

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Bakalářská práce

Návrh aplikační architektury pro publikaci fotografických dat z mobilního mapovacího systému

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan VONDRÁČEK**
Osobní číslo: **A21B0694P**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační systémy**
Téma práce: **Návrh aplikační architektury pro publikaci fotografických dat z mobilního mapovacího systému**
Zadávací katedra: **Katedra informatiky a výpočetní techniky**

Zásady pro vypracování

1. Analyzujte fotografická data z mobilního mapovacího systému
2. Navrhněte architekturu řešení aplikace (byznys architekturu, aplikační architekturu)
3. Proveďte analýzu a výběr vhodného webového mapového klienta pro implementaci prototypu
4. Implementujte jednoduchý prototyp aplikace
5. Vyhodnoťte dosažené výsledky

Rozsah bakalářské práce: **doporuč. 30 s. původního textu**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Dodá vedoucí bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Dr. Ing. Jana Klečková**
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Datum zadání bakalářské práce: **3. října 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Přemysl Brada, MSc., Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 25. října 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 22. června 2023

Jan Vondráček

Abstract

The aim of this work is to design the architecture of the application, which will allow the publication of photographic data from a mobile mapping system for the needs of GEOREAL, spol. s r.o. The analytical part deals with the description of the mobile mapping system, including its use in practice. Furthermore, this part deals with technologies for the publication of spatial data and trends in the development of web applications, which is followed by a selection of suitable technologies for the implementation of a prototype application. The implementation part describes the design of the application structure, software solution and subsequent testing of the web application for the publication of spatial data and evaluation of the achieved results.

Abstrakt

Cílem této práce je návrh architektury řešení aplikace, která bude umožňovat publikaci pořízených fotografických dat z mobilního mapovacího systému pro potřeby společnosti GEOREAL, spol. s r.o. Analytická část se věnuje popisu mobilního mapovacího systému včetně jeho použití v praxi. Dále se tato část věnuje technologiím pro publikaci prostorových dat a trendům ve vývoji webových aplikací, na které navazuje výběr vhodných technologií pro implementaci prototypu aplikace. Realizační část popisuje návrh struktury aplikace, softwarové řešení a následné testování webové aplikace pro publikaci prostorových dat a vyhodnocení dosažených výsledků.

Obsah

1	Úvod	1
2	Mobilní mapovací systémy (MMS)	2
2.1	Základní charakteristika MMS	2
2.2	Sestava MMS	2
2.2.1	Mobilní platforma	2
2.2.2	Mobilní laserové skenery	3
2.2.3	Digitální zobrazovací zařízení	3
2.2.4	GNSS, IMU	3
2.2.5	Zpracování dat	4
2.3	Využití mobilních mapovacích systémů	5
2.4	Výrobci mobilních mapovacích systémů	5
3	Analýza zdrojových dat a specifikace požadavků	6
3.1	Panoramatické snímky a jejich projekce	6
3.1.1	Druhy panoramat	6
3.1.2	Projekce panoramat	7
3.2	Prostorová data z MMS	8
3.3	Specifikace požadavků	9
3.3.1	Funkční požadavky	10
3.3.2	Další požadavky	10
4	Návrh	11
4.1	Byznys architektura	11
4.1.1	Katalog organizačních jednotek, aktérů a rolí	12
4.1.2	Katalog funkcí a procesů	13
4.2	Aplikační architektura	13
4.2.1	Katalog aplikačních komponent a funkcí řešení frontendu	14
4.2.2	Katalog aplikačních komponent a funkcí řešení backendu	15
4.2.3	Katalog základních datových entit datového skladu .	15
4.3	Základ datového skladu	16
4.3.1	Hlavní evidenční tabulky	16
4.3.2	Tabulky s daty RÚIAN	19
4.3.3	Úložiště snímků	20
4.3.4	Správa dat	21

5	Analýza a výběr technologií pro publikaci prostorových dat	23
5.1	Architektury systémů	23
5.1.1	Dvoustvrvá architektura (klient-server)	23
5.1.2	Třívrstvá architektura	24
5.2	Databázové systémy	26
5.2.1	Oracle Spatial	27
5.2.2	PostgreSQL/PostGIS	28
5.2.3	Geometrický prvek	28
5.2.4	Prostorové indexování	29
5.2.5	Zvolený databázový systém	30
5.3	GIS pro správu dat	30
5.3.1	QGIS	32
5.3.2	ESRI ArcGIS	32
5.3.3	Zvolený desktop GIS	33
5.4	Mapové servery	33
5.4.1	Mapserver	34
5.4.2	Geoserver	34
5.4.3	Zvolený mapový server	35
5.5	Technologie pro tvorbu webových mapových klientů	36
5.5.1	OpenLayers	36
5.5.2	Leaflet	36
5.5.3	Zvolený mapový klient	37
5.6	Výběr prohlížeče panoramatických snímků	37
5.7	Vybrané technologie pro tvorbu webových aplikací	38
5.7.1	HTML	38
5.7.2	CSS	38
5.7.3	Javascript	38
5.7.4	REST	39
5.8	Shrnutí	39
6	Implementace prototypu aplikace	40
6.1	Model aplikace	40
6.2	Struktura projektu	40
6.3	Datová část	41
6.3.1	Databáze	41
6.3.2	Úložiště snímků	42
6.4	Server	42
6.4.1	Webový server	42
6.4.2	Mapový server	42
6.4.3	Komunikační API	43

6.5	Klient	43
6.5.1	Web	43
6.5.2	Správa dat	45
6.6	Uživatelské rozhraní	45
6.6.1	Panoramatický prohlížeč	46
7	Testování	48
7.1	Hodnocení od uživatelů	48
7.1.1	Uživatel A	48
7.1.2	Uživatel B	48
7.2	Možná rozšíření do budoucna	48
7.2.1	Rozšíření na základě testování	48
7.2.2	Další možná rozšíření	49
8	Závěr	50
	Seznam použitých zkratk	51
	Literatura	53
	Seznam tabulek	56
	Seznam obrázků	57
A	Uživatelská příručka	58
A.1	Editor	58
A.1.1	Import dat	58
A.1.2	Publikace dat	59
B	Obsah ZIP souboru	63
B.1	Struktura ZIP souboru	63

1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá možnostmi způsobu využívání a publikace geodat, které jsou pořizovány jednou z moderních technik sběru geodat, kterou je mobilní mapování. Místa, kde geodeti dříve museli trávit spoustu času měření a budováním bodových polí, mohou být v dnešní době zmapována během několika hodin pomocí laserového skenování. Mobilní mapovací systémy se uplatňují hlavně v mapování dopravní infrastruktury a v 3D modelování měst. V této práci budou analyzována fotografická data pořízená pomocí MMS (Mobilní Mapovací Systém) a možnosti jejich publikace pomocí IT technologií v prostředí internetu. Pro jasnější představu, jak tato data vypadají a jaké jsou možnosti jejich publikace, může posloužit jako příklad aplikace Google Street View, která nabízí panoramatické pohledy v mnoha městech a státech v různých částech světa. Takový mapový prohlížeč může být významným pomocníkem při hledání informací. Jde hlavně o škálovatelné prohlížeče silniční (dopravní) infrastruktury s detaily v koridorech ulic v obcích a městech.

Webové aplikace poskytují nové možnosti publikování prostorových dat, které využívají nejen skupiny odborníků, ale i stále širší část veřejnosti. Se stále rostoucími rychlostmi internetového připojení, ale i výpočetního výkonu přenosných zařízení byly technologicky vyřešeny problémy s publikováním velkých datových souborů v reálném čase. Uživatelé webových technologií tak zcela logicky předpokládají dostupnost stále intuitivnějších a propracovanějších nástrojů pro práci s těmito geodaty přímo v místě, kde k nim přistupují.

Na základě výše uvedených trendů v ICT (Informační a komunikační technologie) vznikl ve spolupráci s firmou **GEOREAL spol. s r.o.** projekt, jehož cílem je vytvořit prototyp webové aplikace pro publikaci pořízených fotografických dat z MMS. Spolu s rostoucími možnostmi pro publikování geodat pomocí webových aplikací v prostředí internetu se stále častěji vyskytuje problém určení a výběru vhodného nástroje pro práci s těmito daty, a proto je tato problematika jedna ze stěžejních částí této bakalářské práce. Aplikace bude zobrazovat interaktivní propojení pozic snímků v mapě, ve kterých bude možný pohyb v panoramatické fotografii.

Pomocí prototypu aplikace bude ověřena zejména výkonnost systému z pohledu odezvy při práci s fotografickými daty v prostředí internetu.

2 Mobilní mapovací systémy (MMS)

2.1 Základní charakteristika MMS

Mobilní mapování je proces sběru prostorových dat z pohybujícího se objektu vybaveného různými systémy bezkontaktního sběru dat, které obsahují integrovanou soustavu časově synchronizovaných navigačních a obrazových senzorů. Primární výstupy zahrnují data pro GIS (Geografické Informační Systémy), digitální mapy, georeferencované obrazy a video.

MMS je zařízení určené k bezkontaktnímu podrobnému měření z mobilního prostředku, které se využívá ke sběru geoprostorových dat (3D), inventarizaci nemovitého majetku, monitorování koridorů a mapování dopravní infrastruktury (vodní, železniční, silniční, potrubní, energetické aj.), a to před, v průběhu nebo po ukončení její výstavby. Zařízení obvykle sestává z vlastní mobilní platformy, mobilních laserových skenerů, digitálních kamer (video, černobílých, barevných, infračervených, multispektrálních, termálních), odometru¹, přijímačů GNSS, inerciální měřicí jednotky (IMU) a výpočetních prostředků, které slouží k synchronizaci činností všech složek systému a ke správě zaznamenaných dat [26].

2.2 Sestava MMS

MMS se skládají z několika důležitých modulů. Tyto moduly se mohou lišit podle výrobce, ale jejich princip zůstává stejný. Základními moduly jsou mobilní platforma, mobilní laserové skenery, digitální kamery, přijímače GNSS a IMU.

2.2.1 Mobilní platforma

Za dopravní prostředky se nejčastěji používají auta, ale MMS lze připevnit na různé pohybující se objekty, jako jsou např. čtyřkolky, speciální železniční vozidla, lodě, vrtulníky, ale také se již mohou používat i bezpilotní létající prostředky, jako jsou drony.

¹Odometr je zařízení sloužící pro měření vzdálenosti a rychlosti pohybu.

2.2.2 Mobilní laserové skenery

Nedílnou součástí MMS jsou laserové skenery. Tato technologie umožňuje bezkontaktní sběr geodetických dat o objektech a výrazně rozšiřuje jejich využitelnost. Vyniká svou rychlostí sběru dat, bezpečností při práci, přesností a komplexností měření velkého množství údajů. Využívá se pro různé studie, vizualizace, plánování, 3D modelování objektů atd. Dnešní laserové skenery využívají pro měření prostorové vzdálenosti k bodu převážně pulsní laserovou technologii, která rozmítá paprsky infračerveného světla pomocí zrcadla nebo hranolu. Dříve se používaly 3D laserové skenery, se kterými bylo možné skenovat okolí vozidla pouze ve statickém režimu. V současné době se v mobilním mapování používají systémy, které jsou složené z více 2D skenerů, které skenují povrch v pohybu po trajektorii. Třetí rozměr je získán změnou polohy systému skenerů v čase. Přesnost laserového skeneru závisí na jeho parametrech – frekvence vysílaného laserového pulzu (př.: $f=100\text{kHz}\rightarrow 100.000$ bodů za vteřinu), směr a rozsah vysílaného paprsku. Dále hraje roli také časové a prostorové rozlišení a rychlost vozidla [32].

2.2.3 Digitální zobrazovací zařízení

Pro snadnější interpretaci dat získaných laserovými skenery je výhodné mít i odpovídající obrazový záznam. Základní funkcí digitální kamery je snímání statických obrazů do podoby digitálních fotografií a umožnit tak jejich další zpracování. Pro získání digitálního obrazového záznamu je nutné integrovat digitální fotoaparáty či kamery do mobilních mapovacích systémů a zajistit jejich přesnou synchronizaci se systémy GNSS a IMU. Digitální kamery mají více objektivů, což znamená, že bod je zachycen několikrát. V pozemních MMS se nejčastěji používají kamery s rozlišením 5 až 10 Mpix. Důležitým parametrem je FOV (Field of view), který nám definuje šířku záběru, a tzv. frame rate, což je počet snímků, které je kamera schopná pořídit za vteřinu. V současných MMS se často používají sférické kamery, které mají úhel záběru 360° a jsou tak schopny vytvořit snímky zachycující celé jejich okolí (panoramatické) [24].

2.2.4 GNSS, IMU

GNSS (Global Navigation Satellite System) je označení pro každý satelitní systém, který se používá pro přesné určení geografické polohy uživatele kdekoli na světě. Je to konstelace satelitů poskytujících signál z vesmíru, které vysílají údaje o poloze a čase GNSS přijímačům, které pak pomocí těchto dat určí polohu. Mezi nejrozšířenější GNSS patří evropský Galileo, americký GPS

(Global Positioning System), ruský GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) a čínský BeiDou [9]. Každý ze systémů GNSS využívá kombinaci oběžných družic a pozemních stanic, které spolupracují při poskytování navigačních informací. V MMS je tento systém používán k přesnému zjištění polohy skeneru v průběhu měření.

Základním způsobem určování polohy jsou jeden či dva GNSS přijímače, které jsou součástí MMS. Samotný přijímač umožňuje získání pozice s přesností okolo jednoho metru. Velké množství těchto systémů proto využívá také pozemní, statický přijímač GNSS, jehož anténa je umístěna ve známé vzdálenosti od primárního přijímače. Rozdílnost ve vzdálenosti obou přijímačů umožňuje velmi přesné měření pohybu vozidla, a to i v případě nízkých rychlostí, respektive malých změn v poloze [26]. V případě použití pozemního přijímače lze určit polohu dokonce s přesností několika centimetrů.

Navzdory těmto možnostem bývá měření pomocí GNSS v některých prostorech nedostačující. Vysoké budovy, tunely, pohyb pod korunami stromů a podobné překážky znemožňují přijímání GNSS signálu. Z těchto důvodů je nutná kombinace GNSS s IMU (inerciální měřicí jednotka), která dodává údaje o poloze i v situacích, kdy je signál ze satelitů nějakým způsobem narušován.

Jak již bylo zmíněno, systémy GNSS neposkytují dostatečně přesná data o poloze, a to zejména z důvodu nižšího časového rozlišení těchto údajů, ale také kvůli narušování signálu prostředím. Navíc systémy GNSS nedokážou určovat příčný a podélný náklon nosiče (vozidla), který je nezbytný pro přesné určení orientace laserového senzoru v okamžiku vyslání pulzu. IMU je kvůli těmto nedostatkům GNSS nezbytná součást MMS, většinou ve spojení s externími odometry.

IMU je zařízení obsahující gyroskopy a akcelerometry, které určují nezávisle na prostorové poloze senzoru jeho úhlové prvky vnější orientace vůči přijatému souřadnicovému referenčnímu systému. Kombinace systémů GNSS a IMU právě poskytuje prvky vnější orientace pro každý snímek. Tato kombinace je velmi výhodná, protože zlepšuje celkovou spolehlivost a přesnost. IMU slouží pro vyhlazení šumu v GNSS měření a tím pomáhá překonat výpadky signálu ze satelitů. Naproti tomu GNSS je vhodný na kompenzaci časově závislých systematických chyb IMU.

2.2.5 Zpracování dat

Po sběru dat v terénu přichází na řadu jejich zpracování (post-processing). Nejdříve je nutné data přiřadit do požadovaného souřadnicového systému. Vzhledem k tomu, že data jsou již georeferencovaná pomocí systému GNSS

(nejčastěji GPS, které odpovídá souřadnicovému systému WGS 84), dostačuje jejich pouhé převedení do cílového souřadnicového systému, kterým je pro většinu geodat na území ČR polohový souřadnicový systém S-JTSK (Systém Jednotné Trigonometrické Sítě Katastrální)² a výškový systém Bpv³. Další fází následného zpracování je eliminace nepotřebných či chybových dat, které mohou nastat v závislosti na atmosférických podmínkách. Data z laserových skenerů jsou převedena na mračna laserových bodů. K vytvoření realistického 3D modelu území mohou být mračna bodů ještě následně obarvena pořízenými snímky.

2.3 Využití mobilních mapovacích systémů

Uplatnění technologie MMS je nesmírně široké a s postupem času stále vzrůstá. S ohledem na technologický pokrok jednotlivých součástí MMS se dá předpokládat využití a nasazení tohoto systému v místech, kde to ještě před pár lety bylo jen těžce představitelné.

