zlepšenia a inovácie, ktoré naša ortografická projekcia prináša oproti projekciám konkurencie. Ortografická projekcia ponúka mnoho výhod, ktoré ju robia atraktívnejšou v porovnaní s bežne používanou projekciou. Jednou z hlavných výhod je zachovanie tvaru a veľkosti objektov v blízkosti stredového bodu mapy, čo vedie k lepšiemu vnímaniu pomerov a geografických vzťahov. Tento fakt zlepšuje geografické porozumenie a analytické procesy. Pomocou knižnice react-globe.gl, sme vytvorili interaktívne 3D vizualizácie glóbusu, ktoré nám umožňujú otáčanie o 360 stupňov. Výhody oproti 2D vizualizáciám zahŕňajú presnejšiu vizualizáciu geografických dát, väčšiu interaktivitu a estetickú atraktivitu, čo môže zlepšiť užívateľskú skúsenosť a efektívne prezentovať informácie. Avšak pri zväčšení mapy nezobrazuje detaily ako sú názvy štátov alebo miest. Tento kompromis bol nevyhnutný, aby sme do-

siahli požadovanú funkcionalitu pri zachovaní prijateľnej úrovne výkonu a použiteľnosti aplikácie. Tieto vylepšenia a inovácie sa ukázali ako kľúčové pre posun vpred vo vývoji našej diplomovej práce a prispeli k vytvoreniu robustnej a efektívnej ortografickej projekcie s vysokou hodnotou pre užívateľov.

5.2 Architektúra a získavanie dát

Predpovedanie ionosférických scintilácií je proces, ktorý sa zameriava na predpovedanie výskytu a intenzity fluktuácií rádiových signálov, ktoré sú spôsobené ionosférickými javmi. Táto predpoveď je nevyhnutná pre mnohé aplikácie v komunikačných systémoch, navigácii, ionosférickom prieskume a iných oblastiach.

Naša platforma má vysokú funkčnosť, ktorá zahŕňa vizualizáciu ionosférických scintilácií spolu s hodinovou predpoveďou. Táto funkcionalita je na trhu zriedkavá a vyznačuje sa vysokou pridanou hodnotou pre používateľa. Na získanie týchto údajov sme využili dostupné zdroje, ktoré zahŕňajú rôzne súbory údajov a monitorovacie systémy zamerané na ionosférické javy. Tieto údaje boli následne podrobené dôkladnému spracovaniu a transformácii s cieľom pripraviť ich na analýzu a predpovede. Samotná predikcia ionosférickej scintilácie bola vykonaná pomocou modelu strojového učenia, ktorý bol natrénovaný na historických údajoch a následne otestovaný na aktuálnych údajoch. Tento proces zahŕňa zložité algoritmické postupy a analýzy, ktoré umožňujú modelu predpovedať vývoj ionosférických javov s určitou mierou presnosti. Výsledné predpovede a údaje sa potom systematicky ukladajú v cloudovom prostredí AWS , kde sa archivujú a sprístupňujú iným aplikáciám a službám prostredníctvom rozhrania API. Týmto spôsobom sme vytvorili škálovateľnú a flexibilnú infraštruktúru, ktorá umožňuje efektívne a spoľahlivé poskytovanie údajov a predpovedí širokému okruhu používateľov a služieb. Vďaka týmto údajom a predpovediam môže naša frontendová aplikácia poskytovať používateľom nielen aktuálny stav ionosférických scintilácií, ale aj odhady na hodinu dopredu, čo poskytuje cenné informácie pre plánovanie a rozhodovanie v mnohých oblastiach vrátane komunikácie, navigácie a vedeckého výskumu.

Pre porovnanie našich dát, služby ktoré sú na trhu momentálne využívajú jeden alebo dva zdroje údajov, kde naša služba sa momentálne zameriava na získavanie informácií z troch rôznych zdrojov. Vďaka tomu sú naše údaje komplexnejšie a rozsiahlejšie, čo používateľom poskytuje viac informácií a širší pohľad. Ďalším dôležitým aspektom je, že máme v pláne rozšíriť naše služby do ďalších krajín a regiónov, odkiaľ budeme získavať ďalšie relevantné údaje. Vďaka tomu

bude naše API ešte rozsiahlejšie a komplexnejšie v porovnaní s konkurenčnými službami. Toto rozšírenie zahŕňa nielen geografické rozšírenie, ale aj rozšírenie dostupných súborov a typov informácií, čo používateľom prinesie ešte širšie možnosti využitia a analýzy.

5.3 Náklady na prevádzku systému

Naša služba funguje na serverless architektúre, ktorá prináša množstvo výhod v oblasti efektívnosti, škálovateľnosti a nákladov. Bezserverový prístup umožňuje našej službe fungovať úplne automaticky 24 hodín denne, 7 dní v týždni, bez potreby nepretržitej prevádzky servera. To znamená, že proces vyhľadávania údajov, spracovania informácií a poskytovania služieb je dynamický a na požiadanie podľa aktuálnych potrieb a požiadaviek používateľov. Vďaka serverless architektúre dokážeme efektívne využívať zdroje a optimalizovať výkon našich služieb bez potreby správy a údržby infraštruktúry. Dosahujeme tak nielen nižšie prevádzkové náklady, ale aj väčšiu flexibilitu a škálovateľnosť. Naša služba sa automaticky prispôsobuje zmenám v pracovnom zaťažení a objeme údajov, čím zabezpečuje plynulú prevádzku bez výpadkov a oneskorení.

