

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1246

**VIZUALIZACIJA PROMETA JAVNOG PRIJEVOZA
U STVARNOM VREMENU UPORABOM
FORMATA GTFS**

Luka Miličević

Zagreb, lipanj, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Zagreb, 4. ožujka 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1246

Pristupnik: **Luka Miličević (0036543289)**

Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo

Modul: Računarstvo

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Ivana Bosnić

Zadatak: **Vizualizacija prometa javnog prijevoza u stvarnom vremenu uporabom formata GTFS**

Opis zadatka:

Proučiti problematiku pružanja informacija o javnom prijevozu te dostupne norme za razmjenu takvih podataka. Posebnu pažnju posvetiti formatima namijenjenima slanju informacija u stvarnom vremenu. Istražiti normu General Transit Feed Specification (GTFS), a posebno podskup GTFS Realtime (GTFS RT). Za odabrani grad koji pruža usluge javnog prijevoza i daje informacije u formatu GTFS RT potrebno je razviti web-aplikaciju za vizualizaciju trenutnog položaja vozila javnog prijevoza na karti. S obzirom na moguća ograničenja izvora podataka i njihovo slanje u "skoro stvarnom vremenu" (near real-time), potrebno je ostvariti jednostavno predviđanje i animaciju kretanja vozila do sljedeće stanice. Aplikacija treba omogućiti korisniku odabir pojedine prijevozne linije koju želi pratiti i pružiti mu dodatne informacije, poput vremena dolaska vozila na određenu postaju, kašnjenja i slično. S obzirom na način uporabe, aplikacija treba imati responzivni dizajn uz korisničko sučelje prilagođeno i uredajima manjih zaslona.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

Na samom početku želim izraziti svoju duboku zahvalnost svojoj obitelji i prijateljima za neizmjernu podršku i razumijevanje tijekom mog obrazovanja. Posebnu zahvalnost dugujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Ivani Bosnić, čije me stručno vodstvo i savjeti pratilo kroz cijeli proces izrade ovog rada. Vaša podrška bila je ključna za moj akademski napredak i uspjeh.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Zagrebački električni tramvaj	4
2.1. Slične aplikacije - ZET info	4
3. Format General Transit Feed Specification	6
3.1. Format GTFS static	7
3.1.1. Obavezne datoteke	9
3.1.2. Opcionalne datoteke	9
3.2. Format GTFS realtime	10
3.3. Podaci ZET-a u formatu GTFS	11
3.4. GTFS realtime podaci ZET-a	15
4. Mehanizam Protocol buffers	17
5. Arhitektura sustava	19
5.1. Baza podataka	20
5.2. Pomoćna skripta za dohvatanje ZET-ovih podataka	23
5.3. Poslužiteljski dio aplikacije - node.js	25
5.4. Klijentski dio aplikacije - React.js	28
6. Izgled aplikacije	33
7. Zaključak	39
Literatura	40
Sažetak	41

Abstract	42
A: Programske kôd aplikacije	43

1. Uvod

U velikim urbanim gradovima poput Zagreba, javni gradski prijevoz predstavlja neizostavan dio svakodnevnog života. On je temeljni stup mobilnosti, pružajući vitalnu infrastrukturu za povezivanje građana i omogućujući lakše i efikasnije kretanje unutar grada. Velika većina građana svakodnevno koristi javni prijevoz te s obzirom na važnost vremena u užurbanom ritmu gradskog života, dobra organizacija i planiranje putovanja su ključni, jer svi bi htjeli 15 minuta koje potroše na čekanju prijevoza iskoristiti na drukčiji način. Upravo s tim ciljem, ideja završnog rada je stvoriti web-aplikaciju, koja pruža praćenje tramvaja u stvarnom vremenu, olakšavajući korisnicima efikasno planiranje svojih putovanja, osiguravajući im precizne informacije o dolasku tramvaja i informacijama o pojedinim gradskim linijama prijevoza. Kroz ovaj zadatak, bit će istraženi tehnički izazovi koji nastupaju tijekom razvoja takve web-aplikacije. Dublje će se istražiti ključni elementi koji oblikuju temelje web-aplikacije poput analize API-ja kojeg pruža Zagrebački električni tramvaj (ZET), proučavanje otvorenih standarda *GTFS* i *GTFS realtime*, te detaljniju analizu strukture web-aplikacije, od baze podataka *PostgreSQL*, poslužiteljskog dijela ostvarenog s razvojnim okvirima *node.js* i *Express.js*, do klijentskog dijela implementiranog s *React.js* i bibliotekama poput *Leaflet.js*.