Obecně se MMS využívají k podrobnému zaměření polohopisu a výškopisu, dokumentaci fasád budov, mapování uličních front ve městech a obcích, tvorbě 3D modelů měst a terénu, pasportizaci dopravních značek, veřejného osvětlení a spoustě dalších projektů. Při využití na vodě je možné mapování např. břehů řek, přehrad, nebo jezer a stejně jako na silnicích i dopravních značek. Letecké MMS se typicky využívají pro tvorbu digitálních modelů terénu. V této práci se budeme zajímat o pozemní sběr dat pomocí MMS připevněného na automobilu.

2.4 Výrobci mobilních mapovacích systémů

Na trhu existuje celá řada společností, kteří vyrábí tyto technologie. Mezi ty nejrozšířenější patří např. Riegl, Leica, Topcon a Trimble. V této práci jsou zpracovávána data z mobilního laserového skenovacího systému společnosti Riegl, který nabízí vysokou kvalitu měření i při vyšších rychlostech jízdy. Systém slouží pro rychlý sběr 3D dat a vyznačuje se velkou přesností a vysokým rozlišením pořízených dat. Využití systému se uplatní zejména při mapování silnic, železnic, vodních toků atd. Systém se skládá z plně integrovaných a kalibrovaných laserových skenerů, IMU/GNSS vybavení, volitelným kamerovým systémem a Riegl software.

²S-JTSK – je pravoúhlá souřadnicová síť používaná v geodézii na území ČR a SR.

³Bpv – jako balt(ský) po vyrovnání (zkratkou Bpv) se označuje výškový systém používaný v Česku a dalších zemích.

3 Analýza zdrojových dat a specifikace požadavků

3.1 Panoramatické snímky a jejich projekce

Označení panorama se používá pro jakýkoliv široký rozhled nebo fotografii zachycující krajinu, nebo nějaký celek. Nejčastěji vzniká použitím širokoúhlých objektivů, nebo spojením několika běžných fotografií vedle sebe. Samotný pojem panorama nedefinuje přesné požadavky na výslednou fotografii a její formát. Obecně je za panorama považována jakákoliv fotografie se zorným polem blízkým či větším, než má lidské oko – okolo 160° horizontálně a 75° vertikálně. Díky tomu se za panoramata často považují i širokoúhlé fotografie. K rozlišení jednotlivých typů panoramat a dostupných projekcí je třeba určit, jaký zorný úhel fotografie pokrývá. Na základě tohoto aspektu je lze rozdělit na částečná a úplná.

3.1.1 Druhy panoramat

Částečné panorama

Jsou taková panoramata, která nepokrývají celý prostor okolo diváka ze všech stran. Pokrývají tedy pouze část jak horizontálního, tak i vertikálního zorného pole. Typickým příkladem jsou panoramata pořízená pomocí běžných moderních mobilních telefonů. Pokud je částečné panorama vytvořeno tak, aby pokrývalo úhel 360° v horizontálním směru, tak se jedná o spojení více snímků dohromady, jelikož neexistuje objektiv, který by dokázal zachytit tak široký úhel záběru.

Úplné panorama

Oproti částečnému 360° panoramatu zachycuje navíc i pohled nahoru a dolů. Úhel záběru tedy činí 360° ku 180° . Ve většině případů jsou tedy snímky spojovány nejen vedle sebe, ale i nad sebou. S využitím širokoúhlých objektivů je možné složit úplné panorama už ze 2, nebo 3 snímků. Běžně se ale skládají klidně z 20 až 30 snímků.

3.1.2 Projekce panoramat

Panorama lze zobrazit pomocí několika projekcí. Každá projekce má své výhody i nevýhody a je vhodná pro odlišný typ panoramat. V každém případě však dochází k nějakému druhu zkreslení (změna délek, zakřivení původně rovných linií apod.). Nejběžněji používané projekce jsou cylindrická, rectilineární a sférická.

Cylindrická

Cylindrická projekce zachovává rovné vertikály a v horizontálním směru navíc zachovává délky. Tvoří ji fotografie natažená na stěnu imaginárního válce, kde je pozorovatel uvnitř. Tato projekce je vhodná pro 360 ° panoramata, kde chybí pohled nahoru a dolů. Nevýhodou je, že ohýbá některé linie, což může být rušivý element např. u fotografií architektury.

Rectilineární

Rectilineární projekce zachovává rovné linie ve všech směrech, ale za cenu zkreslování délek a to zejm. v rozích. Tato projekce vypadá ze všech nejpřirozeněji, protože výsledný obraz odpovídá obrazu z běžných objektivů. Kvůli tomu je tato projekce vhodná pro panoramata s celkovým zorným úhlem do 120 °. Poté se už deformace rohů stává neúnosnou.

Sférická

Sférická projekce, nebo v jistém případě "malá planeta" je prezentace panoramatické fotografie v rovinném charakteristickém zkreslení. Tvoří ji fotografie, která je natažena na imaginární kouli pokrývající celý její plášť. V obrazu jsou zastoupeny všechny úhly pohledu, které jsou vidět z místa pořízení. Oproti cylindrické projekci je doplněno o pohled nahoru a dolů [17].

V této práci budeme pracovat s touto projekcí panoramat viz obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Ukázka zdrojových dat – sférické panorama

3.2 Prostorová data z MMS

MMS zaznamenává několik parametrů pro každý stanovený časový interval, nebo ujetou vzdálenost. Tato kapitola se zaměří na data z MMS Riegl, který sbírá a ukládá primární data jako binární soubory a ty se dále zpracovávají pomocí softwaru RIPROCESS¹. Výstupem zpracování primárních dat je soubor s prostorovými informacemi ve formátu CSV. Dále jsou to složky se samostatnými fotografiemi jednotlivých objektivů a složka s panoramatickými fotografiemi, které jsou z nich složeny. Všechny fotografie jsou ve formátu JPG.

Pro vyhotovení tohoto projektu budou použity již zmíněná zpracovaná data softwarem RIPROCESS ve formátu CSV obsahující celkem 17 polí a panoramatické fotografie ve formátu JPG s rozlišením 8 000 x 4 000 px.

Popis atributů prostorových dat

- **Timestamp** – absolutní GPS čas²
- **Filename** – název snímku ve formátu JPG
- **Origin (Easting[m], Northing[m], Height[m])** – souřadnice původu kamery v lokální soustavě souřadnic
 - Easting[m] – souřadnice X

¹RIPROCESS je software od společnosti Riegl pro zpracování a analýzu dat získaných pomocí laserového skenování.

²Absolutní GPS čas je časová informace nezávislá na časové škále na Zemi, která slouží pro synchronizaci času mezi GPS satelity a přijímači.

- `Northing [m]` – souřadnice Y
- `Height [m]` – souřadnice Z
- `Direction (Easting, Northing, Height)` – vektor, který popisuje směr, ve kterém byla kamera natočena v lokální soustavě souřadnic
 - `Easting [m]` – souřadnice X
 - `Northing [m]` – souřadnice Y
 - `Height [m]` – souřadnice Z
- `Up (Easting, Northing, Height)` – vektor, který popisuje směr, ve kterém se nachází horní část kamery v lokální soustavě souřadnic
 - `Easting [m]` – souřadnice X
 - `Northing [m]` – souřadnice Y
 - `Height [m]` – souřadnice Z
- `Roll(X) [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy X v lokální soustavě souřadnic
- `Pitch(Y) [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy Y v lokální soustavě souřadnic
- `Yaw(Z) [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy Z v lokální soustavě souřadnic
- `Omega [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy X v geodetické soustavě souřadnic
- `Phi [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy Y v geodetické soustavě souřadnic
- `Kappa [deg]` – orientace kamery v prostoru kolem osy Z v geodetické soustavě souřadnic [16]

3.3 Specifikace požadavků

Aplikace bude navržena tak, aby vyhovovala použití ve veřejné správě (zejména obce nebo města), kde uživatelem bude úředník, který data využívá pro správu majetku obce nebo města (dopravních značek, zeleně apod.). Aplikace bude zpracovávat data o pořízení snímku z MMS a bude navržena tak,

aby v budoucnu umožnila přidávat další bodové vrstvy se středy pořízených snímků a dále i vlastní snímky bez zásadních změn ve struktuře datového skladu. Aplikace umožní administraci, tj. aktualizaci bodových vrstev a archivaci původních dat. Dále bude aplikace uchovávat metadata o pořízených datech a primárně prezentovat nejaktuálnější data bodových vrstev a snímků.

3.3.1 Funkční požadavky

Uživatelské rozhraní aplikace umožní zobrazení mapových podkladů a bude poskytovat následující funkce:

- Základní práce s mapou, jako je přibližování, oddalování atd.
- Zobrazování a interakce s bodovou vrstvou středů snímků, kdy se po kliknutí na bod zobrazí jeho přidružená panoramatická fotografie.
- Prohlížeč snímků umožní základní funkce prohlížeče panoramat, jako otáčení, přibližování a oddalování.

3.3.2 Další požadavky

Cílem aplikace je zobrazení bodových vrstev středů snímků a prohlížení příslušných panoramatických snímků a zároveň musí být zajištěna dostatečná rychlost odezvy při práci s aplikací. Dalším požadavkem je přehlednost struktury aplikace kvůli možnosti dalších rozšíření do budoucna. Základem jsou prostorová data a snímky. Pro každý publikovaný bod existuje vždy jeden snímek. Aplikace by měla být kompatibilní s běžnými webovými prohlížeči a uživatelské rozhraní by mělo být maximálně intuitivní.

4 Návrh

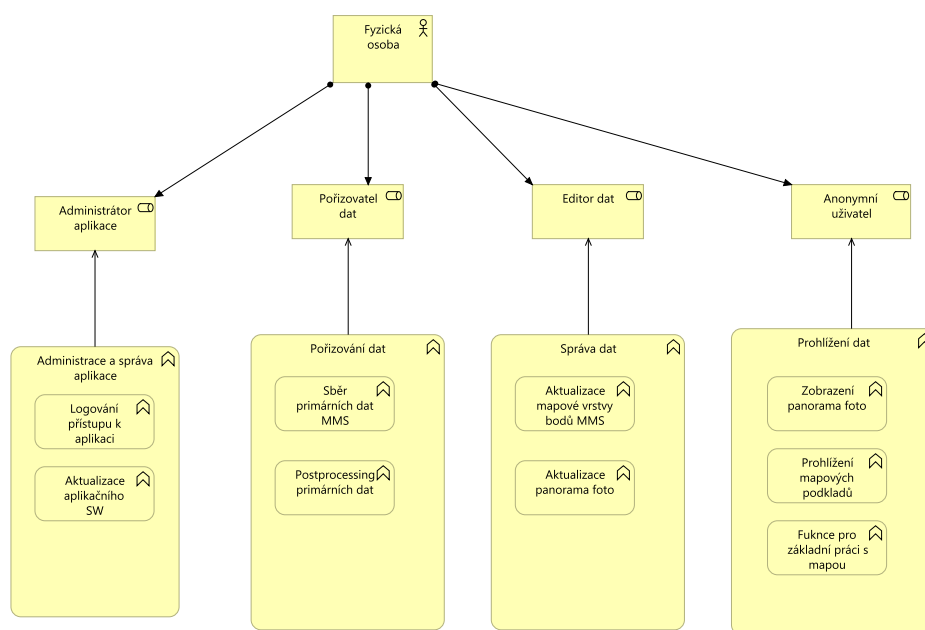
Dle požadavků byly vytvořeny návrhy byznys a aplikační architektury v modelovacím jazyce *Archimate*. Tvorba architektur byla inspirována frameworkem *TOGAF* (The Open Group Architecture Framework)¹.

Celý cyklus tvorby architektur pomocí metodiky *TOGAF* poskytuje velmi komplexní metodiku, postupy a nástroje pro správu, návrh a implementaci podnikové architektury a je rozdělen do několika fází a ty na další kroky. Velmi zjednodušeně se dá říci, že definuje „*Co?*“, tedy v jaké organizaci a jaké součásti architektury úřad modeluje a „*Jak?*“ přesně se u toho má postupovat v celém životním cyklu architektury. Pro naši aplikaci se zaměříme pouze na dvě fáze cyklu, a to sice na tvorbu byznys architektury a aplikační architektury [5].

4.1 Byznys architektura

Byznys architektura se zaměřuje na analýzu, návrh a plánování podnikových funkcí, procesů a požadavků specifických pro daný softwarový produkt. Má zajistit, aby software splňoval potřeby organizace, podporoval její strategické cíle a byl efektivní a udržitelný v průběhu celého svého životního cyklu. Dobře navržená byznys architektura softwaru může pomoci dosáhnout jeho efektivnějšího a úspěšnějšího fungování, zlepšení celkového výkonu a uspokojení uživatelských požadavků. Klíčovými prvky jsou identifikace klíčových funkcí, návrh procesů a role a aktéři. Návrh byznys architektury je znázorněn na obrázku 4.1.

¹TOGAF slouží jako "manuál", resp. best practice pro návrh Enterprise architektury (EA) společně s *Archimate* – podpůrným modelovacím jazykem



Obrázek 4.1: Návrh byznys architektury

4.1.1 Katalog organizačních jednotek, aktérů a rolí

Administrátor aplikace

Provádí správu IS a zajišťuje provoz aplikace, správu aplikačního SW. Dále odpovídá za dostupnost, důvěrnost a integritu IS. Poskytuje asistenční a konzultační služby pro pořizovatele a editory dat.

Pořizovatel dat

Provádí sběr a post-processing primárních dat pořízených MMS.

Editor dat

Provádí správu a aktualizaci datového skladu IS. Kontroluje integritu a kvalitu dat v datovém skladu. Provádí potřebné operace pro efektivní chod datového skladu.

Anonymní uživatel

Neregistrovaná veřejnost, která má anonymní přístup do klientské aplikace. Prohlíží data z IS.

4.1.2 Katalog funkcí a procesů

Administrace a správa aplikace

Zajištění správy a údržby IS. Monitoring systému a služeb.

Pořizování dat

Poskytování změnových dat pro aktualizaci mapové vrstvy bodů MMS a panoramatických snímků.

Správa dat

Zajištění aktualizace datového obsahu, tj. příjem, kontrola a zpracování dat do datového skladu.

Prohlížení dat

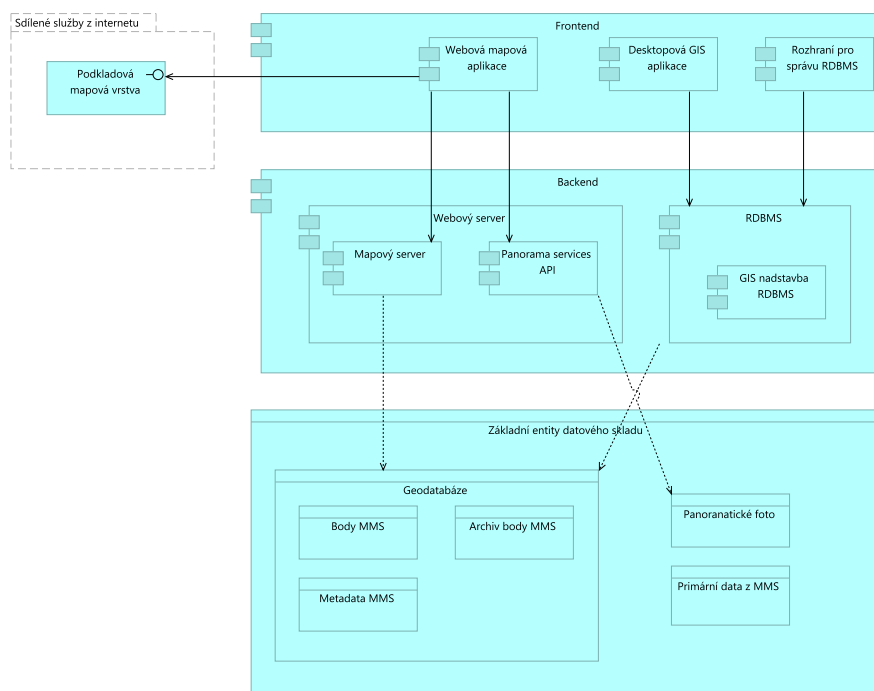
Prohlížení mapových služeb IS.

4.2 Aplikační architektura

Aplikační architektura je struktura a organizace softwarové aplikace, která se skládá z různých komponent, jejich vzájemných vztahů, principů a pravidel, které určují jejich interakci a chování. Cílem aplikační architektury je poskytnout rámec pro vývoj a údržbu softwarové aplikace, která splňuje požadavky na funkčnost, výkon, škálovatelnost a bezpečnost. Klíčovými prvky jsou komponenty, vrstvy, datová architektura a komunikace.