5.4 Budúcnosť aplikácie

Ako sme už vyššie spomenuli chceli by sme v budúcnosti rozšíriť zdroje získavania dát a taktiež rozšíriť dáta o ďalšie časti zeme, kde v súčastnosti získavame dáta pre Kanadu a Európu.

V budúcnosti máme taktiež záujem integrovať naše riešenie do portálu ESA, ktorý je už vo fáze vývoja. Tento proces si vyžaduje množstvo potvrdení a predovšetkým spracovanie údajov do požadovaného formátu pre stranu ESA. Integrácia nášho riešenia do portálu ESA by výrazne zvýšila jeho použiteľnosť a prínos pre používateľov. Prítomnosť na portáli ESA by nám umožnila získať väčšiu pozornosť odborníkov a priemyselných subjektov v oblasti vesmíru a vedy. To by mohlo otvoriť nové možnosti spolupráce a rozvoja nášho produktu. S vyššou prítomnosťou na renomovanej platforme ESA by sme mohli získať dôveru používateľov a zvýšiť povedomie o našom riešení na medzinárodnej úrovni. Okrem toho by integrácia na portáli ESA mohla nášmu projektu poskytnúť prístup k novým zdrojom a informáciám, ktoré sú dostupné prostredníctvom tejto platformy. To by nám umožnilo ďalej zlepšovať kvalitu našich analýz a predpovedí a rozšíriť rozsah poskytovaných služieb.

6 Záver

Naša práca dosiahla významné úspechy a inovácie v oblasti ionosférických scintilácii. Naše úsilie sa sústredilo na vytvorenie efektívneho vizualizačného nástroja, ktorý umožňuje používateľom interaktívne skúmať a analyzovať predpovede ionosférických scintilácií v reálnom čase na základe existujúceho modelu strojového učenia. Postup našej práce bol rozdelený do niekoľkých fáz, pričom každá fáza predstavovala kľúčový krok k dosiahnutiu našich cieľov. Najprv sme sa zamerali na hlbšie pochopenie fenoménu ionosférických scintilácií a jej vplyvu na komunikačné systémy. Ďalej sme analyzovali existujúce modely a metódy predpovedania ionosférických scintilácií, aby sme určili najlepší prístup pre vývoj nášho vizualizačného nástroja. Pri návrhu a implementácii frontendu a backendu sme kládli dôraz na používateľskú prívetivosť a funkčnosť nášho nástroja. Vytvorili sme intuitívne používateľské rozhranie, ktoré umožňuje jednoduché a efektívne skúmanie predpovedí ionosférických scintilácií. Naše vizualizácie nielenže prezentujú údaje estetickým spôsobom, ale poskytujú používateľom aj priestor na hlbšiu analýzu a pochopenie predpovedí. Ďalším dôležitým aspektom našej práce bola architektúra a spracovanie údajov. Využívali sme serverless architektúru , ktorá umožňuje implementáciu kódu bez riadenia serverovej infraštruktúry. Súčasne prináša výhody ako nulová správa infraštruktúry, automatické škálovanie, platenie len za využité zdroje, rýchlejší vývoj a vysoká dostupnosť. Vďaka týmto výhodám patrí serverless k najmodernejším nástrojom pre spracovanie architektúry. Ako ďalšie využívame CDK vďaka čomu máme zvýšenú flexibilitu, bezpečnosť a efektivitu pri správe infraštruktúry v cloude, čo je kľúčovým faktorom pre moderné cloud-native aplikácie a ich životný cyklus. CDK je napísane v pythonovskom scripte, vďaka ktorému sa na AWS vytvorí cela komplexná infraštruktúra bez potreby ďalšej manuálnej konfigurácie. Pomocou škálovateľnej a flexibilnej infraštruktúry sme úspešne získali a spracovali veľké množstvo ionosferických scintilačných údajov z rôznych zdrojov. To nám umožnilo poskytnúť používateľom komplexné a aktuálne informácie o ionosférickej aktivite. V budúcnosti máme ambíciu rozšíriť dostupnosť nášho riešenia na portál Európskej vesmírnej

agentúry (ESA) a integrovať ďalšie zdroje údajov. To by nám umožnilo poskytovať používateľom ešte komplexnejšie a rozsiahlejšie informácie. Zároveň chceme pokračovať v optimalizácii nákladov na prevádzku systému a zlepšovaní používateľského komfortu našej aplikácie. Celkovo sme významne prispeli do oblasti ionosférických scintilácií, vytvorením efektívneho nástroja, ktorý má široké využitie pre výskumníkov, odborníkov z praxe a ďalšie zainteresované strany. Sme presvedčení, že naša práca prináša skutočnú hodnotu a otvára nové možnosti pochopenia a analýzy tohto dôležitého atmosférického javu ako nás o tom informovali kolegovia z veľkých vedeckých inštitúcií (DLR (Nemecko), INGV (Taliansko)) počas prezentácie riešenia na vedeckých konferenciách.