2. Zagrebački električni tramvaj

Zagrebački električni tramvaj, poznatiji kao ZET, je trgovačko društvo koje je u direktnom vlasništvu Grada Zagreba, te ima ključnu ulogu u organizaciji javnog gradskog prijevoza u Zagrebu. Posluje od 1910. godine i svakodnevno pruža prijevozne usluge za gotovo milijun ljudi pomoću tramvaja, autobusa, uspinjače i specijalnih prijevoza [1]. Nedavno je ZET otvorio svoje podatke javnosti pod Otvorenom dozvolom Republike Hrvatske. Ovi podaci obuhvaćaju *GTFS static* i *GTFS realtime* podatke, koji su trenutno parcijalno implementirani te su dostupni na službenoj stranici ZET-a [2]. Ti podaci će biti temelj aplikacije te će biti detaljnije proučeni u poglavljiju 3.3.

2.1. Slične aplikacije - ZET info

Jedna popularna aplikacija koja koristi iste ZET-ove podatke je ZET info [3]. ZET info primarno koristi podatke u formatu *GTFS static* za prikaz rasporeda tramvaja ZET-a. Ona nije službena ZET-ova aplikacija te je dostupna preko trgovina Apple App Store i Google play. Vrlo je praktična za imati pri ruci za pregledavanje rasporeda vožnji, ali aplikacijom ovog završnog rada želi se ostvariti i upotreba stvarnih (*realtime*) podataka za tramvaje i autobuse.

Vozni red			5 Prečko-Park Maksimir							Park Maksimir		
FAVORITI	LINJE	POSTAJE	ned 26	pon 27	uto 28	sri 29	čet 30	pet 31	PDF	★	←	←
Linije				Prečko	→	Park Maksimir					Vrbik Stigao	
5	Prečko-Park Maksimir			16:24	→	17:26					Sveučilišna al. Stigao	
17	Prečko - Borongaj			16:36	→	17:38					Miramarška Stigao	
109	Črnomerec - Dugave			16:49	→	17:50					Lisinski Stigao	
				16:55	→	17:42					Kruge Stigao	
				17:03	→	18:05					Strojarska Stigao	
				17:14	→	18:16					Držićeva 17:25	
				17:25	...	18:27					Autobusni kol. 17:27	
				17:39	...	18:41					Trg P. Krešimira 17:30	
				17:54	...	18:55					Šubićeva 17:32	
				18:09	...	19:06					Tržnica Kvatrić 17:34	
				18:16	...	19:00					Mašićeva 17:39	
				18:24	...	19:21					Jordanovac 17:41	
				18:38	...	19:35					Park Maksimir 17:43	
				18:52	...	19:49						
				19:06	...	20:03						
				19:19	...	20:16						
				19:33	...	20:29						
				19:46	...	20:43						

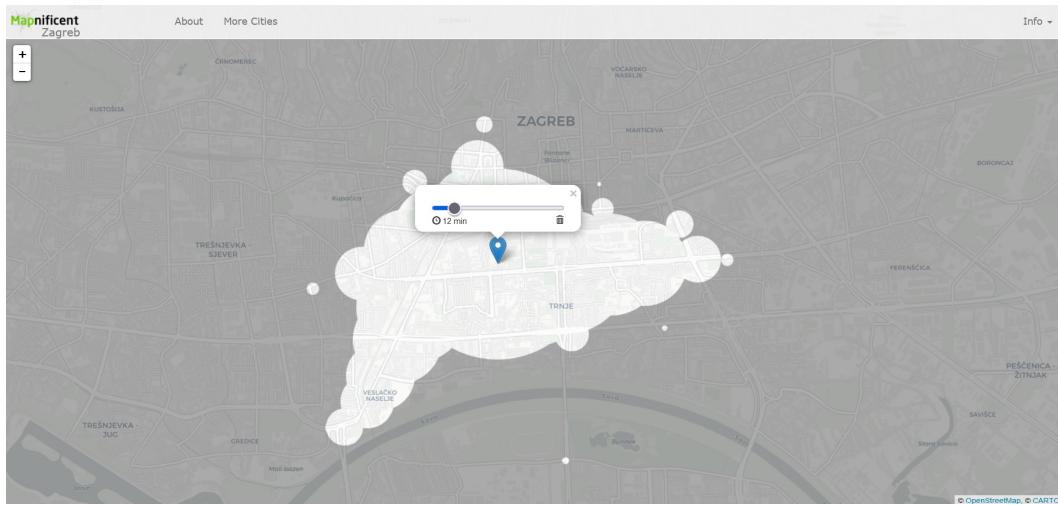
Slika 2.1. Prikaz sučelja aplikacije ZET info