Aplikační architektura slouží jako základ pro vývojáře, aby mohli efektivně navrhovat, implementovat a udržovat softwarovou aplikaci. Dobře navržená aplikační architektura zvyšuje soudržnost a snižuje závislost mezi jednotlivými částmi aplikace, což usnadňuje její údržbu a rozšiřitelnost.

Webová aplikace typicky běží na vzdáleném serveru a uživatel k ní přistupuje přes webový prohlížeč. Část aplikace, která běží na vzdáleném stroji, se nazývá backend a část, která běží v prohlížeči klienta se nazývá frontend. Backend se stará o správu dat a pomocí API komunikuje s frontendem. Frontend interaguje s uživatelem a přebírá od něj požadavky, které předává backendu. Backend požadavky zpracovává a posílá zpět odpověď frontendu, který následně prezentuje uživateli výsledek jeho požadavku. Pro ukládání a správu dat použijeme databázový server, který poběží nezávisle na ostatních částech programu. Návrh aplikační architektury je znázorněn na obrázku 4.1.



Obrázek 4.2: Návrh aplikační architektury

4.2.1 Katalog aplikačních komponent a funkcí řešení frontendu

Podkladová mapová vrstva

Podkladová mapová vrstva slouží k vizualizaci základních topografických prvků, jako jsou silnice, řeky, hranice států nebo geografické prvky, jako jsou kopce, vrcholy atd.

Desktopová GIS aplikace

Aplikace poskytuje pokročilé rozhraní a nástroje pro zpracovávání dat a aktualizaci datového skladu. Poskytuje nástroje pro editaci obsahu bodové mapové vrstvy. K tomu dále poskytuje plnohodnotnou funkcionalitu typu vytváření a editace objektů včetně atributů, provádění kontrol, hromadné operace, prostorové operace a dotazy. Data budou do systému předávána vlastním editačním mapovým nástrojem.

Rozhraní pro správu RDBMS

Uživatelské rozhraní pro správu databází, tabulek, indexů, omezení, uživatelů a dalších objektů. Umožňuje provádět SQL dotazy a prohlížet výsledky.

Webová mapová aplikace

Klient pro veřejnost sloužící pro prohlížení publikovaných dat. Aplikace disponuje základní funkcionalitou typu zobrazení vrstev, lokalizace podle souřadnic a změnu měřítka. Obsahem mapového klienta jsou zejména data základní povrchové situace.

4.2.2 Katalog aplikačních komponent a funkcí řešení backendu

Webový server – Mapový server

Zajišťuje poskytování prostorových dat v prostředí internetu formou služeb. Služby jsou využívány mapovým klientem.

Webový server – Panorama services API

Zajišťuje obsluhu pro zobrazení panoramatických fotografií a poskytuje jednotlivé panoramatické snímky z jejich úložiště.

RDBMS – GIS nadstavba RDBMS

Rozšíření RDBMS (Relational Database Management System) pro podporu geoprostorových dat a funkcionalit do tradičního relačního databázového systému.

4.2.3 Katalog základních datových entit datového skladu

Geodatabáze – Body MMS

Úložiště prostorových dat aktivní mapové vrstvy. Data jsou využívána pro předávání dat mapovému serveru.

Geodatabáze – Metadata MMS

Úložiště metadat prostorových informací.

Geodatabáze – Archiv body MMS

Úložiště archivních bodů MMS.

Panoramatické foto

Fyzické úložiště panoramatických fotografií, ke kterému přistupuje komponenta `Panorama services API`.

Primární data z MMS

Úložiště primárních dat z MMS, která byla využita editorem pro aktualizaci dat v geodatabázi.

4.3 Základ datového skladu

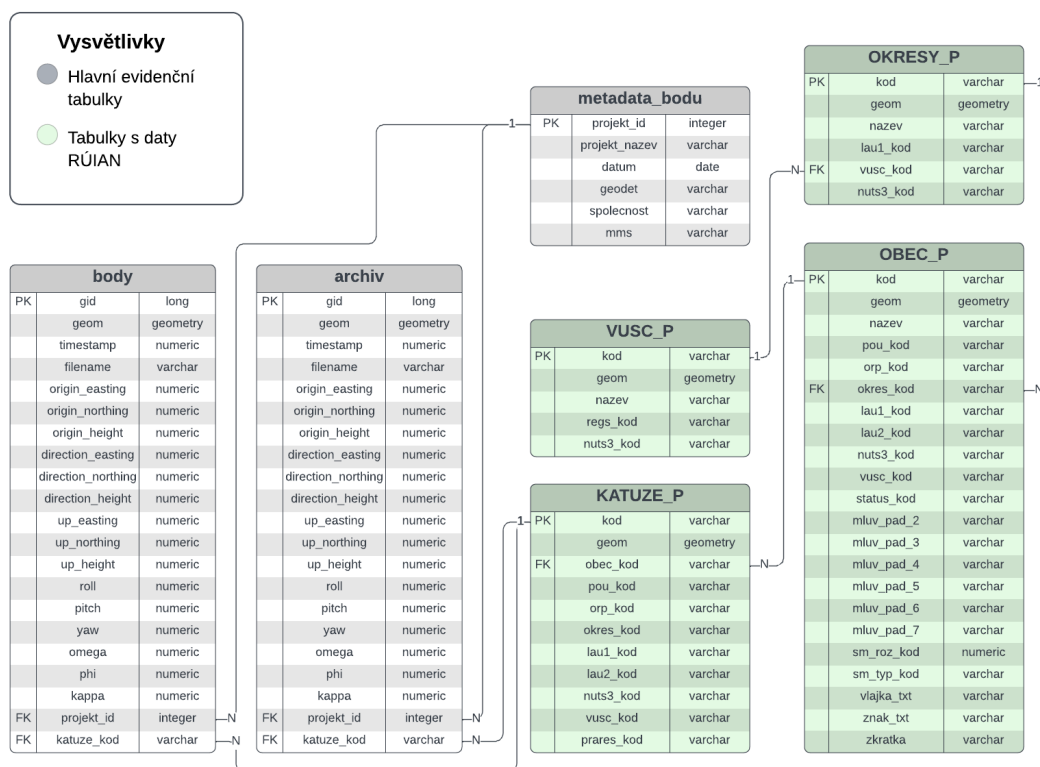
Při navrhování datového skladu musíme vycházet z praktických znalostí v dané oblasti. Tvoříme totiž nástroj, který budou používat pracovníci vyškolení ve svém oboru. Některé věci se nám zprvu mohou zdát nedůležité či dokonce zbytečné, avšak v kontextu oboru mohou být velmi podstatné. Důležité je i počítat s tím, že aplikace může probíhat různými změnami v rámci vývoje, které mohou být například změny zdrojů, inovace metodik apod. Vývoj každé aplikace provází změny, na které se přijde až po zahájení práce na projektu. Návrh datového modelu je znázorněn na obrázku 4.3.

4.3.1 Hlavní evidenční tabulky

body

Tato tabulka `body` bude sloužit pro publikování aktuálně platných středů panoramatických snímků. Součástí tabulky proto bude prostorová složka jednotlivých středů snímků, které budou uloženy bodovou geometrií. Data z této tabulky se budou publikovat v klientské aplikaci. K této tabulce se vážou tabulky `metadata_bodu` a `KATUZE_P` v relaci N:1. Tabulka obsahuje následující atributy:

- `[PK] id` – ID bodu
- `geom` – geometrický prvek bodu
- `timestamp` – absolutní GPS čas
- `filename` – název snímku ve formátu JPG
- `origin_easting` – souřadnice X kamery v lokální soustavě souřadnic
- `origin_northing` – souřadnice Y kamery v lokální soustavě souřadnic



Obrázek 4.3: Návrh datového modelu

- **origin_height** – souřadnice Z kamery v lokální soustavě souřadnic
- **direction_easting** – vektor směru natočení kamery ve směru osy X v lokální soustavě souřadnic
- **direction_northing** – vektor směru natočení kamery ve směru osy Y v lokální soustavě souřadnic
- **direction_height** – vektor směru natočení kamery ve směru osy Z v lokální soustavě souřadnic
- **up_easting** – vektor směru natočení horní části kamery ve směru osy X v lokální soustavě souřadnic
- **up_northing** – vektor směru natočení horní části kamery ve směru osy Y v lokální soustavě souřadnic
- **up_height** – vektor směru natočení horní části kamery ve směru osy Z v lokální soustavě souřadnic

- `roll` – orientace kamery v prostoru kolem osy X v lokální soustavě souřadnic
- `pitch` – orientace kamery v prostoru kolem osy Y v lokální soustavě souřadnic
- `yaw` – orientace kamery v prostoru kolem osy Z v lokální soustavě souřadnic
- `omega` – orientace kamery v prostoru kolem osy X v geodetické soustavě souřadnic
- `phi` – orientace kamery v prostoru kolem osy Y v geodetické soustavě souřadnic
- `kappa` – orientace kamery v prostoru kolem osy Z v geodetické soustavě souřadnic
- `[FK]projekt_id` – ID projektu, do kterého bod patří
- `[FK]katuze_kod` – ID katastrálního území, ve kterém se bod nachází

metadata_bodu

Další tabulka uchovává metadata bodu, která budou doplněna editorem dat. Budou zde uchovány údaje jako je název projektu, do kterého bod patří, datum pořízení bodu, geodet, který bod pořídil, společnost, pro kterou pracuje a název MMS, kterým byl bylo měření provedeno. Jedná se o data, která budou sloužit ke snadnější identifikaci bodu. Tato tabulka je v relaci 1:N s tabulkama `body` a `archiv`. Tabulka obsahuje následující atributy:

- `[PK]projekt_id` – ID projektu
- `projekt_nazev` – název projektu
- `datum` – datum vzniku projektu
- `geodet` – jméno pořizovatele dat projektu
- `spolecnost` – firma, která projekt realizovala
- `MMS` – název MMS, kterým byl sběr dat vykonán

archiv

Tato tabulka je kopie tabulky `body`, ale její data se nepublikují. Slouží jako archivní, tudíž se do ní ukládají veškeré nezobrazené body. Pokud se naskytne překryv bodů, staré body se přesunou právě do této tabulky. K archivní tabulce se stejně jako k tabulce `body` váže tabulka `metadata_bodu` v relaci N:1. Tabulka obsahuje stejné atributy jako tabulka `body`.

4.3.2 Tabulky s daty RÚIAN

Tabulky s daty Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN) slouží k přiřazení bodu do nějakého správního území, v tomto případě do katastrálního území, obce, okresu a kraje. Tato data jsou veřejně dostupná z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) [4]. Součástí tabulek bude prostorová složka, díky které bude umožněno používat prostorové dotazy na základě území. Pokud bude editor požadovat např. vyfiltrování bodů ze správního obvodu Plzeň-město, tak prostorovým dotazem velmi snadno získá veškeré body, které se v tomto území nacházejí. Tabulky obsahují i spoustu dat, která nebudeme aktuálně používat, ale do budoucna mohou být přínosné, a proto je ponecháme uložené. Popíšeme si jen atributy, které budeme používat.

VUSC_P

Tato tabulka reprezentuje území vyššího územního samosprávného celku (VUSC).

- `[PK]kod` – kód VUSC
- `geom` – geometrický prvek území VUSC
- `nazev` – název VUSC

OKRESY_P

Tato tabulka reprezentuje území okresu.

- `[PK]kod` – kód okresu
- `geom` – geometrický prvek území okresu
- `nazev` – název okresu
- `vusc_kod` – VUSC, kam okres spadá

OBCE_P

Tato tabulka reprezentuje území obce.

- [PK]kod – kód obce
- geom – geometrický prvek území obce
- nazev – název obce
- okres_kod – kód okresu, kam obec spadá
- vusc_kod – kód VUSC, do kterého obec spadá

KATUZE_P

Tato tabulka reprezentuje katastrální území.

- [PK]kod – kód katastrálního území
- geom – geometrický prvek kat. území
- nazev – název katastrálního území
- obec_kod – kód obce, kam kat. území spadá
- okres_kod – kód okresu, kam kat. území spadá
- vusc_kod – kód VUSC, do kterého obec spadá

V databázovém systému nebudeme aktuálně využívat všechny atributy, avšak pro budoucí vývoj se nám mohou hodit, a proto je raději ponecháme uložené.

4.3.3 Úložiště snímků

Snímky budou fyzicky uloženy na vzdáleném serveru. Bude kořenový adresář, který se poté bude větvit podle roku pořízení snímků a dále podle krajů. V databázi datového skladu budeme uchovávat jejich metadata.

4.3.4 Správa dat

Pro navržení správy dat je zapotřebí mít představu o objemu a rychlosti přibývání. V závislosti na rychlosti přibývání dat se pak rozhodujeme, zda bude proces automatizovaný a pravidelně si bude kontrolovat existenci nových dat, nebo zda to bude mít na starosti pověřená osoba, která si je vědoma přírůstkem dat.

Jelikož se data aktualizují pomocí jednoho velkého balíku jednou za několik let, není pro nás automatizace nutná. Pověříme tedy osobu kvalifikovaného pracovníka jako **editora dat**, jehož úkolem bude aktualizovat zdrojová data a archivovat data stará.

Po nahrání primárních dat do **Desktop GIS** je potřeba jejich převedení do formátu **SHP** (shapefile)², abychom získali geometrii jednotlivých bodů. Geometrie prvku má podobu vektorových souřadnic a její velkou výhodou oproti jiným datovým formátům je rychlé vykreslování a možnost editace.

Desktopová GIS aplikace nám umožní snadnou výměnu dat mezi různými aplikacemi a systémy, jelikož dokáže načítat a ukládat geografická data v různých formátech, včetně **SHP**, **GeoJSON**, **KML**, **GPX** a dalších. Kromě toho nabízí široké spektrum funkcí pro analýzu a dotazování prostorových dat. To zahrnuje nástroje pro výpočet vzdáleností, sloučení a překryvy vrstev, prostorové dotazy a další, které editorovi značně usnadní práci při správě dat. Připojením desktopové GIS aplikace k databázi dokáže editor načítat geografická data přímo z databáze, provádět jejich editaci a aktualizaci, a dotazovat se na data pomocí **SQL** nebo specifických dotazovacích jazyků pro geografická data (např. **SQL s prostorovými funkcemi**). To nám otevírá možnosti pro komplexní práci s geografickými daty a integraci s jinými daty uloženými v databázi.

"Duplicitní" body

Může nastat situace (a v budoucnosti zcela jistě nastane), že dostaneme nová data z území, které už máme zmapované. Budeme chtít tedy aktualizovat aktuální bodovou vrstvu a nahradit staré body na stejném území těmi novými. Tuto situaci bychom mohli vyřešit použitím prostorových dotazů, díky kterým bychom mohli zjistit např. nejbližšího souseda. Další možností je zkontrolovat okolí každého bodu např. pomocí rozumného radiusu.

Správnost a vhodnost těchto řešení jsme zatím nemohli ověřit, jelikož nemáme žádná duplicitní data, ale je důležité uvědomit si, že taková situace může nastat a zohlednit tuto možnost v návrhu systému. Je důležité zvážit

²**Shapefile** je formát souboru pro ukládání a sdílení prostorových dat, který obsahuje geometrii prvků

faktory jako přesnost dat, hustotu bodů, velikost a charakteristiku území a další specifické požadavky. Tyto a další metody řešení budou budoucím předmětem testování, kdy budeme provádět analýzu a testování navrhovaných přístupů s reálnými daty, abychom mohli rozhodnout, zda jsou tyto možnosti pro náš projekt vhodné a přinášejí očekávané výsledky.

Navrhovaný postup kontroly a aktualizace území si vysvětlíme v následujících bodech:

- **Identifikace dat:** Zjistíme, které body jsou dotčeny příchodem nových bodů. V **Desktop GIS** můžeme využít nástroje pro výběr nebo dotazování, abychom identifikovali body v dané oblasti nebo s konkrétními atributy.
- **Kontrola dat:** Prověříme nová data a ujistíme se, že jsou přesná a aktuální. Porovnáme je s existujícími daty v dané oblasti, abychom zjistili, zda se jedná o aktualizaci nebo doplnění stávajících dat. K tomu lze využít např. prostorový dotaz, který nám zjistí, zda se nové body "překrývají" s geometrií starých bodů.
- **Identifikace a smazání starých bodů:** Na základě kontroly geometrického překryvu určíme staré body, a ty následně přesuneme do archivní databázové tabulky
- **Identifikace a přidání nových bodů:** Na základě kontroly geometrického překryvu určíme nové body a ty následně přidáme do publikované databázové tabulky.
- **Ověření a kontrola:** Provedeme kontrolu, zda byla aktualizace provedena správně, tedy zda jsou staré body přesunuty do archivu a zda jsou v právě publikované tabulce přítomny body nové.