Literatúra

1. LITTLE, C.G.; MAXWELL, A. Scintillation of radio stars during aurorae and magnetic storms. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. 1952, roč. 6, č. 2, s. 356–360. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021916952900767.
2. JP SWC, NICT. *User guide - space weather forecast, effects on infrastructure.* [https://swc.nict.go.jp/en/knowledge/guide.html]. 2022. [Online].
3. CAMPOREALE, E.; WING, S.; JOHNSON, J. Machine Learning Techniques for Space Weather. *Elsevier*. 2018.
4. SALLES, Lucas A.; VANI, Bruno C.; MORAES, Alison; COSTA, Emanoel; PAULA, Eurico R. de. Investigating Ionospheric Scintillation Effects on Multifrequency GPS Signals. *Surveys in Geophysics*. 2021, roč. 42, č. 4, s. 999–1025.
5. DATTA-BARUA, Seebany; ALTSHULER, Eric; WALTER, Todd; PULLEN, Sam. Ionospheric Scintillation Effects on Satellite Navigation. *American Geophysical Union (AGU)*. 2021, s. 493–510.
6. KELLEY, M. C.; VICKREY, J. F.; CARLSON, C. W.; TORBERT, R. On the origin and spatial event of high-latitude F region irregularities. *J. Geophys. Res.* 1982, č. 87, s. 4469–4475.
7. PRIKRYL, P.; JAYACHANDRAN, P. T.; CHADWICK, R.; KELLY, T. D. Climatology of GPS phase scintillation at northern high latitudes for the period from 2008 to 2013. *Annales Geophysicae*. 2015, č. 33, s. 531–545.
8. KINRADE, Joe; MITCHELL, Cathryn N.; SMITH, Nathan D.; EBIHARA, Yusuke; WEATHERWAX, Allan T.; BUST, Gary S. GPS phase scintillation associated with optical auroral emissions: First statistical results from the geographic South Pole. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*. 2013, č. 118, s. 2490–2502.

9. SPOGLI, L.; ALFONSI, L.; FRANCESCHI, G. De; ROMANO, V.; AQUINO, M. H. O.; DODSON, A. Climatology of gps ionospheric scintillations over high and mid-latitude european regions. *Annales Geophysicae*. 2009, č. 27, s. 3429–3437.

10. LIN, Mengying; ZHU, Xuefen; HUA, Teng; TANG, Xinhua; TU, Gangyi; CHEN, Xiyuan. *Detection of Ionospheric Scintillation Based on XGBoost Model Improved by SMOTE-ENN Technique* [https://www.mdpi.com/2072-4292/13/13/2577]. 2021. [Online].

11. CENTER, Space weather prediction. *Space weather impacts on climate* [https://www.swpc.noaa.gov/]. 2024. [Online].

12. AGENCY, European Space. *Current Space Weather* [https://swe.ssa.esa.int/current-space-weather]. 2024. [Online].

13. AGENCY, European Space. *Space Weather Service Network Development and Pre-Operation Part 1* [https://swe.ssa.esa.int/swesnet-project]. 2024. [Online].

14. SERVICE, International GNSS. *International GNSS service* [https://igs.org/]. 2024. [Online].

15. ATMOSPHERE, Electronic Space Wheater Upper. *Real time ionospheric information* [http://www.eswua.ingv.it/]. 2024. [Online].

16. NETWORK, Canadian High Arctic Ionospheric. *Canadian High Arctic Ionospheric Network (CHAIN)* [http://chain.physics.unb.ca/chain/pages/about/]. 2024. [Online].

17. MONITORING, Ionosphere; CENTER, Prediction. *Ionosphere Monitoring and Prediction Center* [https://impc.dlr.de/]. 2024. [Online].

18. GEOPHYSICS, National Institute of; VOLCANOLOGY. *National Institute of Geophysics and Volcanology* [https://www.ingv.it/en/home]. 2024. [Online].

19. KARTVERKET. *About Kartverket* [https://www.kartverket.no/en/about-kartverket]. 2024. [Online].

20. BÉNIGUEL, Yannick; PAJARES, Manuel Hernández; RIGO, Alberto García; PÉREZ, Raul Orus; CERDEIRA, Roberto Prieto; SCHLUETER, Stefan; SECRÉTAN, Hugues; MONNERAT, Michel; SERANT, Damien. Monitor ionospheric monitoring system. *Gnss performance estimation*. 2015.

21. P., Snyder John. Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. *University of Chicago Press*. 1993.

22. SURVEY, U.S. Geological. Map projections. *General Information Product*. 1993.

23. STREBE, Daniel R. *Mercator projection of the world between 85°S and 85°N. Note the size comparison of Greenland and Africa.* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/73/Mercator_projection_Square.JPG/1024px-Mercator_projection_Square.JPG]. 2011. [Online].

24. STREBE, Daniel R. *Orthographic projection (equatorial aspect) of eastern hemisphere 30°W–150°E* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fe/Orthographic_projection_SW.jpg/1024px-Orthographic_projection_SW.jpg]. 2011. [Online].

25. STREBE, Daniel R. *Gnomonic projection of a portion of the north hemisphere centered on the geographic North Pole* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/Gnomonic_projection_SW.jpg/1024px-Gnomonic_projection_SW.jpg]. 2011. [Online].

26. STREBE, Daniel R. *The world on an equidistant conic projection. 15° graticule, standard parallels of 20°N and 60°N.* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Equidistant_conic_projection_SW.JPG/1280px-Equidistant_conic_projection_SW.JPG]. 2011. [Online].

27. STREBE, Daniel R. *An azimuthal equidistant projection about the South Pole extending all the way to the North Pole* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/ff/Azimuthal_equidistant_projection_south_SW.jpg/1024px-Azimuthal_equidistant_projection_south_SW.jpg]. 2011. [Online].