3. Format General Transit Feed Specification

General Transit Feed Specification (GTFS) je otvoreni standardizirani format za rasporede javnog prijevoza i pripadajuće geografske informacije. Široko se koristi diljem svijeta te ga podržava više od 10 tisuća agencija javnog prijevoza u preko 100 zemalja. Neke od platformi koje koriste GTFS su Google Maps, Apple Maps, Moovit, OpenStreetMap i druge [4]. GTFS je započeo 2005. godine kao ideja za sporedni projekt Googleovog zaposlenika Chrisa Harrelsona te je danas *de facto* standard industrije. GTFS se sastoji od dva glavna dijela: *GTFS schedule (static)* i *GTFS realtime*.

Činjenica da je GTFS otvoreni standard omogućuje da agencije za prijevoz učine informacije dostupnima pomoću bilo kojeg od mnogih alata koji već podržavaju GTFS. Korisnici tako mogu preuzeti i obrađivati te informacije proizvoljnom aplikacijom koja podržava GTFS ili ako žele razviju svoje programe za to. Otvoreni standardi dovode do stvaranja podataka koji se mogu lako dijeliti i potiču daljnji razvitak.

Jedan zanimljiv primjer male aplikacije koja koristi GTFS podatke da prikaže područja na karti do kojih možete doći javnim prijevozom u određenom vremenu je otvoreni projekt Mapnificent koji je javno dostupan na Githubu [5]. Na slici 3.1. je prikazano dokle je moguće doći javnim prijevozom od zgrade FER-a unutar 12 minuta.