5 Analýza a výběr technologií pro publikaci prostorových dat

V současné době existuje značné množství webových aplikací publikujících geodata v prostředí internetu. Díky velkému nárůstu počítačových technologií a stále rostoucí poptávce po chytrých zařízeních se dnes představa digitálních map v prostředí internetu zdá téměř každému jako samozřejmost.

Díky příchodu internetu nastupují nové technologie pro publikaci map. Pro případy, kdy jsou geodata publikována v prostředí internetu, používáme termín „webová mapová aplikace“ – je taková webová aplikace, která umožňuje interaktivní prohlížení digitálních map a nabízí základní vyhodnocení geoinformací, jako je zobrazení podkladových map s možností jejich přepínání, posun a změna měřítko mapy, identifikace mapového prvku, určování délek, ploch a souřadnic; této funkcionality je dosaženo dotazem aplikace na příslušný mapový server nebo využitím jedné nebo více mapových služeb (CSW, WMS, WFS, WMTS, WCS, . . .). Nezpochybnitelnou výhodou je dostupnost mapy širokému okruhu uživatelů, a to právě díky chytrým zařízením a přístupu k internetu téměř odkudkoliv. Pro většinu lidí je prohlížení dat online mnohem intuitivnější než vyhledávání správného tištěného materiálu z knihoven a následná orientace v něm. Webové mapy doplněné multimediálními prvky, jako jsou obrázky, popisky atd. dokážou dnes ušetřit mnoho času při navigaci, nebo při hledání konkrétních informací o objektech.

5.1 Architektury systémů

5.1.1 Dvouvrstvá architektura (klient-server)

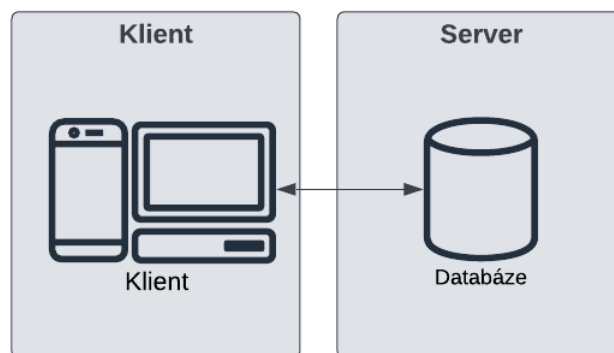
Dvouvrstvá architektura (klient-server) je jeden z typů architektury informačních systémů (resp. aplikací), ve které klient (koncové zařízení) zajišťuje uživatelské rozhraní a aplikační logiku a server pak zajišťuje běh relační databáze.

Model klient-server je forma distribuovaného zpracování výpočetního výkonu mezi klientem a serverem, kteří mezi sebou komunikují a předávají si vzájemně data. Klient překládá uživatelův požadavek tak, aby byl srozumitelný serveru, čeká od něj odpověď, kterou překládá zpět tak, aby byla

srozumitelná klientovi a ten ji poté prezentuje uživateli. V této architektuře tedy server zpracovává dotazy v databázi a klient je prezentuje, zajišťuje aplikační logiku a zprostředkovává rozhraní pro uživatele. Model architektury klient-server je znázorněn na obrázku 5.1.

Výhodou této architektury je především její jednoduchost, která se projevuje nízkými náklady na vývoj a nasazení, protože nepotřebuje složité vrstvy prostředníků mezi klientem a databází.

Nevýhodou architektury klient-server je, že klient obsahuje většinu aplikační logiky a se složitostí aplikace rostou nároky na klientské počítače či zařízení. Také je u této architektury obtížnější pružně aplikaci na straně klienta aktualizovat. Další nevýhoda architektury klient-server je, že je problematické zpřístupnit část aplikace pomocí webového prohlížeče. Kvůli těmto nedostatkům se ze dvouvrstvé architektury později vyvinula třívrstvá architektura [1].



Obrázek 5.1: Dvouvrstvá architektura

5.1.2 Třívrstvá architektura

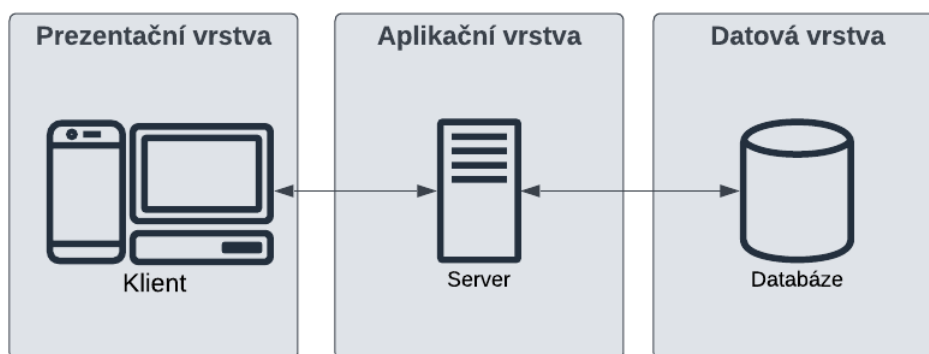
Třívrstvá architektura označuje jeden z typů architektury informačních systémů, která se dělí na to, co vidí a používá uživatel (prezentační vrstva) a to, co se odehrává na pozadí na straně serveru (aplikační a datová vrstva). S produkty postavenými podle moderního scénáře třívrstvé architektury se setkáváme na každém kroku. Vrstvy architektury jsou:

1. **Prezentační vrstva**– je nejvrchnější vrstvou aplikace. Je to vrstva, kterou vidíme při používání softwaru (rozhraní, webové stránky). Její hlavní funkcí je komunikovat s aplikační vrstvou. Tato vrstva přenáší uživatelské vstupy, které jsou zadávány např. pomocí klávesnicových akcí a kliknutí myší, do aplikační vrstvy pro další zpracování.

2. **Aplikační vrstva** – je prostřední vrstva architektury, která zajišťuje výpočty a operace prováděné mezi vstupně-výstupními požadavky a daty. Často se také označuje jako middleware, jelikož funguje jako rozhraní mezi prezentační vrstvou a datovou vrstvou. Někdy se také tato vrstva nazývá aplikační server.
3. **Datová vrstva** – je nejnižší vrstva modelu, která zajišťuje práci s daty, včetně práce tedy se systémem řízení báze dat (SŘBD) a základními datovými operacemi jako je např. ukládání, výběr, agregace a další. Je to vrstva, která spojuje aplikaci s databází a provádí potřebné akce, jako např. vkládání, aktualizaci nebo mazání dat. Často je také nazývána jako databázová vrstva.

Výhodou architektury je, že odděluje jednotlivé vrstvy tak, aby na sobě nebyly závislé. Třívrstvou architekturu využívá velké množství aplikací, které pracují s daty. Téměř s jistotou se dá říct, že naprostá většina podnikových aplikací, portálů a webových aplikací pracují na principu třívrstvé architektury. Její další výhodou je snazší správa, údržba a rozšiřitelnost systému. Oddělením prezentační, aplikační a datové vrstvy je umožněno snadněji reagovat na změny a rozšíření požadavků a zároveň zvyšovat spolehlivost a výkon systému.

Nevýhodou třívrstvé architektury může být složitější režie a snížený výkon systému. Celkově vyžaduje pečlivější návrh a implementaci než její předchůdce architektura klient-server, což může zvýšit náročnost vývoje a údržby systému [2]. Model třívrstvé architektury je znázorněn na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Třívrstvá architektura

5.2 Databázové systémy

Pro ukládání prostorových dat se využívají prostorové databáze (dále geodatabáze), což jsou zjednodušeně databáze, které podporují práci s prostorovými objekty. K prostorovým objektům se databáze chová stejně jako k ostatním datovým typům v databázi.

Geodatabáze je databáze, která definuje speciální datové typy pro geometrické objekty a umožňuje ukládání geometrických dat (obvykle geografické povahy) do běžných databázových tabulek. Poskytuje speciální funkce a indexy pro dotazování a manipulaci s těmito daty pomocí SQL (Structured Query Language). Geodatabáze se používá zejména jako úložný kontejner pro prostorová data, nicméně může poskytovat i další funkcionality nad prostorovými daty. Ačkoli geodatabáze nemusí být relační, většina populárních geodatabází mezi relační patří.

Dynamický rozvoj GIS je zdrojem obrovského množství dat. I když je možné vytvořit implementace vyhrazené pouze pro zpracování těchto dat, je jejich propojení s jinými informačními zdroji, často obřími, obtížné. Řešením je konstrukce integrovaných systémů se systémy správy prostorových informací pomocí relačních databází.

Prostorová data v relačních databázích lze ukládat podle vyhrazených projektů a potřeb, a to i přidáním dalších sloupců se souřadnicemi popisujícími shromážděná fakta. Toto řešení není flexibilní, je svázáno s projektem. Zavedení třídy vlastních implementací prostorových dat také není dobrá volba, protože často závisí na použitém databázovém produktu, není přenosný a nedostatek propojení s jinými řešeními přináší potíže při výměně nebo přenosu dat. Tyto problémy lze obejít zavedením standardu, který definuje základní typy, operace a způsoby ukládání prostorových dat. Pro relační databáze jsou definovány dva standardy prostorových dat: OpenGIS a SQL/MM.

OpenGIS je standard prostorových dat pro relační databáze navržený OGC (Open Geospatial Consortium). Standardní SFS (Simple Features SQL) zahrnuje objekty, formát záznamu, základní operace s nimi a indexování. Problém je bohužel vyřešen pouze pro vývoj rovinných systémů (2D). Standard SQL/MM, který mimo jiné umožňuje více dimenzí dat, popis objektů i křivek, lepší integraci referenčních systémů a poskytuje mnoho dalších funkcí. Stručně popsáno, standardy jsou implementovány v různých úrovních v populárních systémech pro správu databází, a to i ve veřejné doméně [29].

V klasické databázi tedy ukládáme data různých typů jako např. číselné, textové, časová razítka, obrázky atd. a v případě potřeby je můžeme dotazovat, abychom odpověděli na otázky nad uloženými daty. Otázky mohou

znít třeba jako „*Kolik lidí se přihlásilo na náš web?*“, nebo „*Kolik transakcí bylo provedeno v internetovém obchodě?*“. Prostorové funkce mohou místo toho odpovídat na otázky jako „*Jak blízko je nejbližší obchod?*“, „*Je tento bod v této oblasti?*“, nebo „*Jaká je rozloha této země?*“ [33].

Prostorová data představují základní lokalizační charakteristiky skutečných nebo koncepčních objektů, protože tyto objekty se vztahují ke skutečnému nebo koncepčnímu prostoru, ve kterém existují. Uvedeme si zde jen nejpoblárnější databáze, které umožňují práci s prostorovými objekty. Představíme si zde nejpoužívanější komerční databázi **Oracle** a open-source databázi PostgreSQL [23].

5.2.1 Oracle Spatial

Oracle Spatial je integrovaná sada funkcí a procedur, které umožňují ukládání, přístup a analýzu prostorových dat rychlým a efektivním způsobem v databázi **Oracle**. **Oracle Spatial** poskytuje schéma a funkce SQL, které usnadňují ukládání, načítání, aktualizaci a vyhledávání sbírek prostorových funkcí v databázi **Oracle**. Prostorovou složkou prostorového prvku je geometrické znázornění jeho tvaru ve zvoleném souřadnicovém prostoru. Toto se označuje jako jeho geometrie.

Spatial podporuje objektově-relační model pro reprezentaci geometrií. Tento model ukládá celou geometrii v nativním typu prostorových dat **Oracle** pro vektorová data, **SDO_GEOMETRY**. V jedné tabulce **Oracle** může být jeden či více **SDO_GEOMETRY** sloupců a pro prvek jsou v ní uložena popisná data společně s prostorovými.

Výhody nabízené objektově-relačním modelem jsou především:

1. Podpora mnoha geometrických typů jako např. oblouků, kruhů, složených polygonů, řetězců složených čar a optimalizovaných obdélníků.
2. Snadné použití při vytváření a údržbě indexů a prostorových dotazů.
3. Údržba indexu pomocí databáze **Oracle**.
4. Uložení geometrií do jednoho sloupce.
5. Optimální výkon.

Z hlediska nasazení tato databáze vyhovuje, použití ale brání ekonomická náročnost licence [25].

5.2.2 PostgreSQL/PostGIS

PostGIS je jednou z nejrozšířenějších open-source prostorových databází. Jedná se o rozšíření databázového systému PostgreSQL, která umožňuje ukládání GIS objektů do této databáze. Rozšiřuje tedy možnosti PostgreSQL serveru tak, aby ho bylo možno užívat jako databázi pro GIS a nabízí širokou škálu prostorových funkcí pro vytváření a analýzu geometrických objektů. Dále podporuje různé geografické souřadnicové systémy a transformaci mezi nimi, analýzu topologických vztahů mezi geometrickými objekty, podporu pro rastrová data a prostorové indexování.

PostGIS splňuje dva standardy (OpenGIS, SQL/MM), ale má některá omezení spojená s instalací a integrací. Poskytuje vlastní rozšíření pro prostorová data – rozšířené formáty prostorových dat (EWKT, EWKB, HEXEWKB), rozměry dimenzí (2D, 3D, 3DZ, 3DM) a zeměpisné objekty (pomocí koule nebo sféroidu) [29]. Stejně jako Oracle Spatial, PostGIS také podporuje objektově-relační model pro reprezentaci geometrií.

PostGIS je široce používán v oblasti GIS a tvoří základ pro mnoho webových mapových aplikací, analytických nástrojů a databázových řešení.

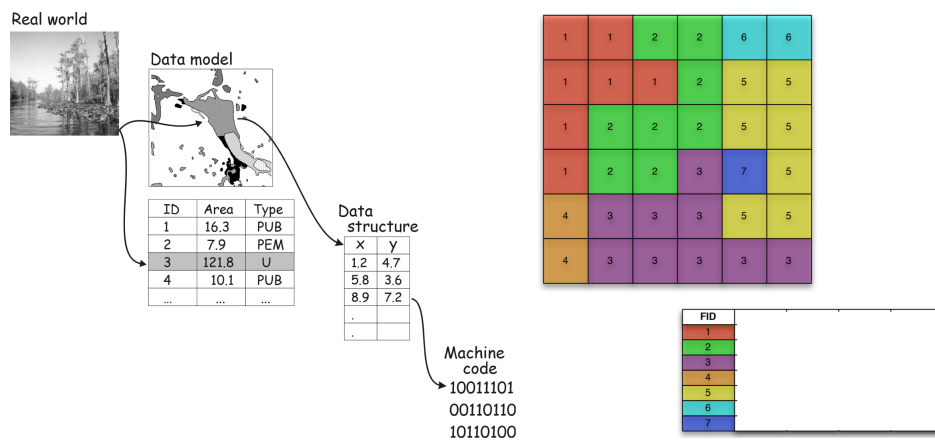
5.2.3 Geometrický prvek

Geometrický prvek je entita nebo objekt, který reprezentuje geometrickou informaci v prostoru. Může to být bod, linie, polygon, kružnice nebo jiná geometrická forma. Geometrické prvky se používají v GIS, CAD systémech a v mnoha dalších oblastech, kde je důležitá vizualizace a manipulace s geometrickými daty. Tyto prvky mají obvykle definované souřadnice, tvary a vlastnosti, které umožňují jejich identifikaci, analýzu a zobrazení v prostorovém kontextu [30].

PostGIS používá pro popis prostorových objektů specifikaci OGC Simple Features Access (SFA), která popisuje společnou architekturu pro tzv. jednoduché geoprvky a specifikuje jejich uložení v digitální podobě. Tato specifikace zavádí pro popis geometrie geoprvků nové datové typy jako je např. Point, LineString, Polygon a další viz obr. 5.5.

Tabulka s prostorovým atributem (geometrií) se nazývá **prostorová tabulka**. Tyto tabulky reprezentují metrické i topologické vztahy mezi objekty, mají složitější strukturu než klasické tabulky v relačních databázích a vykazují také specifické vlastnosti, které se liší od běžných atributových tabulek. Běžné relační databázové systémy, které jsou nejčastěji používané pro ostatní typy dat a databází, nejsou schopné uspokojit požadavky na práci s prostorovými tabulkami. Mezi tyto specifické požadavky patří například implementace speciálních prostorových indexů a rozšíření standard-

ního dotazovacího jazyka v daných databázích o podporu prostorových dat viz obr. 5.3 .



Obrázek 5.3: Atributy prostorových dat [10].