28. KUNDRÁT, Adrián. Predikcia ionosferických scintilácií pomocou hlbokého učenia. 2023.

29. VARGA, Matej. Použitie hlbokého učenia pri spracovaní dát z kozmickej fyziky. 2022.

30. GEEKSFORGEEKS. *ML | Handling Missing Values* [https://www.geeksforgeeks.org/ml-handling-missing-values/]. 2024. [Online].

31. STREBE, Daniel R. *Gnomonic projection of a portion of the north hemisphere centered on the geographic North Pole* [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/34/Gnomonic_projection_SW.jpg/1024px-Gnomonic_projection_SW.jpg]. 2011. [Online].

32. *AWS Batch* [https://aws.amazon.com/batch/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

33. *Amazon S3* [https://aws.amazon.com/s3/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

34. *Amazon CloudFront* [https://aws.amazon.com/cloudfront/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

35. *AWS CloudFormation* [https://aws.amazon.com/cloudformation/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

36. *Amazon EventBridge* [https://aws.amazon.com/eventbridge/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

37. *Amazon Elastic Container Registry* [https://aws.amazon.com/ecr/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

38. *Amazon Route 53* [https://aws.amazon.com/route53/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

39. *Amazon Simple Notification Service* [https://aws.amazon.com/sns/]. [B.r.]. [cit. 2024-04-03]. [Online].

Zoznam skratiek

AI Umelá inteligencia.

API Rozhranie na programovanie aplikácií.

ASPIS Autonómna služba na predpovedanie ionosférickej scintilácie.

AUC-PR Plocha pod krivkou presnosti odvolania.

AUC-ROC Oblasť pod krivkou ROC.

AWS Webová služba Amazon.

CDK Súprava na vývoj cloudu.

CDN Sieť pre doručovanie obsahu.

CHAIN Sieť kanadského vysokého arktického ionosférického systém.

CSS Kaskádové štýly.

DLR Nemecké centrum pre letectvo a kozmonautiku.

DNS Systém názvov domén.

ECR Elastický register kontajnerov.

EGNOS Európska geostacionárna navigačná služba.

ESA Európska vesmírna agentúra.

GNSS Globální družicový polohový systém.

GRU Siete s uzavretými opakujúcimi sa jednotkami.

HTTPS Zabezpečený protokol prenosu hypertextu.

I-ESC Inštitút pre vesmírne počasie.

IAC Infraštruktúra ako kód.

IGS Medzinárodná služba GNSS.

IMPC Ionosférické monitorovacie a predikčné centrum.

INGV Národný geofyzikálny ústav a vulkanológia.

IPP Ionosférický prierazný bod.

JSON Zápis objektov v jazyku JavaScript.

JSX JavaScript XML.

LSTM Rekurentné neurónové siete s dlhodobou krátkodobou pamäťou.

MAR Náhodne chýbajúce hodnoty atribútov vzoriek.

MCAR Úplne náhodne chýbajúce hodnoty atribútov vzoriek.

MNAR Chýbajúce nie náhodne hodnoty atribútov vzoriek.

MONITOR Monitorovanie Ionosféry pomocou inovatívnych koordinovaných techník pozorovania a zdrojov.

NMA Nórsky úrad pre mapovanie.

NOAA Národný úrad pre oceán a atmosféru.

RNN Rekurentná neurónová sieť.

SAAS Softvér ako služba.

SMS Služba krátkych správ.

SNS Jednoduchá oznamovacia služba.

SWESNET Space Weather Service Network.

SWPC Centrum predpovede vesmírneho počasia.

TEC Celkový obsah elektrónov.

VPC Virtuálne súkromné cloudové úložisko.

YAML Ďalší značkovací jazyk.

Zoznam príloh

Príloha A Používateľská príručka

Príloha B Systémová príručka

Príloha C CD médium – záverečná práca v elektronickej podobe,

A Používateľská príručka

Používateľská príručka slúži pre oboznámenie so všetkými funkciami, možnosťami a postupmi, ktoré sú potrebné na úspešné používanie nášej služby. Bola navrhnutá s ohľadom na potreby používateľov a zameriava sa na poskytnutie komplexného sprievodcu.