Slika 3.1. Mapnificent Zagreb

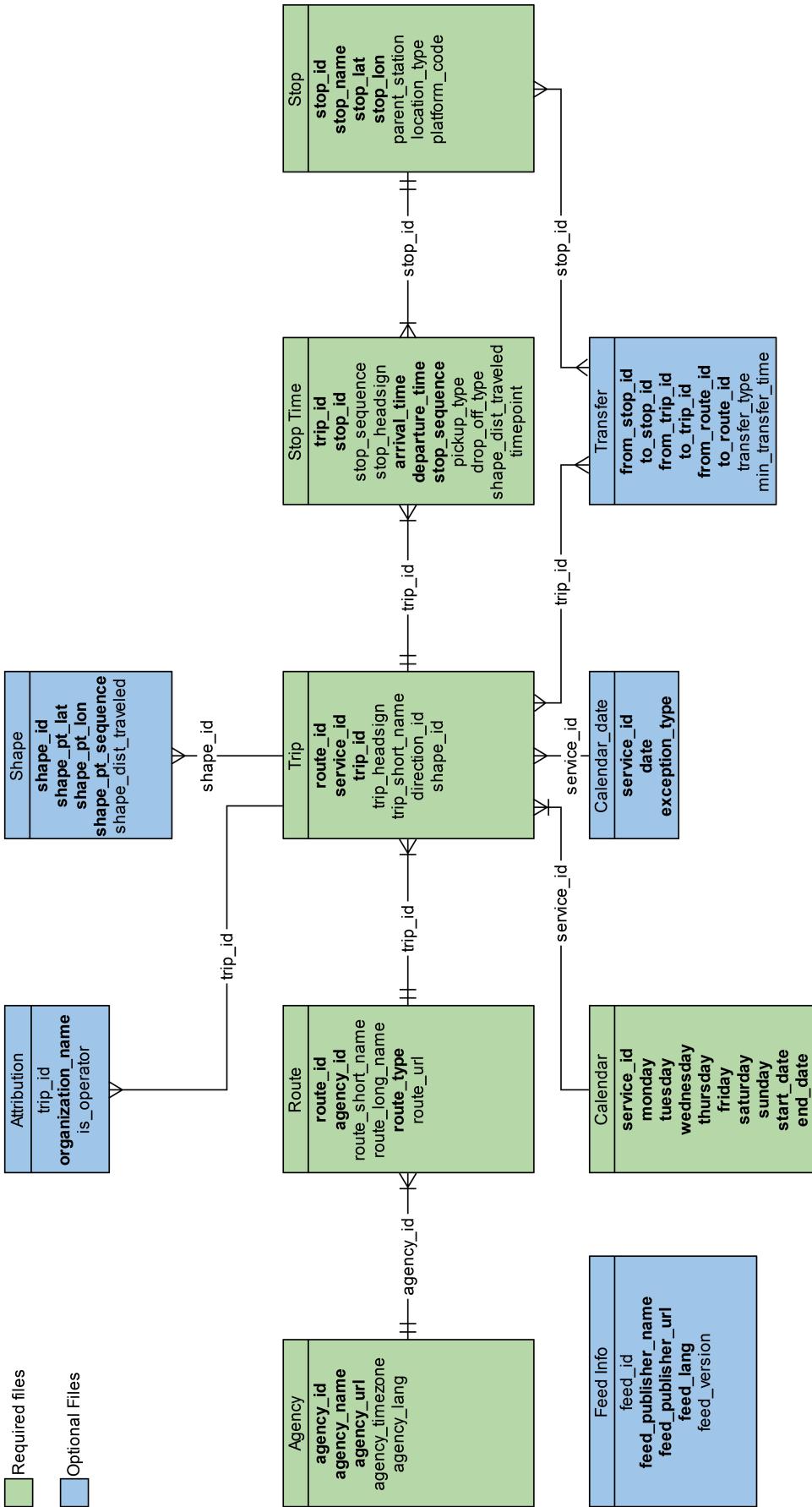
3.1. Format GTFS static

GTFS static ili *GTFS schedule* je kolekcija od barem 6 osnovnih, do 26 CSV (comma-separated values) datoteka s ekstenzijom *.txt* zapakiranih unutar jedne komprimirane *.zip* datoteke. Te datoteke sadrže informacije o rutama, rasporedima, stanicama, i ostalim raznim informacijama o prijevozu [6]. Sam format datoteka koji je CSV, pruža otvorenost i jednostavnost rukovanja jer mnogo programskih alata i jezika ima metode za učinkovitu obradu CSV-datoteka što čini implementaciju strojnog čitanja lakoćom. Važno za napomenuti da je način kodiranja datoteka imperativan, obavezuje se korišteњe UTF-8 kodiranja (podržan je i UTF-8 BOM).

Na dijagramu 3.2. prikazan je jedan primjer važeće strukture modela *GTFS static* kojeg prikladno prikazuju datoteke u *Entity–relationship* (ER) modelu. Zelenom bojom su označene neophodne datoteke, a plavom nekoliko dodatnih optionalnih datoteka te za svaku od njih struktura i međusobne relacije.

GTFS-static model

Some tables and fields, that are not used by Trafiklab, have been left out



Slika 3.2. Model specifikacije GTFS static [7]

3.1.1. Obavezne datoteke

Ove datoteke su obavezne i moraju biti definirane da bismo zadovoljili GTFS standard. Spojene zajedno, pomoću pojedinih identifikatora, one čine cjelovitu sliku mreže javnog prijevoza:

- **Agency.txt** - Opće informacije o prijevoznoj agenciji, uključujući njezino ime, web stranicu, i vremensku zonu.
- **Routes.txt** - Definira različite linije javnog prijevoza. Svaka ruta obuhvaća informacije o identifikatorima ruta, tipovima vozila i drugim detaljima.
- **Trips.txt** - Informacije o specifičnim putovanjima na određenim rutama, uključujući vremena polaska i druge povezane podatke.
- **Stop_times.txt** - Informacije o vremenima dolaska i odlaska vozila na svakoj stanicici tijekom svakog putovanja.
- **Stops.txt** - Informacije o stanicama, uključujući identifikatore, nazive i geografske koordinate.
- **Calendar.txt** - Informacije o tjednom rasporedu putovanja.