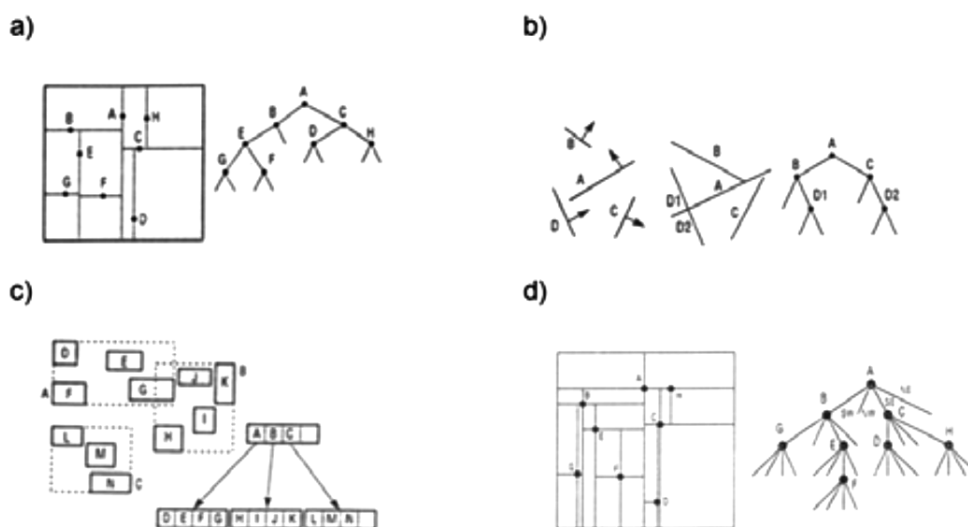
5.2.4 Prostorové indexování

Prostorové indexování je technika optimalizace výkonu databáze při práci s prostorovými daty. Prostorová data zahrnují geometrické objekty, jako jsou body, linie, a polygony, které reprezentují geografické prvky, jako jsou pozice, cesty nebo oblasti. Díky tomu se výrazně zlepšuje výkon databáze při provádění prostorových dotazů, například při hledání bodů v blízkosti dalšího bodu nebo při zjišťování, zda se dva geometrické objekty překrývají. Velkou výhodou prostorového indexování je zlepšení výkonu databázových systémů, které pracují s velkými množstvími prostorových dat, jako jsou GIS, webové mapové aplikace nebo analytické nástroje [19].

V databázových systémech jsou indexy důležitou součástí. Prostorová data vyžadují specifické indexovací postupy, které nejsou přímo implementovány v relačních databázových systémech. Kromě podpory prostorových datových typů a funkcí je důležitá také podpora speciálních indexových struktur pro práci s prostorovými daty. Indexy obecně zrychlují vyhledávání dat a provádění různých prostorových dotazů. Mezi používané indexové struktury patří například:

- KD-stromy** – Hierarchická binární stromová struktura pro rozdělení prostoru na nekryjící se oblasti a efektivní manipulaci s bodovými daty.
- BSP-stromy** – Stromová datová struktura využívající binární dělení prostoru pro organizaci a vyhledávání prostorových objektů.

- c) **R-stromy** – Stromová struktura s dekompozicí prostoru pomocí minimálních ohraničujících obdélníků, umožňující efektivní práci s různě tvarovanými a velkými prostorovými daty.
- d) **Kvadrátové stromy** – Stromová struktura s rozdělením prostoru na čtyři kvadranty, ideální pro organizaci a vyhledávání dat v dvourozměrném prostoru [10]. Představené indexové struktury jsou znázorněny na obr. 5.4:



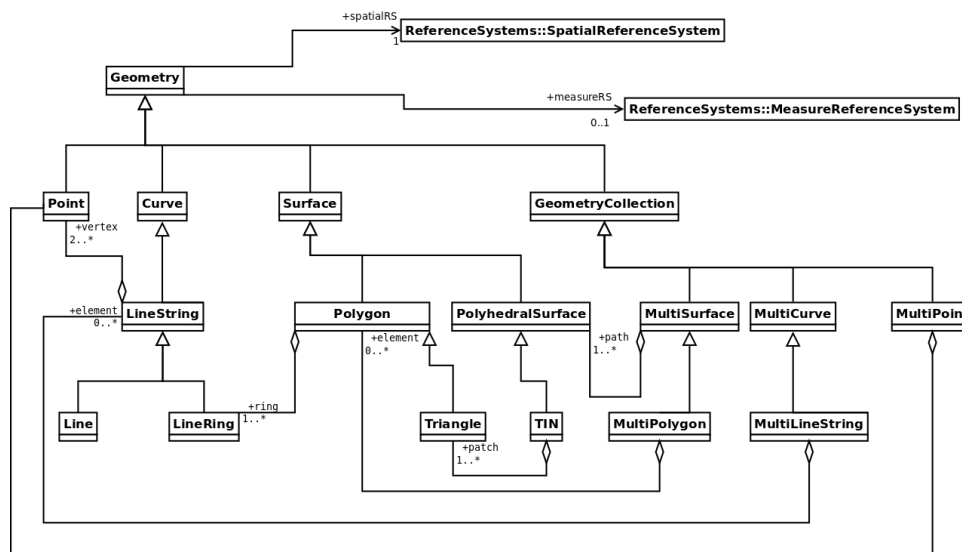
Obrázek 5.4: Indexové struktury pro prostorová data [19].

5.2.5 Zvolený databázový systém

Pro realizaci tohoto projektu jsme zvolili databázový systém PostgreSQL s rozšířením PostGIS. Výhodou a zároveň i důvodem, proč je PostGIS jednou z nejpobulárnějších geodatabází není jen kvůli tomu, že je volně dostupná, ale zejména její spolehlivost a výkonnost. Tyto důvody jsou pro nás stěžejní, a proto budeme pracovat s tímto systémem.

5.3 GIS pro správu dat

Pro správu geografických dat slouží GIS software, který je specializovaným nástrojem určeným pro práci s geografickými daty. Poskytuje uživatelům širokou škálu funkcí a nástrojů pro import, správu, analýzu a vizualizaci těchto dat. Jednou z hlavních výhod GIS softwaru je schopnost importovat



Obrázek 5.5: Přehled jednotlivých typů geometrie dle specifikace OGC SFA [14].

a spravovat geografická data v různých formátech, včetně formátů jako SHP, GeoJSON, KML, GPX a dalších.

GIS poskytuje možnosti mapových vizualizací, které umožňují uživatelům vytvářet interaktivní mapy a vizualizovat geografická data. Uživatelé mohou zobrazovat různé vrstvy dat, symbolizovat prvky podle atributů, aplikovat šablony a tematické mapování a přizpůsobovat vzhled mapy.

Další důležitou funkcí GIS softwaru je provádění prostorových analýz. Uživatelé mohou dotazovat prostorová data, vypočítávat vzdálenosti, plochy a další atributy, provádět prostorové spojení a překryvy vrstev, analýzu viditelnosti, topologické operace a další. Tímto způsobem mohou získat hlubší pochopení prostorových vzorců a vztahů v datech.

GIS software umožňuje uživatelům také manipulovat s geografickými daty pomocí geoprocessingu, což je proces zpracování a manipulace s daty. Uživatelé mohou provádět operace jako je sloučení a rozdělování prvků, převod formátů dat, zpracování rastrů, generalizace geometrie a mnoho dalších.

Díky integraci s databázovými systémy a dalšími technologiemi umožňuje GIS software uživatelům přístup ke geografickým datům uloženým v databázích. Uživatelé mohou načítat geografická data přímo z databáze, provádět jejich editaci a aktualizaci, dotazovat se na data pomocí SQL nebo specifických dotazovacích jazyků pro geografická data a provádět analýzy nad daty uloženými v databázi.

Celkově lze říci, že GIS software je nezbytným nástrojem pro práci s geografickými daty a analýzou prostorových informací. Poskytuje uživatelům

mocné prostředky pro získávání poznatků z prostorových dat a rozhodování založeného na těchto datech v různých odvětvích, jako je geografie, urbanismus, ekologie, doprava, plánování a mnoho dalších [8].

5.3.1 QGIS

QGIS (Quantum GIS) je open-source GIS, který poskytuje uživatelům možnost vizualizace, analýzy a správy prostorových dat. Je k dispozici zdarma a je vyvíjen komunitou GIS profesionálů.

QGIS umožňuje uživatelům zobrazovat a vizualizovat různé vrstvy prostorových dat včetně rastrových a vektorových dat v různých formátech. Uživatelé mohou také editovat a digitalizovat nová prostorová data a provádět analýzu prostorových dat pomocí různých nástrojů. S QGIS mohou uživatelé přizpůsobovat vzhled map pomocí různých symbolů, barvy, velikosti a stylu linie. QGIS podporuje širokou škálu datových formátů, a umožňuje importovat, exportovat, spojovat a spravovat různé typy dat. Uživatelé mohou také zpracovávat rastry, vytvářet tiskové mapy a exportovat mapy do různých formátů.

Svou otevřenou architekturou QGIS umožňuje rozšíření funkcí pomocí pluginů a skriptování v jazyce Python. Existuje také rozsáhlá dokumentace, uživatelská fóra a komunita vývojářů, která poskytuje podporu a další informace pro uživatele.

QGIS je oblíbeným nástrojem pro práci s prostorovými daty zejm. díky své flexibilitě, snadnému použití a open-source dostupnosti [20].

5.3.2 ESRI ArcGIS

ESRI ArcGIS je komerční GIS vyvinutý společností ESRI (Environmental Systems Research Institute) [6]. Poskytuje komplexní řešení pro správu, analýzu a vizualizaci prostorových dat ve vědeckých, komerčních a vládních prostředích. Platforma zahrnuje desktopový software ArcGIS Desktop, webové a cloudové prostředí ArcGIS Online, serverové produkty ArcGIS Server a ArcGIS Enterprise, mobilní aplikace pro sběr dat v terénu a další specializované nástroje.

ArcGIS nabízí možnosti pro vizualizaci a zobrazení prostorových dat ve 2D i 3D. Uživatelé mohou vytvářet tematické mapy a pracovat s pokročilými technikami zobrazení. Platforma obsahuje také nástroje pro analýzu a modelování prostorových dat, včetně prostorových dotazů, geoprocessingu a statistických analýz. Další důležitou funkcí je správa a sdílení prostorových dat. Uživatelé mohou organizovat a spravovat geodatabáze, rastrová

data a vektorové vrstvy. ArcGIS umožňuje také publikování interaktivních webových mapových aplikací a integraci se systémy třetích stran.

ArcGIS je hojně využíván v různých odvětvích, včetně správy území, dopravy, ochrany životního prostředí a průmyslu. Je vyhledávaný pro své rozsáhlé funkce, komerční podporu, široké využití a mnoho organizací si ho volí jako svůj preferovaný GIS [6].

5.3.3 Zvolený desktop GIS

Z představených desktop GIS jsme vybrali QGIS a to zejm. z důvodu jeho open-source dostupnosti, která poskytuje volnost a flexibilitu při práci s prostorovými daty. Jeho aktivní komunita uživatelů a vývojářů nám poskytuje flexibilitu, přizpůsobitelnost a podporu. QGIS nám umožňuje efektivně pracovat s různými typy dat a využívat rozsáhlou paletu funkcí. Je to tedy vhodný nástroj, který splňuje naše potřeby pro práci s prostorovými daty.

5.4 Mapové servery

Mapové servery jsou programy pracující na architektuře klient-server, zpracovávající data s geografickým vztahem. Mohli bychom také říci, že jsou to v podstatě GIS, které jsou ovšem ovládány pouze pomocí parametrů – textově – a neinteraktivně. Spolupracují s některým z webových serverů, který jim předá potřebné parametry z webového formuláře. Ty jsou zpracovány a zpět je vrácen buď soubor s mapou, anebo výsledek dotazu.

Mapových serverů je celá řada – některé jsou komerční (např. od firmy ESRI), některé jsou uvolněny pod některou z licencí umožňující jejich svobodné užívání. V této práci se budeme zabývat těmi z druhé kategorie a v případě této práce se budeme zabývat dvěma významnými mapovými open-source servery, kterými jsou Mapserver a GeoServer [34].

OGC standardy webových služeb

OGC standardy pro webové služby umožňují komunikaci mezi mapovým serverem a klientem (webovým prohlížečem) a definují základní typy dotazů klienta na server a formát výsledků poskytovaných serverem. Tyto standardy byly vyvinuty mezinárodní standardizační organizací Open Geospatial Consortium (OGC) s cílem podporovat celosvětový vývoj zpracování a sdílení geografických dat a služeb v prostředí internetu [13].

Díky OGC standardům je možné dosáhnout interoperability mezi různými geoprostorovými systémy a umožnit komunikaci a výměnu dat bez ohledu

na použité technologie a platformy. Standardy definují jednotný způsob komunikace mezi mapovým serverem a klientem, a také formát dat, kterým jsou výsledky poskytovány. To zajišťuje konzistentní a kompatibilní způsob práce s geografickými daty.

Mezi nejdůležitější OGC standardy pro webové služby patří WMS, WMTS, WCS, WFS a WPS [15]. Tyto standardy umožňují získávání, procházení a manipulaci s geoprostorovými daty. V této práci bude představena specifikace WMS.

WMS

WMS (Web Map Service) je nejrozšířenější standard OGC, který slouží k poskytování geografických dat ve formě statických mapových obrázků přes internet. Tato služba je vhodná, pokud chceme dát uživateli možnost pro prohlížení mapových dat, výběr vrstev a základní interakce s mapou.

Hlavním typem dotazu je `GetMap`, který vrátí požadovaný mapový náhled na poskytovaná data. Dalším široce využívaným dotazem je `GetCapabilities`, který vrací informace o serveru a o poskytovaných datech v jazyce XML (Extensible Markup Language). Atributy určitého prvku na mapě vrací dotaz `GetFeatureInfo` [22].

5.4.1 Mapserver

Mapserver je populární open-source projekt napsaný v jazyce C, jehož účelem je zobrazovat dynamické prostorové mapy přes internet.

Ve své nejzákladnější podobě je Mapserver program CGI, který je neaktivní na vašem webovém serveru. Když je požadavek odeslán na Mapserver, používá informace předané v URL požadavku a v Mapfile k vytvoření obrázků požadované mapy. Požadavek může také vrátit obrázky pro legendy, měřítko, referenční mapy a hodnoty předávané jako proměnné CGI.

Mapserver lze rozšířit a přizpůsobit pomocí MapScriptu nebo šablon. Může být vytvořen tak, aby podporoval mnoho různých vektorových a rastrových formátů vstupních dat a může generovat velké množství výstupních formátů. Většina předkompilovaných distribucí Mapserver obsahuje většinu všech jeho funkcí [12].

5.4.2 Geoserver

Geoserver je open-source server napsaný v jazyce Java, který umožňuje uživatelům prohlížet a upravovat geoprostorová data. Pomocí otevřených

standardů stanovených OGC umožňuje **Geoserver** velkou flexibilitu při vytváření map a sdílení dat. Je postaven na **GeoTools**, open-source Java GIS sadě nástrojů.

Geoserver nám umožňuje zobrazit naše prostorové informace světu. Implementací standardu **WMS** může **Geoserver** vytvářet mapy v různých výstupních formátech. Open-source mapovací knihovna **OpenLayers** je integrována do **GeoServeru**, což umožňuje rychlé a snadné generování map. **Geoserver** poskytuje mnoho funkcí a nástrojů pro správu geografických dat, včetně správy vrstev, stylů a další. To umožňuje uživatelům snadno spravovat vlastní data a vytvářet kvalitní mapové vrstvy. Dále **Geoserver** poskytuje podporu pro vývojáře, včetně možnosti psát vlastní pluginy a rozšíření pro tento software. To umožňuje vývojářům přizpůsobit **Geoserver** svým potřebám a požadavkům a vytvářet vlastní funkcionalitu.

Geoserver obsahuje mnohem více než pěkně stylizované mapy. Poskytuje také podporu standardu **Web Feature Service (WFS)** a standardu **Web Coverage Service (WCS)**, který umožňuje sdílení a úpravy dat, která se používají ke generování map. **Geoserver** také používá standard **Web Map Tile Service (WMTS)** k rozdělení publikovaných map na dlaždice pro snadné použití webovým mapám a mobilním aplikacím [7].

5.4.3 Zvolený mapový server

Z představených mapových serverů se zaměříme na práci s modernějším **Geoserverem**, který nám bude poskytovat geometrické prvky z geodatabáze **PostGIS**, a to hlavně v podobě středů panoramatických snímků – jednotlivých bodů. Další výhodou je, že **Geoserver** umožňuje dotazování geografických dat pomocí jazyků **SQL** a **CQL**¹. Tyto technologie nám v naší aplikaci umožní vytváření prostorových dotazů na získání všech geometrií bodů. Můžeme tedy např. získat všechny geometrie bodů, které se nacházejí v určité oblasti – např. radius od středu města či obce.