Požiadavky na webovú stránku

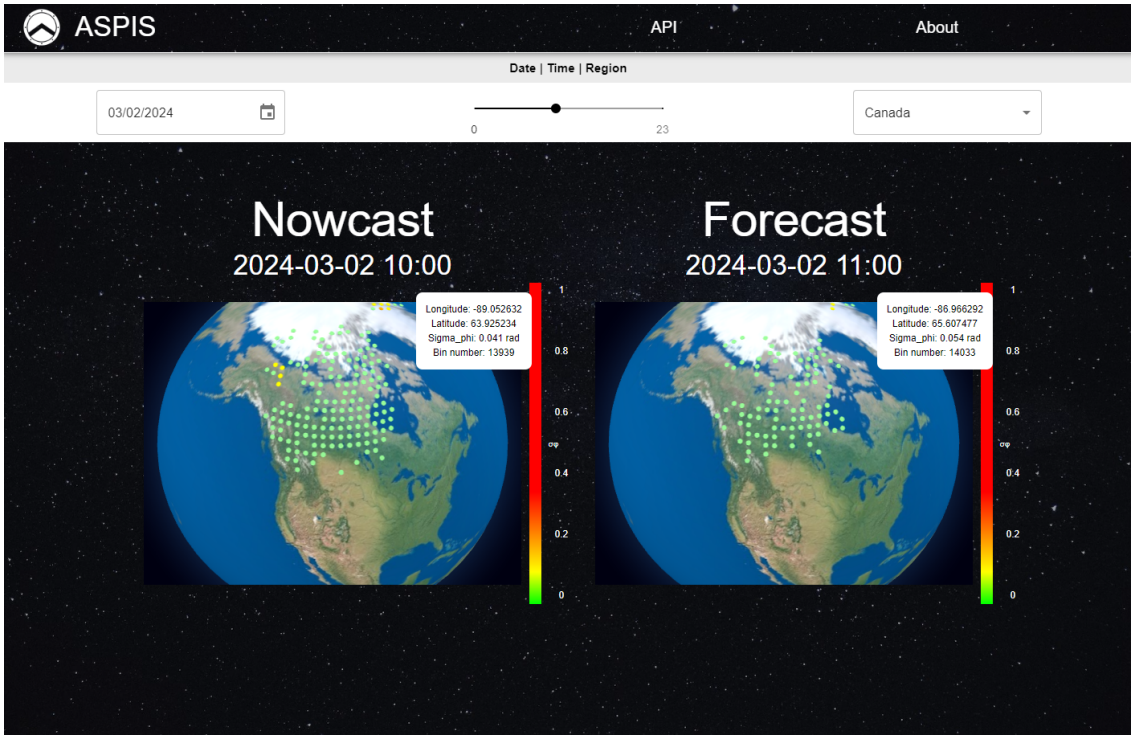
Preto aby sme mohli zobraziť stránku ASPIS je potrebne aby používateľ spĺňal tieto požiadavky:

- Internetové pripojenie
- Webový prehliadač

Naša služba je dostupná na stránkach `aspis.services`, `dev.aspis.services`.

Hlavná stránka

Po príchode na stránku, ako prvé je zobrazená vizualizácia samotných predpovedí ionosférickej scintilácie. Nachádzajú sa tu dva glóbusy, ktoré je možne otáčať a skúmať. Hlavným dôvodom tejto vizualizácie bolo vyhnúť sa tradičným zobrazeniam máp, ktoré môžu skresľovať vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi. Toto riešenie poskytuje možnosť interaktívne skúmať scintilačné údaje po celom svete.



Obr. A.1: Vizualizácia pre stránku About

A.0.1 Mapy Nowcast a Forecast

Na hlavnej stránke projektu sú dve hlavné mapy: Nowcast a Forecast. Mapa Nowcast zobrazuje aktuálne údaje o scintilácii ionosféry v reálnom čase, zatiaľ čo mapa Forecast poskytuje predpovede na budúce hodiny. Táto dvojica máp je kľúčovým prvkom našej služby, ktorá umožňuje získavať aktuálne informácie a plánovať na základe predpovedí.

A.0.2 Interaktívne skúmanie údajov

Jednou z výhod služby je možnosť podrobne preskúmať údaje. Stačí kliknúť na ľubovoľný bod na mape a zobrazia sa ďalšie informácie o lokalite vrátane miery scintilácie, zemepisnej šírky a dĺžky a identifikačného čísla bodu. To umožňuje vykonať podrobnú analýzu a porovnať rôzne lokality.

A.0.3 Preskúmavanie historických údajov

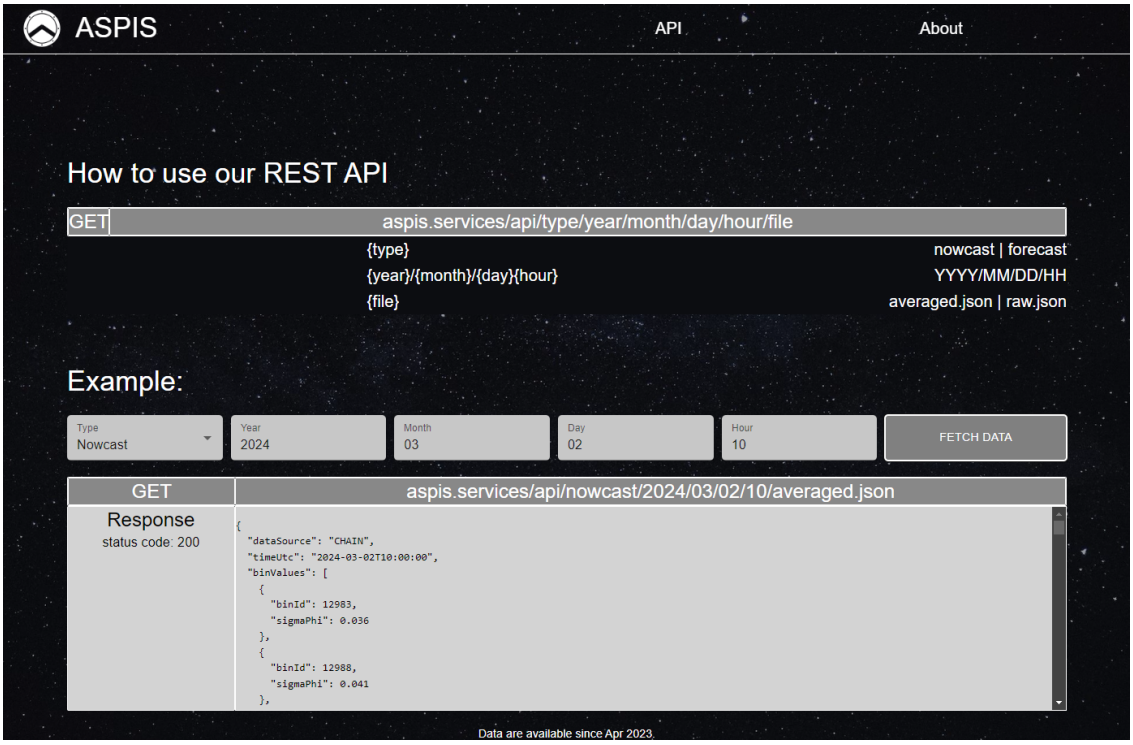
Stránka neobmedzuje prístup len na aktuálne údaje, ale umožňuje skúmať aj historické záznamy. Pomocou možností dátumu a času v hornom navigačnom paneli je možné vybrať časové obdobie, ktoré umožňujú preskúmať, a zobraziť príslušné údaje na mapách v hlavnej ponuke.