3.1.2. Opcionalne datoteke

Pored neophodnih datoteka korisno je imati i dodatne opcionalne datoteke poput:

- **Shapes.txt** - Informacije o geografskim koordinatama rute koje omogućuju lijepo iscrtavanje rute na karti.
- **Transfers.txt** - Informacije o povezivanju više ruta kako bi se olakšala mogućnost presjedanja i kombiniranja prijevoznih linija.
- **Calendar_dates.txt** - Omogućuje definiranje iznimaka u redovnom rasporedu kada usluga radi ili ne radi na pojedinoj liniji zbog smetnji ili radova, ili pak posebnih prijevoza.

3.2. Format GTFS realtime

GTFS realtime ili *GTFS-rt* je ekstenzija GTFS-a koja je nastala 2011. godine te je također *de facto* industrijski standard za dijeljenje stvarnih podataka o prijevozu. S obzirom da je GTFS otvoreni standard, *realtime* se razvio s ciljem maksimalne interoperabilnosti i lakoće korištenja da bi programerima bio olakšan razvoj aplikacija i dijeljenja informacija o prijevozu između agencija. *GTFS-rt* sadrži informacije u stvarnom vremenu o lokacijama vozila, predviđenim vremenima dolaska te obavijestima o promjenama ruta i otkazivanjima putem poslužitelja weba (putem nekog API-ja) koji koristi *protocol buffers* (*protobuf*, poglavlje 4.). Agencije sustavom za automatsko praćenje vozila neprekidno stvaraju podatke o lokacijama vozila dok se vremena dolaska na odredište najčešće izračunavaju pomoću modela strojnog učenja koji analiziraju povijesne podatke o položaju i voznom redu te daje očekivana vremena. Upravo jer se podaci neprestano kreiraju koriste se *protocol buffers* koji jako brzo i efektivno rade binarnu serijalizaciju podataka u male pakete koji se lako šalju [8].

Glavni "objekt" *GTFS realtime* feed-a (stream) je *FeedMessage* koji sadrži *FeedHeader* i *FeedEntity*. *FeedHeader* sadrži osnovne informacije o podacima (metapodatke) poput verzije GTFS-a, "incrementiality" koji opisuje šalje li se cijeli skup podataka (*dataset*) ili samo razlika od posljednje verzije te vremenska oznaka (*timestamp*) kada su podaci generirani. *FeedEntity* sadrži jedan ili više entiteta koji sadrže najnovije informacije o stanju puta, pozicijama vozila, promjenama na rutama i upozorenjima. Neke od vrsta objekta *FeedEntity* su:

- **tripUpdate** - predstavlja informacije jednog putovanja te sadrži objekte *trip* (osnovne informacije o ruti/putu), *stopTimeUpdate*, *vehicle* (informacije o položaju vozila npr. geografske koordinate) i druge.
- **stopTimeUpdate** - nalazi se unutar *tripUpdate* i on sadrži informacije o dolascima/odlascima sa stanica te kašnjenja.
- **alert** - sadrži upozorenja od nesreća, radova na cesti i njihovih obilazaka, vremenskih upozorenja i drugih raznih iznimaka.

Primjer GTFS-rt podataka se može vidjeti u sljedećem poglavljju na slikama 3.5. i 3.6.

3.3. Podaci ZET-a u formatu GTFS

Kao što je već rečeno ZET-ovi podaci su dostupni na službenoj stranici svima pod Otvorenom dozvolom Republike Hrvatske [2]. Na slici 3.3. je prikazana ta stranica te na njoj se mogu pronaći poveznice za *GTFS static* i *GTFS realtime* podatke.