Geoserver je výkonný a užitečný nástroj pro správu a publikaci geografických dat. Díky podpoře standardních protokolů, různých formátů geografických dat a snadné integraci s dalšími nástroji a aplikacemi, je snadno použitelný a přizpůsobitelný pro různé projekty a aplikace. Další nepochybnou výhodou je jeho webovém rozhraní.

¹CQL (Common Query Language) je jazyk pro dotazování se na geografická data v **Geoserveru**, který umožňuje uživatelům vytvářet složité dotazy na geografická data pomocí různých kritérií

5.5 Technologie pro tvorbu webových mapových klientů

5.5.1 OpenLayers

OpenLayers je otevřená knihovna v jazyce **JavaScript**, pomocí které lze zobrazovat mapy ve webovém prohlížeči. Jedná se o velice komplexní knihovnu schopnou zobrazovat velké množství formátů dat a služeb. Umožňuje zobrazování mapových dlaždic, vektorových dat a využívat externí zdrojová data z mapových serverů.

V dnešní době, kdy jsou většinou mapy umístěné na serveru a distribuovány pomocí internetu, vzniká problém s objemem přenášených dat. Zvláště u rastrových podkladových map je velikost posílaných informací v případě rastru nepříznivě velká. Řešením je takzvaný systém mapových dlaždic, kdy je celkový rastr rozdělen do menších dlaždic, které jsou pak jednotlivě sdíleny podle místa, kde se uživatel v mapě právě pohybuje.

Pro vektorová data jsou jedním ze základních mapových zdrojů, jelikož umožňují provádět nad nimi výpočty, výběry a simulace. V rámci **OpenLayers** jsou podporovány formáty odvozené od formátu **JSON** (JavaScript Object Notation), a to **GeoJSON** a **TopoJSON**. Další skupinou jsou formáty vycházející z **XML**, jmenovitě jde o formáty **KML** (Keyhole Markup Language) a **GML** (Geography Markup Language), které jsou oba zároveň standardem **OGC**.

Jelikož se v případě **OpenLayers** jedná o otevřenou knihovnu, tak možnosti a funkcionalita jsou vesměs dány schopnostmi jednotlivých uživatelů. V základě však aplikace z pohledu uživatele umožňuje několik funkcí, kdy za příklad můžou sloužit zoom a posouvání mapou. Pokud by vývojář požadoval složitější funkce a procesy výsledné aplikace, je možné si velkou část potřebné funkcionality dopsat na míru v jazyce **JavaScript**. Je zde také možnost využití již hotových, předepsaných skriptů jinými uživateli **OpenLayers**, které se nacházejí na jejich oficiální stránce [3]. Ve většině případů následuje jejich úprava pro vlastní potřebu. **OpenLayers** má také svoji vlastní **API** (Application Programming Interface) dokumentaci, která je uživatelsky velmi přívětivá [3] [31].

5.5.2 Leaflet

Vedle **OpenLayers** existuje další otevřená **JavaScript** knihovna, kterou je **Leaflet**. Tato knihovna je určena pro tvorbu interaktivních map s tím, že je zaměřena na jednoduché a intuitivní ovládání a výraznou podporu mobilních zařízení. Využitelnost je dána především snadným rozšířením aplikace o již

sestavené pluginy.

Obdobně jako u `OpenLayers` se zde využívají především mapové dlaždice, které jsou výrazně šetrnější k množství dat přenášených k uživateli. Vedle toho existuje ještě možnost `ImageOverlay`, který umožňuje zobrazit jednotlivá obrazová data do mapy.

V čisté formě `Leaflet` podporuje pouze data formátu `GeoJSON` a vektorová data vytvořená přímo v `Leaflet`. Vektorová data vytvořená přímo v `Leaflet` jsou například linie, bod, polygon, obdélník a kruh. Pro načtení formátů `KML`, `CSV`, `TopoJSON` je možné využít plugin `Leaflet-Omnivore`. Data formátu `GML` zatím nejsou podporována vůbec.

Stejně jako tomu je u `OpenLayers`, tak i zde tvoří největší hnací motor samotní uživatelé, kteří vytváří pro `Leaflet` nepostradatelné pluginy. Pro uživatele bez znalosti programovacího jazyka je `Leaflet` čitelnější a snadněji pochopitelný než `OpenLayers`. Jak už bylo zmíněno výše, tak aktuálním cílem `Leaflet` je jednoduché a kvalitní provádění základních operací, nikoli složitější mapová díla. Soustava tutoriálů umožňuje snadné pochopení základních postupů a pro tvorbu jednodušších map jsou tyto návody společně s `API` dokumentací [11] dostačujícím prostředkem. Díky širokému spektru uživatelů existuje opravdu velká řada zmiňovaných pluginů, které posouvají možnosti `Leaflet` na úroveň podobnou `OpenLayers` [31].

5.5.3 Zvolený mapový klient

Z představených mapových klientů budeme pracovat s `JavaScriptovou` knihovnou `OpenLayers`, a to kvůli přehledné dokumentaci, dostupných příkladů a kompatibilitě se zvoleným mapovým serverem, kterým je již zmíněný `Geoserver`.

5.6 Výběr prohlížeče panoramatických snímků

Nedílnou součástí aplikace bude prohlížeč panoramatických snímků. Pro `JavaScript` existuje několik rozšiřujících knihoven, které tuto funkcionalitu umožňují. Jako příklad můžeme uvést prohlížeče od `Photo Sphere`, `Panolens`, `Marzipano` či `Pannellum`. V naší práci budeme pracovat s prohlížečem `Pannellum`.

`Pannellum` je open-source `JavaScriptová` knihovna pro prohlížení panoramatických fotografií a vytváření virtuálních prohlídek. `Pannellum` umožňuje snadno integrovat interaktivní panoramatické zobrazení do webových stránek pomocí `HTML`, `CSS` a `JavaScriptu`. Podporuje zobrazení panoramat

ve vysokém rozlišení a dále podporuje několik druhů projekcí, což by mohlo být výhodné do budoucna při použití jiného MMS pro sběr dat [28].

5.7 Vybrané technologie pro tvorbu webových aplikací

5.7.1 HTML

HTML (Hypertext Markup Language) je značkovací jazyk, který se používá pro definování struktury a obsahu webových stránek. HTML dokument se skládá z řady značek (tagů), které definují různé prvky stránky, jako jsou nadpisy, odstavce, obrázky, odkazy nebo formuláře. Tyto značky mohou mít atributy, které poskytují další informace o daném prvku. HTML značky a atributy tvoří stromovou strukturu, známou jako DOM (Document Object Model), která reprezentuje logickou organizaci webové stránky.

5.7.2 CSS

CSS (Cascading Style Sheets) je jazyk pro popis vzhledu a formátování dokumentů napsaných v HTML nebo jiných značkovacích jazycích, jako je XML. CSS umožňuje oddělit prezentaci (styly) od obsahu a struktury (HTML), což usnadňuje údržbu a zlepšuje přístupnost webových stránek. CSS soubory obsahují sadu pravidel, která určují, jak mají být HTML prvky zobrazeny v prohlížeči. Tato pravidla se skládají ze selektorů, které cílí na konkrétní HTML prvky nebo skupiny prvků, a deklarací, které definují vlastnosti a hodnoty pro tyto prvky (např. barva pozadí, velikost písma, okraje a další).

5.7.3 Javascript

JavaScript je skriptovací jazyk, který umožňuje přidávat interaktivitu a dynamiku na webové stránky. JavaScript může manipulovat s prvky na stránce, reagovat na události (jako kliknutí nebo pohyb myši), komunikovat se serverem a provádět další akce, které zlepšují uživatelskou interakci a zážitek. JavaScript kód může být přímo vložen do HTML dokumentu nebo uložen v externím souboru a následně načten do stránky. JavaScript pracuje s DOM pro přístup a manipulaci s HTML a CSS prvky.

5.7.4 REST

Frontend a backend spolu budou komunikovat pomocí rozhraní REST (Representational State Transfer). REST je architektura, která umožňuje přistupovat k datům na určitém místě pomocí standardních metod HTTP. Data budou přenášena v podobě JSON objektů. Pro naše REST API jsme zvolili framework ASP.NET Core od firmy Microsoft, který slouží pro tvorbu REST API a dynamických webových stránek. Výhodou této platformy je jednoduchá integrace na služby firmy Microsoft [21].

5.8 Shrnutí

PostGIS a QGIS umožňují ukládání a správu geografických dat, Geoserver umožňuje publikování těchto dat přes webové protokoly, ASP.NET umožňuje vývoj dynamických webových aplikací a OpenLayers poskytuje nástroje pro tvorbu interaktivních mapových aplikací v prostředí webu. Celkově lze říci, že tyto technologie společně poskytují robustní a výkonný základ pro vývoj GIS aplikací.

6 Implementace prototypu aplikace

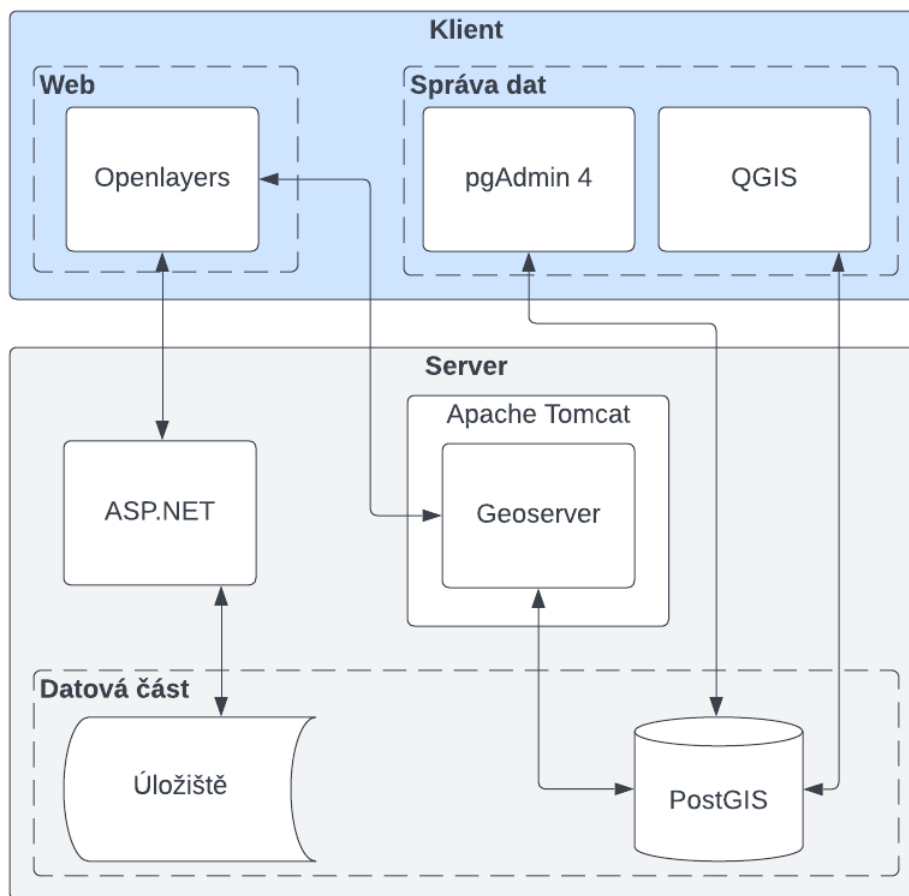
Aplikace pro publikaci fotografických dat z MMS je implementována na základě předchozích kapitol věnovaných specifikaci požadavků, analýze a návrhu řešení. Neklade si za cíl vytvořit hotovou aplikaci, ale hlavně ověřit možnosti zvolených technologií a odhalení nedostatků. Vývoj a testování aplikace probíhalo na lokálním počítači s OS Windows 10 a webovým serverem Apache Tomcat.

6.1 Model aplikace

Webová aplikace běží na vzdáleném webovém serveru a uživatel k ní přistupuje přes webový prohlížeč. Taková aplikace je pak rozdělena na kód, který běží na vzdáleném stroji, a kód, který běží v prohlížeči klienta. Mezi těmito dvěma částmi se nachází komunikační API. Na serveru běží komunikační API a mapový server, které jsou pod námi zvoleným webovým serverem. Tyto technologie obsluhují požadavky klienta ve webovém prohlížeči. Pro ukládání prostorových dat použijeme databázový systém, do kterého přistupujeme pomocí RDBMS, nebo desktop GIS software. Poslední částí je úložiště snímků, do kterého má přístup naše komunikační API. Fungování aplikace odpovídá modelu zobrazenému na obrázku 6.1.

6.2 Struktura projektu

V rámci představení implementace je důležité ukázat na adresáře obsahující zdrojové soubory aplikace. Veškeré klientské a serverové komponenty se nacházejí v kořenovém adresáři `\Aplikace_a_knihovny\`. Pro vývoj bylo zvoleno vývojové prostředí Microsoft Visual Studio Code. Pro publikaci aplikace do webového prostředí byl použit webový server Apache Tomcat.



Obrázek 6.1: Model aplikace

6.3 Datová část

6.3.1 Databáze

Z návrhu již víme, že součástí aplikace bude databáze, která obsahuje data o bodech. Jako první část, kterou budeme v naší architektuře zavádět, je RDBMS server, na kterém poběží databázový systém. Z předchozích kapitol již víme, že naší volbou je relační databáze PostgreSQL. Nainstalujeme si tedy tento databázový systém dle návodu [18].

Po úspěšné instalaci se můžeme přihlásit do RDBMS, který se u PostgreSQL nazývá pgAdmin. Po přihlášení do pgAdmin se nám otevřou všechny možnosti související se správou databáze. V první řadě je potřeba nainstalovat rozšíření PostGIS a vytvořit příslušné tabulky a relace. Databáze bude tedy obsahovat naše prostorová data, metadata a data veřejně dostupná data RÚIAN z ČÚZK [4]. Nad touto databází máme plnou kontrolu a její datový

model odpovídá návrhu viz obr. 4.3. Datová část aplikace byla implementována za pomoci technologií uvedených v tab. 6.1.

6.3.2 Úložiště snímků

Úložiště snímků bude fyzická složka umístěná přímo na stroji, na kterém poběží webový server. V našem případě jsou snímky skladovány v adresáři `\Vstupni_data\FOTO\`.

Tabulka 6.1: Použité technologie na datové části

Technologie	Verze	Význam
PostgreSQL s PostGIS	15	Databázový server s prostorovým rozšířením pro uchovávání geoprostorových dat a metadat o panoramatických snímcích. Pro správu databáze bylo využito rohraní <code>pgAdmin 4</code> a desktopová aplikace <code>QGIS</code> .

6.4 Server

Tato vrstva má za úkol zajistit běh samotné aplikace. V našem případě se zde bude nacházet webový server, na kterém poběží mapový server. Serverová část aplikace slouží pro komunikaci mezi uživatelem a datovým úložištěm. Pro vývoj byl použit mapový server, jehož instalační soubor `geoserver.war` se nachází v kořenovém adresáři.

O řešení jednotlivých požadavků se stará `REST API`, které se nachází v adresáři `\REST_API\`. Potřebujeme vytvořit webový server, na kterém tyto služby poběží. Serverová část aplikace byla implementována za pomoci technologií uvedených v tab. 6.2.

6.4.1 Webový server

V první řadě je potřeba nainstalovat webový server, na kterém poběží naše aplikace, `REST API` napojené na úložiště snímků a mapový server napojený na databázi. Pro vývoj byl použit webový server `Apache Tomcat`.

6.4.2 Mapový server

Dalším nástrojem je mapový server `Geoserver`, který nainstalujeme dle návodu [27]. Po úspěšné instalaci se přes webový prohlížeč přihlásíme do webo-

vého rozhraní tohoto nástroje vytvoříme nový pracovní prostor pro naše data. Poté vytvoříme nové úložiště s názvem **panorama** a připojením na naši **PostGIS** databázi, které nám zajistí možnost publikace **WMS** služeb z našich dat uložených v databázi. Dalším krokem je publikování bodů z databázové tabulky **body** pomocí nové vrstvy.