A.0.4 Rozsah geografického pokrytia

Služba integruje údaje z rôznych miest v Kanade a Európe, čím poskytuje komplexný pohľad na ionosferickú scintiláciu. Tento prístup umožňuje zhromažďovať údaje z rôznych geografických oblastí a poskytovať používateľom širšiu a komplexnejšiu analýzu javu.

A.1 Stránka pre preskúmanie API

Po vstupe do tejto časti stránky si používateľ môže vybrať konkrétny rok, mesiac, deň a čas, ktorý chce preskúmať. Má tiež možnosť vybrať, či ide o predpoveď alebo aktuálne údaje (nowcast). Po zadaní týchto parametrov môže používateľ odoslať svoju požiadavku.



Obr. A.2: Vizualizácia pre stránku About

A.1.1 Zobrazenie údajov

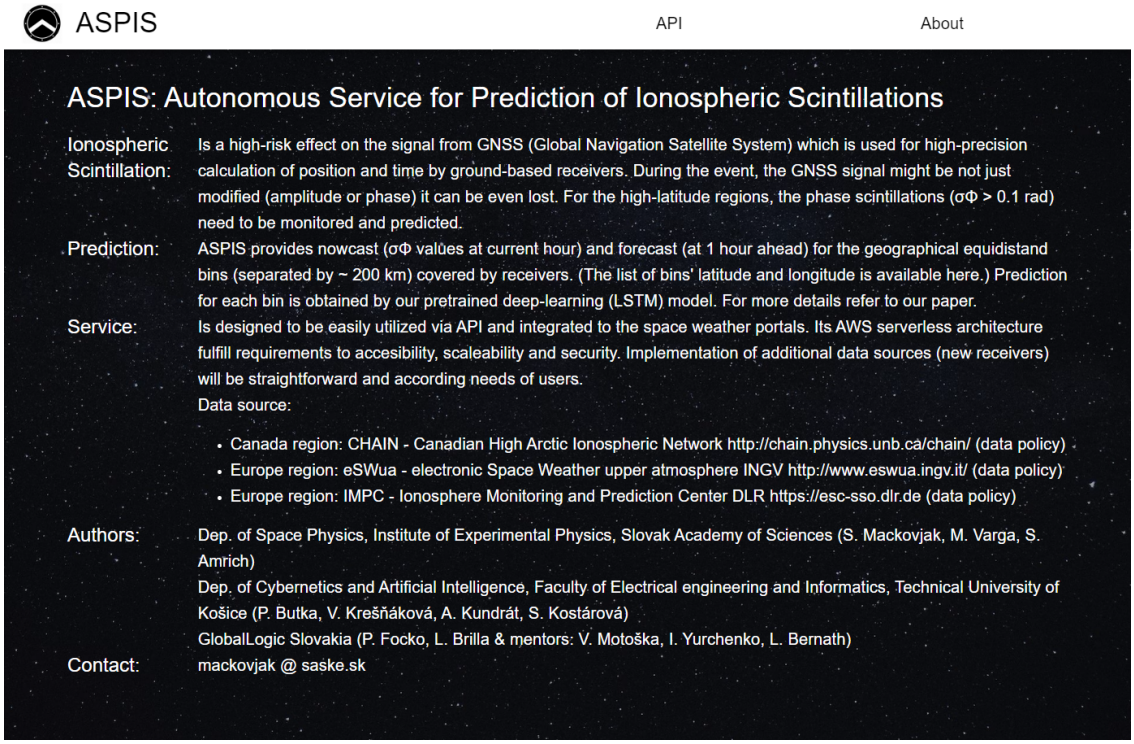
Po odoslaní požiadavky sa zobrazia dostupné údaje za zadaný čas. Je dôležité poznamenať, že ak používateľ vyberie čas, pre ktorý nie sú k dispozícii žiadne údaje, zobrazí sa upozornenie. Tým sa zabezpečí, že používateľ uvidí len skutočne dostupné údaje za dané časové obdobie.

A.1.2 Zobrazenie volania API

Pri vyhľadávaní údajov môže používateľ vidieť aj to, ako vyzerá samotné volanie API vrátane všetkých relevantných parametrov a hodnôt. Získa tak lepší prehľad o tom, ako je systém navrhnutý a ako funguje na pozadí.

A.2 Stránka pre získanie informácii

Na tejto stránke môže používateľ nájsť informácie k problematike pre ionosferickú scintiláciu. Nachádzajú sa tu rôzne informácie ako napríklad, čo to je ionosferická scintilácia, informácie o samotnej predikcii, službe o dátových zdrojov, odkiaľ získavame dáta a v poslednom rade aj o autoroch, kto sa na tvorbe tejto celej služby podieľal.