U narednom tekstu bit će objašnjeni ZET-ovi *GTFS static* podaci, a potom i *GTFS realtime* podatci. Kada se podaci dohvate sa stranice, dobivenu arhivu treba otvoriti s odgovarajućim alatom za pregled komprimiranih arhiva. Kada se to napravi dobivaju se datoteke sa slike 3.4.

The screenshot shows a web page with a header containing a logo and some text about data rights. Below this, there are two main sections: 'GTFS downloads' and 'GTFS Static Data'. The 'GTFS downloads' section contains a link to 'GTFS Realtime Data Feed'. The 'GTFS Static Data' section contains a link to 'GTFS Static Data Latest' and a heading 'All versions' followed by a list of zip files.

File	Size	Type	Last Modified	Hash
trips.txt	3.430.435	Text Document	16.5.2024. 15:18	1F4FD9B9
stops.txt	232.683	Text Document	16.5.2024. 15:18	5C85ABE2
stop_times.txt	74.162.054	Text Document	16.5.2024. 15:18	72B6A20B
routes.txt	9.524	Text Document	16.5.2024. 15:18	415CAF03
feed_info.txt	178	Text Document	16.5.2024. 15:18	CD495466
calendar_dates.txt	733	Text Document	16.5.2024. 15:18	3AAF3AA6
calendar.txt	322	Text Document	16.5.2024. 15:18	31091F6C
agency.txt	256	Text Document	16.5.2024. 15:18	1D443B6E

Slika 3.3. ZET stranica za GTFS podatke

trips.txt	3.430.435	Text Document	16.5.2024. 15:18	1F4FD9B9	
stops.txt	232.683	Text Document	16.5.2024. 15:18	5C85ABE2	
stop_times.txt	74.162.054	Text Document	16.5.2024. 15:18	72B6A20B	
routes.txt	9.524	Text Document	16.5.2024. 15:18	415CAF03	
feed_info.txt	178	Text Document	16.5.2024. 15:18	CD495466	
calendar_dates.txt	733	Text Document	16.5.2024. 15:18	3AAF3AA6	
calendar.txt	322	Text Document	16.5.2024. 15:18	31091F6C	
agency.txt	256	Text Document	16.5.2024. 15:18	1D443B6E	

Slika 3.4. ZET GTFS static podaci

Može se uočiti da su tu sve neophodne datoteke (*trips.txt*, *stops.txt*, *stop_times.txt*, *routes.txt*, *calendar.txt* i *agency.txt*) te nekoliko dodatnih datoteka (*feed_info.txt* i *calendar_dates.txt*) koje nisu pretežito korisne za implementaciju aplikacije. Opcionalna datoteka *feed_info.txt* sadrži opće informacije o GTFS feed-u, odnosno informacije putem naziva agencije koja je stvorila feed, vremena kada je feed generira, verzije GTFS-standarda koja se koristi i slično.

Potreban je pobliži pregled datoteka *trips.txt*, *stops.txt*, *stop_times.txt* i *routes.txt* jer one sadrže temeljne podatke za rad aplikacije.

trips.txt

route_id	service_id	trip_id	trip_headsign	trip_short_name	direction_id	block_id	shape_id
268	"0_21"	"0_21_26820_268_10001"	"V. Gorica"		0	26820	
8	"0_21"	"0_21_801_8_10002"	"Grač. dolje"		1	801	
7	"0_21"	"0_21_701_7_10012"	"Arena Zagreb"		1	701	

Tablica 3.1. Primjer datoteke trips.txt

Bitne informacije u *trips.txt* su:

- **route_id** - identifikator rute, odnosno broj linije (npr. Kod 17 Borongaj, to je 17)
- **trip_id** - identifikator putovanja na pojedinoj ruti (svaka ruta ima više tramvaja koji više puta dnevno putuju na toj ruti)
- **trip_short_name** i **direction_id** - ime smjera tramvaja i binarni broj koji određuje smjer (npr. Borongaj)