6.4.3 Komunikační API

O obsluhu zobrazování jednotlivých snímků se stará **REST API**, které se nachází v adresáři `\REST_API\`. Pro implementaci komunikačního rozhraní byl použit framework **ASP.NET**. Po interakci uživatele s konkrétním bodem zajistí potřebné údaje o bodu a odešle se **URL** s parametrem obrázku na **REST API**. Klient v rámci interakce s aplikací komunikuje s **REST API** prostřednictvím **HTTP** metody **GET**, která slouží k získání konkrétního obrázku. Data jsou přenášena pomocí **JSON** objektů. Pro běh aplikace je nutné v souboru `appsettings.json` nastavit absolutní cestu ke zdroji obrázků. Služba se poté spouští buďto přiloženým skriptem `run.bat`, nebo vygenerovaným souborem `Test.exe`.

Tabulka 6.2: Použité technologie na serveru

Technologie	Verze	Význam
Geoserver	2.22.2	Mapový server pro publikaci geografických dat. Byl využit pro publikaci webových mapových služeb.
ASP.NET Core	6.0.408	Framework pro vytvoření REST API webové služby panoramatických snímků. API bylo vyvíjeno pomocí programovacího jazyka C# a sadou nástrojů .NET SDK .

6.5 Klient

6.5.1 Web

Webová část aplikace byla implementována za pomoci technologií **HTML**, **CSS** a **JavaScript**, které běží přímo ve webovém prohlížeči. Veškeré klientské komponenty se nacházejí v adresáři `\webgis\`. Pro vývoj bylo zvoleno vývojové prostředí **Microsoft Visual Studio Code**. Pro publikaci aplikace do webového prostředí byl použit webový server **Apache Tomcat**. Klientská část aplikace byla implementována za pomoci technologií uvedených v tab. 6.3.

Tabulka 6.3: Použité technologie na klientovi

Technologie	Verze	Popis
HTML	5	Struktura a obsah webové stránky. Celý HTML kód se nachází v souboru <code>index.html</code>
CSS	3	Popis vzhledu a formátování dokumentů napsaných v jazyce HTML. Veškerá stylizace se nachází v souboru <code>style.css</code>
JavaScript	1.5	Dynamické změny obsahu webové stránky a interakce s uživateli. Celý JavaScriptový kód se nachází v souboru <code>main.js</code>

Hlavní těžiště aplikace je právě v JavaScriptu na straně klienta. Pro zjednodušení práce na straně klienta bylo použito několik knihoven. Hlavní knihovnou, která stojí za vznikem mapového klienta je knihovna **OpenLayers**. Tato knihovna umožňuje načítání geografických dat z různých zdrojů, jako jsou webové služby mapových dlaždic, geografické služby (WMS, WMTS), GeoJSON, KML a další. Poskytuje nástroje pro stylování map, přidávání interaktivních prvků (ovládací prvky, značky, popisky), navigaci po mapě (přiblížení, posun) a provádění geografických analýz. K implementaci byly použity knihovny uvedené v tab. 6.4.

Tabulka 6.4: Použité knihovny JavaScriptu

Knihovna	Verze	Popis
OpenLayers	7.3.0	Použito pro webového mapového klienta. Poskytnutí funkcí a nástrojů pro práci s mapou (zobrazení podkladové mapy, vrstev atd.).
OpenLayers LayerSwitcher	4.1.1	Slouží pro přepínání mezi vrstvami.
ThreeJS	105	Vytváření a zobrazování 3D grafiky a animací ve webovém prohlížeči. Podpora různých typů animace včetně pohybu, rotace, změny velikosti a mnoho dalšího.
Pannellum	2.5.6	Vytváření interaktivních 360° panoramat pro webové stránky.

6.5.2 Správa dat

Pro správu dat jsme využili nástroje **pgAdmin** a **QGIS**. Tyto nástroje slouží pro přístup do databázového systému **PostGIS**, díky kterým dokážeme snadno manipulovat s uloženými daty. Technologie, které byly použité pro správu dat, jsou uvedeny v tab. 6.5.

Desktop GIS

Tento nástroj poskytuje rozhraní pro práci s prostorovými daty, kdy po připojení k **PostgreSQL** databázi můžeme provádět různé operace, jako je zobrazování vrstev, provádění prostorových dotazů, editace dat nebo vytváření nových vrstev. Pro přístup do **PostgreSQL** databáze jsme využili **QGIS**, který nám poskytuje uživatelsky přívětivější prostředí pro práci s geografickými daty a využívání funkcionality a nástrojů tohoto softwaru přímo nad daty uloženými v databázi. Díky tomuto nástroji jsme schopni velmi rychle upravovat a filtrovat data např. na základě území.

Rozhraní RDBMS

Nástrojem pro správu a administraci **PostgreSQL** databází je **pgAdmin**. Poskytuje nám rozhraní pro RDBMS a GUI pro správu **PostgreSQL**. **PgAdmin** nám umožňuje připojit se k **PostgreSQL**, přidávat a spravovat různé servery **PostgreSQL**, vytvářet a spravovat databáze, prohlížet data, spravovat uživatele a monitorovat výkon.

Tabulka 6.5: Použité technologie pro správu dat

Technologie	Verze	Význam
pgAdmin	4	Užitečný nástroj pro správu objektů, provádění SQL dotazů, import/export dat, správu uživatelů a oprávnění a monitorování výkonu. Jedná se o grafický nástroj pro správu PostgreSQL databází.
QGIS	3.30	Použito jako nástroj pro vizualizaci, analýzu a správu prostorových dat.

6.6 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní je jednoduché a intuitivní. Při spuštění klientské aplikace se zobrazí čistá podkladová mapa. V pravé horní části je zobrazen pře-

pínač, který umožňuje přepínání mezi podkladovými mapami. Dále přepínač umožňuje zapínání a vypínání překryvných vrstev, které mohou být zapnuté i všechny najednou. Mezi těmito vrstvami se nachází krajské hranice a naše bodová vrstvy.

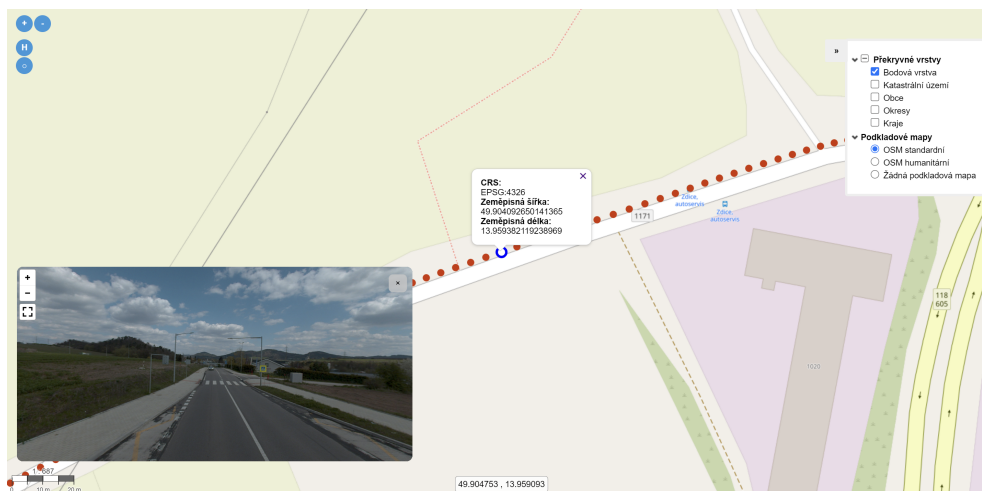
V levé horní části se nachází ovládací prvky mapy, jako je přibližování a oddalování, tlačítko sloužící pro návrat na domovskou obrazovku a tlačítko pro zjištění geolokace uživatele.

Po kliknutí na bod se zobrazí zmenšené okno s prohlížečem příslušné panoramatické fotografie a vyskakovací okno se souřadnicemi vybraného bodu viz obr. 6.2. Panoramatický prohlížeč je možné zobrazit i na celou obrazovku viz obr. 6.3. V projekci panoramatické fotografie se uživatel může pohybovat všemi směry, přibližovat a oddalovat.

Pokud by se stalo, že by obrázek k vybranému bodu nebyl dostupný, bude o této skutečnosti uživatel informován viz obr. 6.4.

6.6.1 Panoramatický prohlížeč

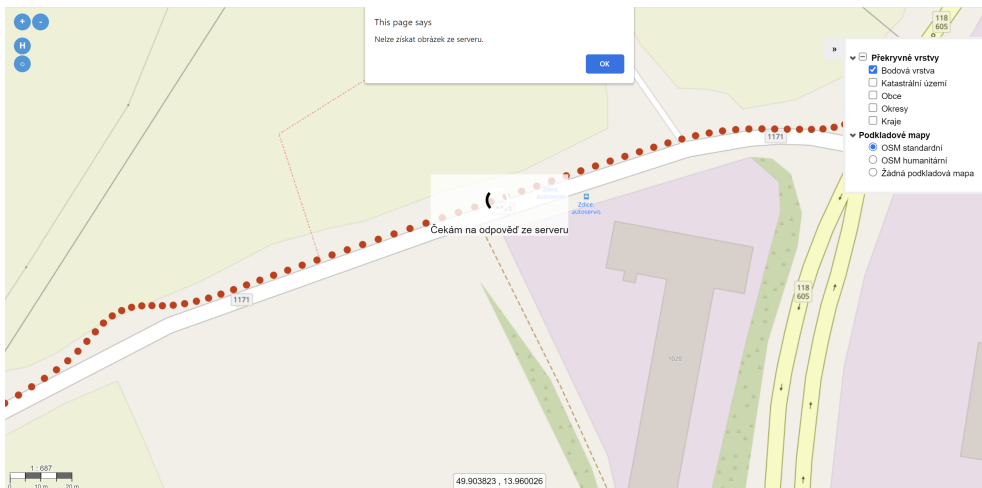
Okno zobrazené po výběru konkrétního bodu na mapě zobrazuje detailně příslušné panorama. Jedná se o interaktivní panoramatický prohlížeč zajištěný JavaScriptovou knihovnou Pannellum. Prohlížeč po výběru bodu automaticky zahájí stahování fotografie a po jeho načtení je automaticky spuštěna jeho sférická projekce.



Obrázek 6.2: Ukázka prostředí



Obrázek 6.3: Ukázka prohlížeče



Obrázek 6.4: Ukázka nedostupnosti

7 Testování

Testování proběhlo v rámci schůzky se dvěma uživateli, kde byly uživatelům předloženy návrhy byznys a aplikační architektury a následně prototyp aplikace, vysvětlena její funkcionalita a proběhlo uživatelské testování.

7.1 Hodnocení od uživatelů

7.1.1 Uživatel A

„Aplikace působí příjemně, líbí se mi možnost zmenšeného panoramatického prohlížeče. Uvítal bych zobrazení dat dle podrobnosti měřítka – při velkém oddálení už je těžko rozpoznatelné, že se jedná o bodovou vrstvu.“

7.1.2 Uživatel B

„Aplikace se ovládá dobře a líbí se mi malé okno s panoramatickou fotografií. Chybí mi zorné pole a dále bych uvítal procházení mezi jednotlivými body. Tyto požadavky však nebyly specifikovány, a proto spíš budou předmětem budoucího vývoje aplikace. Aplikace splňuje specifikované požadavky, očekávám tedy, že bude nasazena a vývoj bude pokračovat.“

7.2 Možná rozšíření do budoucna

7.2.1 Rozšíření na základě testování

První rozšíření, které se budeme snažit implementovat, bude obarvení právě vybraného bodu, které zmínili oba uživatelé. Tato funkcionalita jednoznačně chybí pro lepší orientaci ve vrstvě bodů. Následovat bude řešení dalších zmíněných funkcionalit od testovacích uživatelů, a to přidání šipek na procházení mezi body a zorné pole z vybraného bodu. Zaměříme se i na zobrazování dat dle podrobnosti měřítka. Dávalo by smysl, aby se data ve velkém oddálení zobrazovaly jako linie, nebo se shlukovala do polygonu a až při přiblížení na rozumnou vzdálenost se zobrazili jednotlivé body.

7.2.2 Další možná rozšíření

Dalšími možnými rozšířeními, které budou v budoucnu předmětem vývoje, jsou např. zobrazování archivních vrstev, textová lokalizace a přidání uživatelských rolí.

Dalším velmi zajímavým rozšířením je funkcionality na označování objektů a jejich export do databáze, nebo souborů. Touto funkcionalitou by se aplikace posunula na další úroveň a uživatelé by ji zcela jistě ocenili, jelikož by jim to velmi usnadnilo správu majetku. Je zamýšleno, že by si uživatelé mohli označit na fotografii např. dopravní značku a přiřadit jí různé atributy. Atributy by se potom buď ukládaly na databázovém serveru, nebo by se mohli exportovat v tabulkových formátech. Tato funkcionality je však programátorsky velmi náročná a může být předmětem dalšího vývoje.

8 Závěr

Podle specifikace požadavků vznikly návrhy architektur a datového modelu, které byly následně implementovány. Hlavním cílem implementace bylo otestování vybraných nástrojů a technologií. Při vzniku práce neexistovaly žádné představy o open-source nástrojích, jejichž pomocí dojde k řešení problému. S ohledem na komplexnost celého systému se hlavním parametrem stala rozšiřitelnost a použití existujících nástrojů.

V průběhu zpracování jsem získal znalosti ohledně webových technologií a tvorby webových aplikací, které jsem do té doby nepoužíval. V rámci práce jsem se seznámil s novými nástroji – QGIS, Geoserver, PostGIS, REST API a knihovnamy jako OpenLayers a Pannellum, které považuji za velmi užitečné a určitě je použiji i v dalších projektech. Výše zmíněné nástroje se ukázaly jako vhodně zvolené a předpokládá se, že budou užitečné i pro další vývoj aplikace. Vytvořená aplikace splňuje hlavní cíl práce. Uživatel může v aplikaci zobrazovat a prohlížet panoramatické fotografie na základě interakce s jednotlivými body, přesto zde však existuje široký prostor pro zlepšení a rozšíření. V první řadě se nabízí vyřešit správu uživatelů, díky čemuž by byla aplikace bezpečnější. Nejzajímavějším rozšířením se dle mého názoru jeví funkcionalita na označování objektů a jejich export do databáze.

Z potíží, které pramenily omezenými zkušenostmi s geografickými daty a webovými technologiemi se mi však podařilo vytvořit funkční prototyp aplikace, která splňuje zadání. Aplikace bude nasazena do provozu a bude nadále vyvíjena. Tuto skutečnost beru jako velmi pozitivní signál o tom, že řešení bylo navrženo správně.

Zadání se podařilo splnit ve všech bodech a vytvořená aplikace bude v budoucnu užitečným nástrojem.

Seznam použitých zkratek

GUI	Grafické uživatelské rozhraní
API	Rozhraní aplikačního programování
MMS	Mobilní Mapovací Systém
IT	Informační Technologie
ICT	Information and Communication Technologies
GIS	Geografický Informační Systém
QGIS	Quantum GIS
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMU	Inerciální Měřicí Jednotka
GPS	Global Positioning System
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System
SQL	Structured Query Language
OGC	Open Geospatial Consortium
SFS	Simple Features SQL
URL	Uniform Resource Locator
WMS	Web Map Service
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language
KML	Keyhole Markup Language
GML	Geography Markup Language
CQL	Common Query Language
RDBMS	Relational Database Management System
DOM	Document Object Model

CSS	Cascading Style Sheets
HTML	Hypertext Markup Language
TOGAF	The Open Group Architecture Framework
EA	Enterprise architektura
REST	Representational State Transfer
VUSC	Vyšší územní samosprávný celek
ESRI	Environmental Systems Research Institute

Literatura

- [1] *Architektura klient-server (Client-server model)* [online]. ManagementMania.com, 2016. [cit. 2021/02/15]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/architektura-klient-server>.
- [2] *Třívrstvá architektura (Three-tier architecture)* [online]. ManagementMania.com, 2015. [cit. 2021/02/15]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/trivrstva-architektura-three-tier-architecture>.
- [3] *OpenLayers* [online]. OpenLayers Dev Team. [cit. 2021/02/22]. Dostupné z: <https://openlayers.org/>.
- [4] *Služby mapového serveru* [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). [cit. 2023/04/28]. Registr územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN). Dostupné z: <https://services.cuzk.cz/>.
- [5] *Úvod: Co je Informační koncepce České republiky* [online]. odbor Hlavního architekta eGovernmentu (ODA). [cit. 2023/04/09]. Dostupné z: https://archi.gov.cz/nar_dokument:uvod.
- [6] *About ArcGIS* [online]. Esri. [cit. 2023/05/05]. Dostupné z: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>.
- [7] *What is Geoserver?* [online]. Open Source Geospatial Foundation. [cit. 2021/02/21]. Dostupné z: <https://geoserver.org/about/>.
- [8] *What is Geographic Information System (GIS)?* [online]. GISGeography. [cit. 2023/05/20]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/what-is-gis/>.
- [9] *What is GNSS?* [online]. European Union Agency for the Space Programme, 2021. [cit. 2021/02/25]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>.
- [10] *An Introduction to Spatial Indexing* [online]. MapScaping, 2023. [cit. 2023/06/20]. Dostupné z: <https://mapscaping.com/an-introduction-to-spatial-indexing/>.
- [11] *Leaflet* [online]. Agafonkin, Volodymyr. [cit. 2021/02/22]. Open-source JavaScript library. Dostupné z: <https://leafletjs.com/>.
- [12] *An Introduction to MapServer* [online]. Open Source Geospatial Foundation. [cit. 2021/02/21]. Dostupné z: <https://mapserver.org/introduction.html>.