Obr. A.3: Vizualizácia pre stránku About

B Systémová príručka

Táto príručka poskytuje podrobné informácie o vytváraní, konfigurácii a správe webovej aplikácie.

B.1 Inštalácia a nastavenie projektu

Ako prvé je potrebne stiahnuť programy pre to aby bolo možné spustiť frontend a backend projekt.

B.1.1 Požadovaný softvér

Pre správne fungovanie repozitárov je potrebne nainštalovať nasledujúce programy:

- node.js - link pre stiahnutie programu: `https://nodejs.org/en`.
- Python - link pre stiahnutie programu: `https://www.python.org/downloads/`
- Docker - link pre stiahnutie programu: `https://nodejs.org/en`.

Po stiahnutí repozitárov aspis_service a aspis_webapp je potrebne nastaviť jednotlive projektov.

B.1.2 Frontend

Ako prvé je potrebne si skontrolovať verzie programov.

- Node.js verzia - 18.15.0
- npm version - 9.5.0

Po tomto kroku je potrebne prejsť do samotného repozitára pomocou príkazov:

- cd aspis_webapp

- cd aspis

Ako ďalšie je potrebne nainštalovať všetky dependencies pomocou príkazu: **npm install**. Po týchto nastaveniach je možné si spustiť frontend na lokalhoste pomocou príkazu : **npm run dev**. Je možne si tento projekt pozrieť bez potreby sťahovania repozitárov a dodatočnej inštalácie súborov a to na stránkach `dev.aspis.services` a `aspis.services`.

B.1.3 Štruktúra projektu

V tejto časti je opísaná štruktúra samotného projektu, kde je opísaná hierarchia súborov.

- **node_modules/**: Adresár obsahujúci zdrojové súbory projektu.
- **public/**: Adresár obsahujúci verejne obrázky a súbor, ktorý obsahuje zoznam binov.
- **src/**: Adresár obsahujúci súbory s funkciami, triedami, premennými potrebnými pre aplikáciu.
  - **About.css**: CSS súbor, ktorý definuje štýly pre celú stránku About.
  - **About.jsx.tex**: JSX súbor, ktorá obsahuje informácie o projekte ASPIS, vrátane popisu ionosférických scintilácií, predikcie a poskytovaného servisu, ako aj zoznam autorov a kontaktné údaje.
  - **Api.css**: CSS súbor, ktorý definuje štýly pre celú stránku Api.
  - **Api.jsx**: JSX súbor, ktorý obsahuje kód pre stránku Api, ktorá umožňuje užívateľom získať údaje o predikcii ionosférických scintilácií prostredníctvom REST API, pričom umožňuje dynamicky nastaviť typ, rok, mesiac, deň a hodinu pre požadované údaje a zobrazuje odpoveď servera vrátane stavového kódu a JSON dát.
  - **App.css**: CSS súbor, ktorý definuje štýly pre hlavnú stránku.
  - **App.jsx**: JSX súbor, v ktorom sú implementované interaktívne globálne mapy s dátami o nowcaste a forecaste, ktoré sa dynamicky aktualizujú podľa vybraného dátumu a časového rozsahu.
  - **Dashboard.jsx**: JSX súbor, ktorý používa react-router-dom na navigáciu medzi rôznymi časťami aplikácie pomocou routovania. Obsahuje taktiež samotné pickre pre výber dátumu, času a miesta.

  - **index.css**: Hlavný CSS súbor, ktorý definuje globálne štýly pre celý dokument.
  - **Main.jsx**: Hlavný JSX súbor, ktorý nastavuje základnú konfiguráciu a spúšťa webovú aplikáciu v Reacte, zahŕňajúcu aj globálne štýly a routovanie.
  - **assets/**: Súbor ktorý obsahuje obrázok pre pozadie.

- **index.html/**: Základným HTML súbor, ktorý slúži ako vstupný bod pre webovú aplikáciu.
- **package-lock.json**: Súbor, ktorý obsahuje presné informácie o verziách balíčkov a tak pomáha zabezpečiť konzistentnosť a stabilitu projektov, ktoré používajú npm.
- **package.json**: Centrále miesto pre správu závislostí, konfigurácií a metainformácií projektu v ekosystéme Node.js a npm.
- **vite.congig.js**: Dôležitý JS súbor, ktorý obsahuje informácie o konfigurácií prostredia a budovania projektov s Vite.

B.1.4 Backend

Backand projekt je rozdelený do dvoch adresárov. Ako prvé sa tu nachádza ASPIS_prediction_script adresár, druhú časť tvori adresár aws.

Adresár ASPIS_prediction_script

- **data/**: Tento adresár obsahuje modely pre predikovanie ionsoferických scintilácií, ktoré sú uložené vo formáte HDF5. Ako ďalšie sa tu nachádza txt súbor, ktorý obsahuje zemepisnú dĺžku a zemepisnú šírku jednotlivých binov.
- **ASPIS_service_v1.py**: Tento skript poskytuje komplexné riešenie na spracovanie ionosférických scintilačných údajov a vytváranie predpovedí s využitím modelov strojového učenia a viacerých zdrojov údajov.
- **Dockerfile**: Tento súbor definuje prostredie na spustenie aplikácie napísanej v jazyku Python. Najprv nainštaluje potrebné závislosti, potom skopíruje kód a údaje do obrazu a nakoniec nastaví príkaz na spustenie kontajnera.
- **requirements.txt**: Tento súbor obsahuje zoznam knižníc Pythonu a ich príslušné verzie.