- [13] *OGC Standards* [online]. Open Geospatial Consortium. [cit. 2023/04/20]. Dostupné z: <https://www.ogc.org/standards/>.
- [14] *PostGIS začátečník* [online]. GISMentors. [cit. 2023/06/21]. Dostupné z: https://training.gismentors.eu/postgis-zacatecnik/kapitoly/1_uvod.html.
- [15] *Standardy OGC* [online]. GISMentors. [cit. 2023/04/21]. Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/open-source-gis/standardy/ogc/index.html>.
- [16] *Supported Mapping Resources* [online]. Orbit GeoSpatial Technologies. [cit. 2023/04/30]. The Orbit Knowledge Base. Dostupné z: https://kb.orbitgt.com/dev/technology/3d_mapping/supported_resources.
- [17] *Panoramic Image Projections* [online]. Cambridge in Colour. [cit. 2023/03/20]. Dostupné z: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-projections.htm>.
- [18] *Introduction to PostGIS: Installation* [online]. PostGIS PSC & OSGeo. [cit. 2023/05/03]. Dostupné z: <https://postgis.net/workshops/postgis-intro/installation.html>.
- [19] *Open-source GIS: Prostorové databáze* [online]. GISMentors. [cit. 2023/06/20]. Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/open-source-gis/database/index.html>.
- [20] *QGIS začátečník* [online]. GISMentors. [cit. 2023/05/05]. Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/qgis-zacatecnik/>.
- [21] *What is a REST?* [online]. Codecademy Team. [cit. 2023/04/20]. Dostupné z: <https://www.codecademy.com/article/what-is-rest>.
- [22] *Web Map Service (WMS)* [online]. Open Geospatial Consortium. [cit. 2023/04/23]. Dostupné z: <https://opengeospatial.github.io/e-learning/wms/text/basic-main.html>.
- [23] HETTLER, J. Automatická publikace metadat a dat pro mapové a katalogové systémy z rastrových podkladů v PostgreSQL. Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Praha, 2012. Vedoucí práce Lukáš Brůha.
- [24] MANDA, D. Mobilní mapování. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie., Brno, 2013. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

- [25] ORACLE. *Oracle Spatial Developer's Guide* [online]. Dostupné z: https://docs.oracle.com/cd/B28359_01/appdev.111/b28400/sdo_intro.htm#SPATL442.
- [26] PETRIE, G. Mobile Mapping Systems: An Introduction to the Technology. *Geoinformatics*. 01 2010, 13, s. 32–43.
- [27] PETROFF, M. *GeoServer User Manual: Installation* [online]. Open Source Geospatial Foundation. [cit. 2023/05/03]. Dostupné z: <https://docs.geoserver.org/stable/en/user/installation/war.html>.
- [28] PETROFF, M. *Overview* [online]. Pannellum Open Source JavaScript library. [cit. 2023/04/30]. Dostupné z: <https://pannellum.org/documentation/overview/>.
- [29] PIÓRKOWSKI, A. Mysql spatial and postgis-implementations of spatial data standards. *Electronic Journal Of Polish Agricultural Universities*. 01 2011, 14, s. 03.
- [30] RAMSEY, P. – LESLIE, M. – CONTRIBUTORS, P. *Introduction to PostGIS: Geometries* [online]. PostGIS PSC & OSGeo. [cit. 2023/04/28]. Dostupné z: <http://postgis.net/workshops/postgis-intro/geometries.html>.
- [31] SUK, T. Webová mapová aplikace pro Český historický atlas. Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, Praha, 2017. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
- [32] TAJOVSKÁ, K. Mobilní mapování, 12 2014. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/sci/podzim2014/Z8101/um/50635271/Prednaska12.pdf>.
- [33] TJUKANOV, T. *Why should you care about PostGIS? — A gentle introduction to spatial databases* [online]. medium.com, 2018. [cit. 2023/04/30]. Dostupné z: <https://medium.com/@tjukanov/why-should-you-care-about-postgis-a-gentle-introduction-to-spatial-databases-9eccd26bc42b>.
- [34] ČEPICKÝ, J. *Mapový server snadno a rychle* [online]. ROOT.cz, 2005. [cit. 2021/02/20]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/mapovy-server-snadno-a-rychle-1/>.

Seznam tabulek

6.1	Použité technologie na datové části	42
6.2	Použité technologie na serveru	43
6.3	Použité technologie na klientovi	44
6.4	Použité knihovny JavaScriptu	44
6.5	Použité technologie pro správu dat	45

Seznam obrázků

3.1	Ukázka zdrojových dat – sférické panorama	8
4.1	Návrh byznys architektury	12
4.2	Návrh aplikační architektury	14
4.3	Návrh datového modelu	17
5.1	Dvouvrstvá architektura	24
5.2	Třívrstvá architektura	25
5.3	Atributy prostorových dat [10].	29
5.4	Indexové struktury pro prostorová data [19].	30
5.5	Přehled jednotlivých typů geometrie dle specifikace OGC SFA [14].	31
6.1	Model aplikace	41
6.2	Ukázka prostředí	46
6.3	Ukázka prohlížeče	47
6.4	Ukázka nedostupnosti	47
A.1	Připojení QGIS k databázi PostGIS	59
A.2	Import zdrojových dat do QGIS	60
A.3	Připojení Geoserveru k databázi PostGIS	61
A.4	Nastavení publikované vrstvy	62

A Uživatelská příručka

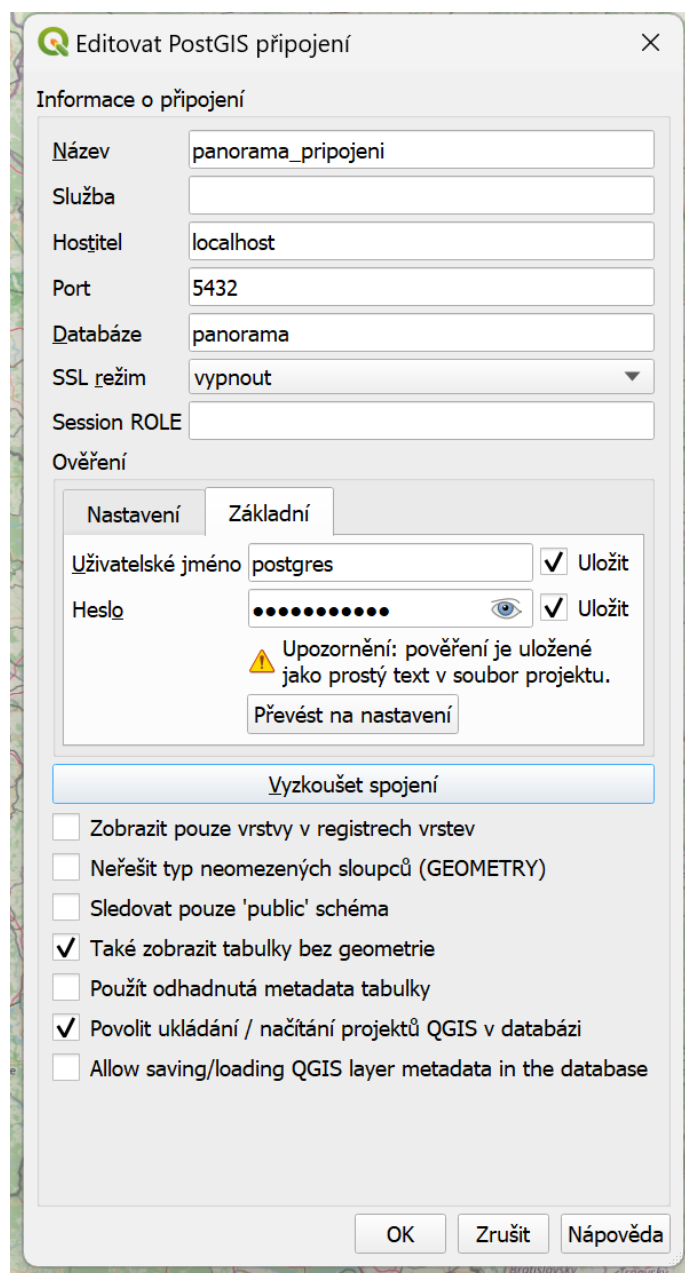
V této příloze se nachází stručný návod k tomu, jak aplikaci používat.

A.1 Editor

Editor dat pracuje primárně se systémem QGIS, ve kterém doplňuje a upravuje data. Import dat budeme popisovat právě z jeho pohledu v prostředí QGIS.

A.1.1 Import dat

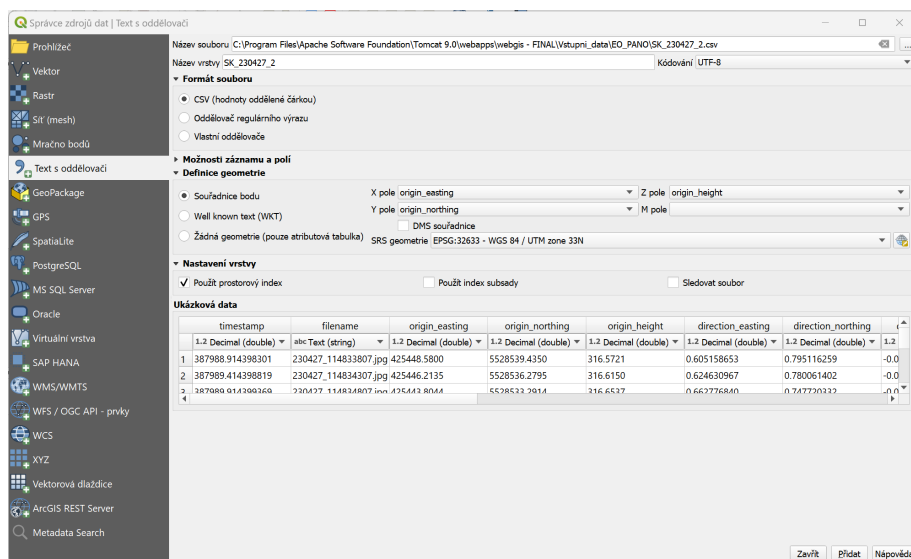
- Spustíme software QGIS, ve kterém realizujeme připojení na databázový server viz obr. A.1, ze kterého si budeme zobrazovat aktuální bodovou vrstvu.
- Převezatá data od pořizovatele naimportujeme do QGIS jako novou vrstvu. V našem případě pracujeme se zdrojovým souborem ve formátu CSV.
 - Zvolíme geometrický typ prvků a vybereme souřadnice X, Y a Z. Poté nastavíme správný CRS (Coordinate Reference System) zdrojových dat viz obr. A.2. Následně vrstvu exportujeme jako **ESRI shapefile** – nyní máme CSV soubor převedený na SHP a můžeme s ním dále pracovat v QGIS nebo jiných GIS aplikacích. Tento krok je potřeba provést z důvodu, že QGIS neumožňuje manipulovat s daty ve formátu CSV.
- Vytvoříme vrstvě nové atributy v `projekt_id` a `katuze_kod` a doplníme jejich hodnoty.
- Následuje kontrola, zda se nové body „nepřekrývají“ s těmi starými. Pokud se nepřekrývají, pokračujeme na další krok. Pokud se překrývají, bude potřeba provést následující mezikrok:
 - Na základě kontroly geometrického překryvu určíme staré body, které jsou v překryvu s nově pořízenými body a ty přesuneme z publikované vrstvy do archivu.
- Nové body přidáme do publikované tabulky.



Obrázek A.1: Připojení QGIS k databázi PostGIS

A.1.2 Publikace dat

Dále se přesuneme do webového rozhraní Geoserveru. Vytvoříme si nový pracovní prostor a v něm poté vytvoříme nové úložiště se zdrojem vektorových dat z PostGIS. Je potřeba vyplnit pole `database`, `user` a `passwd` viz obr. A.3 – ty slouží pro přístup do našeho databázového systému. Dále se nám zobrazí nabídka možnosti publikace vrstev (tabulek). Můžeme buď vytvořit SQL dotaz a publikovat pouze body na základě nějakých kritérií, nebo publikovat celou



Obrázek A.2: Import zdrojových dat do QGIS

tabulku. V našem případě dáme publikovat celou tabulku, v záložce data uvedeme deklarovaný souřadnicový systém, nalezneme ohraničující boxy výběrem možností **Vypočíst z dat** a **Vypočítat z původních hranic** viz obr. A.4 a uložíme. Nyní je vrstva publikovaná v prostředí internetu.

Upravit zdroj vektorových dat

Upravit stávající zdroj vektorových dat

PostGIS
PostGIS Database

Základní informace úložiště

Pracovní prostor *

panorama

Název zdroje dat *

panorama_body

Popis

Povoleno

Auto disable on connection failure

Parametry připojení

host *

localhost

port *

5432

database

panorama

schema

public

user *

postgres

passwd

.....

Jmenný prostor *

panorama

Expose primary keys

max connections

Uložit **Použít** **Zrušit**

O & Stav

- Stav serveru
- GeoServer protokoly
- Kontaktní informace
- O GeoServeru

Data

- Layer Preview
- Pracovní prostory
- Úložiště
- Vrstvy
- Skupiny vrstev
- Styly

Služby

- WMTS
- WCS
- WFS
- WMS

Nastavení

- globální
- Zpracování obrazu
- Raster Access

Tile Caching

- Vrstvy dlaždic
- Caching Defaults
- Gridsets
- Disková kvóta
- BlobStores

Zabezpečení

- Nastavení
- Autentizace
- Hesla
- Uživatelé, Skupiny, Role
- Data

Obrázek A.3: Připojení Geoserveru k databázi PostGIS

Coordinate Reference Systems

Přirozený SRS

EPSG:32633 EPSG:WGS 84 / UTM zone 33N...

Deklarované SRS

EPSG:32633 EPSG:WGS 84 / UTM zone 33N...

Manipulace SRS

Vyhlášené síly

ohraničující boxy

Přirozený ohraničující rámeček

Max Y	Max Y	Max X	Max Y
546,800,6875	5,390,251	547,448.25	5,390,453

[Vypočíst z dat](#)

[Compute from SRS bounds](#)

Lat / Lon ohraničujícího rámečku

Max Y	Max Y	Max X	Max Y
15.635587807226	48.663507999765	15.644404772848	48.665373965539

[Vypočítat z původních hranic](#)

Curved geometries control


Lineární geometrie mohou obsahovat kruhové oblouky

Tolerance linearizace (užitečné pouze v případě, že vaše data obsahují zakřivené geometrie)

Podrobnosti o typu funkce

Customize attributes

Vlastnictví	Typ	Nullable	Min./ Max. výskytů
gid	Long	true	0/1
filename	String	true	0/1
geom	Geometry	true	0/1

[Typ funkce znovu načíst](#)  ...

Omezit funkce na vrstvě pomocí filtru CQL

Obrázek A.4: Nastavení publikované vrstvy

B Obsah ZIP souboru

V této příloze je uvedena základní struktura obsahu odevzdávaného ZIP souboru. V této struktuře nejsou uvedeny všechny soubory a adresáře, ale pouze ty hlavní.

B.1 Struktura ZIP souboru

A21B0694P_prilohy.zip.....	Kořenový adresář
├── Text_prace/	Text a zdrojové soubory práce
│ ├── BP_Jan_Vondracek.pdf	Text práce
│ └── Zdrojove_soubory/	Zdrojové soubory práce
├── Aplikace_a_knihovny/	Zdrojové, konfigurační soubory a knihovny
│ ├── DB/	Záloha databáze
│ ├── REST_API/	Zdrojové kódy komunikačního API
│ ├── webgis/	Zdrojové kódy implementace
│ │ └── lib/	Použité knihovny
│ ├── build_readme.txt.....	Popis zprovoznění aplikace
│ └── geoserver.war	Konfigurační soubor Geoserveru
├── Vstupni_data/	Vstupní data pro otestování aplikace
│ ├── EO_PANO/	Primární data
│ ├── FOTO.....	Použité panoramatické snímky
│ └── shp/	Použité shapefile soubory
└── README.txt	Popis obsahu ZIP souboru