Pre spustenie DockerFile je potrebne mat nainštalovaný program Docker. Následne môžeme použiť príkazy:

- docker build -t aspis-service .
- docker run –rm -it aspis-service

Pomocou týchto príkazov dokážeme vytvoriť Docker obraz a spustiť Docker kontajner.

Adresár aws

- **cdk/**: Adresár obsahujúci súbory, ktoré vytvárajú štruktúru v AWS CDK.
  - **aspis_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý vytvára rámec v službe AWS CDK, ktorý integruje viaceré služby ako VPC, spracovanie dát, frontend, notifikácie a CloudFront distribúciu.
  - **batch_bootstrap_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúra v AWS CDK, ktorá vytvára prostredie pre výpočtové zdroje služby AWS Batch s nastavením typu FARGATE_SPOT, maximálnym počtom virtuálnych procesorov 2 a zabezpečením pomocou zadaného zoznamu ID skupín zabezpečenia.
  - **cloudfront_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúra v AWS CDK, ktorá vytvára distribúciu CloudFront s cachovacou politikou, pripojením k Buckets S3 a záznamami DNS v Route 53, pričom používa certifikát z AWS Certificate Manager.
  - **frontend_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúra v AWS CDK, ktorá vytvára zásobník pre frontendový bucket S3 s možnosťou nastavenia pravidla pre vypršanie platnosti súborov.
  - **notification_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúra v AWS CDK, ktorá vytvára zásobník pre notifikácie o zlyhaní spracovávania úloh pomocou SNS (Simple Notification Service) a pravidla CloudWatch Events.
  - **processing_stack.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúru v AWS CDK, ktorá vytvára zásobník pre spracovanie údajov pomocou služby AWS Batch, s definíciou úlohy na spracovanie kontajnerov, konfiguráciou úloh a pravidlami spúšťania úloh pomocou služby CloudWatch Events

  - **vpc_stack.jsx**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý definuje štruktúru v AWS CDK, ktorá vytvára zásobník pre virtuálnu privátnu cloudovú sieť (VPC) s definovanými podsieťami, internetovou bránou tabuľkami pre verejné podsiete, a priradzuje podsiete podľa toho, či sú verejné alebo súkromné.

- **app.py**: Tento súbor obsahuje kód, ktorý vytvára CloudFormation šablóny pomocou AWS CDK, konkrétne dva zásobníky (stacks) s názvami "devä "prod", ktoré konfigurujú infraštruktúru pre projekt Aspis s rôznymi nastaveniami, ako sú podsiete, doménové mená, zoznamy na notifikácie a iné.

- **cdk.json**: Tento súbor definuje konfiguráciu pre nástroj watchexec, ktorý sleduje zmeny v súboroch v priečinku a vykonáva zadané akcie na základe týchto zmien. Konkrétne, sleduje všetky súbory v priečinku a jeho podpriečinkoch s výnimkou niektorých špecifických súborov a priečinkov. Taktiež obsahuje rôzne konfiguračné možnosti pre AWS CDK a iné nástroje a služby AWS, ktoré môžu ovplyvniť správanie a konfiguráciu infraštruktúry.

- **requirements.txt, requirements-dev.txt**: Tieto súbory obsahujú zoznam závislostí pre projekt, pričom špecifikuje verzie týchto balíkov.

Pre testovanie cdk na lokále je potrebne si nainštalovať prostredie venv. Toto prostredie je možne nainštalovať pomocou týchto príkazov:

- pip -m venv aws_venv
- aws_venv/Scripts/activate

Po úspešnom spustení docker image a venv prostredia je možné následne spustenie a nasadenie AWS infraštruktúry v lokálnom prostredí. Avšak ako prvé je potrebné nastaviť údaje v súbore app.py ako sú region, účet, id a taktiež maily, na ktoré sa budú odosielať notifikácie ohľadom AWS služby. Následne po nastavení týchto údajov je potrebne vytvoriť cloudFormation šablónu a tú následne nasadiť aby sa nasadili zdroje do AWS účtu. Pre vytvorenie šablóny a nasadenie je potrebné použiť príkazy:

- pip install -r requirements.txt
- cdk deploy

Na základe týchto príkazov je možné vytvoriť AWS infraštruktúru na lokálnom prostredí.

B.1.5 Api

API na stránke aspis.services poskytuje prístup k štruktúrovaným dátam podľa určitého typu, roku, mesiaca, dňa, hodiny a názvu súboru.

- **Endpointy**: GET /api/type/year/month/day/hour/file: Vracia štruktúrované dáta pre zadaný typ, rok, mesiac, deň, hodinu a názov súboru.
- **Parametre:**:
  - **type**: Typ dát, ktoré sa majú získať.
  - **year**: Rok, pre ktorý sa majú dáta získať.
  - **month**: Mesiac v roku, pre ktorý sa majú dáta získať (v rozmedzí 1 až 12).
  - **day**: Deň v mesiaci, pre ktorý sa majú dáta získať (v rozmedzí 1 až 31).
  - **hour**: Hodina v deň, pre ktorú sa majú dáta získať (v rozmedzí 0 až 23).
  - **file**: Názov súboru, ktorý obsahuje požadované dáta.

Príklad pre použitie API:

https://aspis.services/api/nowcast/2024/04/08/16/averaged.json