Također može se primijetiti da u datoteci nedostaje *shape_id* koji se koristi kao ključ za relaciju *trips.txt* i *shapes.txt* koja kao što je rečeno sadrži detaljne koordinate putanje pojedine rute, s kojom bi se na karti s lakoćom mogao iscrtati put glatkom neispredidanom krivuljom. Ali u ZET-ovim podacima se ne može pronaći niti *shape_id* niti *shapes.txt* te su, kao približno rješenje tog problema, uzete koordinate svih stanica na pojedinoj ruti koje su spojene ravnim linijom. Izgled te linije nije idealan, ali je rješenje približno. Postoje i određene *routing* komponente, ali i takvo rješenje ima svoje nedostatke, ali o tom više u Poglavlju 5.4. o implementaciji klijentske strane aplikacije.

stops.txt

stop_id	stop_code	stop_name	stop_desc	stop_lat	stop_lon	zone_id	stop_url	location_type	parent_station
"98"		"Črnomerec"		45.815175	15.934464			1	
"100"		"Sveti Duh"		45.813468	15.942297			1	
"106_1"	"1"	"Trg J. Jelačića"		45.812906	15.977312			0	106
"106"		"Trg J. Jelačića"		45.813038	15.976928			1	

Tablica 3.2. Izgled stops.txt

Bitne informacije u *stops.txt* su:

- **stop_id** - identifikator pojedine stanice
- **stop_name** - naziv stanice
- **stop_lat** i **stop_lon** - koordinate stanice

stop_times.txt

trip_id	arrival_time	departure_time	stop_id	stop_sequence	stop_headsign	pickup_type	drop_off_type	shape_dist_traveled
"0_21_26820_268_10001"	"00:30:00"	"00:30:00"	"110_82"	1	"V. Gorica"			
"0_21_26820_268_10001"	"00:32:30"	"00:32:30"	"238_24"	2	"V. Gorica"			
"0_21_26820_268_10001"	"00:33:40"	"00:33:40"	"450_24"	3	"V. Gorica"			
"0_21_26820_268_10001"	"00:35:20"	"00:35:20"	"1085_24"	4	"V. Gorica"			

Tablica 3.3. Izgled stop_times.txt

Bitne informacije u *stop_times.txt* su:

- **trip_id** - identifikator putovanja na pojedinoj ruti
- **arrival_time** i **departure_time** - vrijeme dolaska i odlaska
- **stop_id** - identifikator pojedine stanice
- **stop_sequence** - redni broj stanice na putu

Ovo je najveća datoteka s oko 70 MB (~1000000 linija) koja za svako pojedino putovanje (*trip_id*) sadrži informacije o svim stanicama na putu, očekivanom vremenu dolaska i odlaska sa stanicama i redoslijedu stanicama. Ona će biti ključna za iscrtavanje rute i predviđanje lokacije tramvaja.

routes.txt

route_id	agency_id	route_short_name	route_long_name	route_desc	route_type	route_url	route_color	route_text_color
1	0	"1"	"Zap.kol. - Borongaj"		0		"ffffff"	"000000"
2	0	"2"	"Črnomerec - Savišće"		0		"ffffff"	"000000"
3	0	"3"	"Ljubljanica -Savišće"		0		"ffffff"	"000000"
4	0	"4"	"Savski most - Dubec"		0		"ffffff"	"000000"

Tablica 3.4. Izgled routes.txt

Ovdje je jedina nova bitna informacija **route_long_name** koja daje puno ime rute (početno mjesto i krajnje mjesto).

To bi bile najbitnije *GTFS static* informacije koje su upotrijebljene za izradu aplikacije, koje su od posebne značajnosti za izradu baze podataka koja sprema te odvojene datoteke kao tablice i spaja ih s odgovarajućim ključevima; time omogućuje lako i brzo pretraživanje te formuliranje odgovora.

3.4. GTFS realtime podaci ZET-a

Na ZET-ovoj stranici nalazi se link za *GTFS realtime* podatke 3.3. koji se preuzimaju kao binarna datoteka u *.proto* formatu. *Protobuf* je opisan u narednom poglavlju 4. Ovdje su opisani samo konačni podaci koji se dobivaju deserijalizacijom.

Na slici 3.5. se nalazi jedan mali isječak od inače jako velike poruke (obično sadrže oko 500 - 600 entiteta), ali radi jednostavnosti je prikazan samo jedan.

Na početku svake poruke nalazi se zaglavje (*header*) te može se primijetiti da se koristi starija verzija GTFS 1.0. Sada je aktualna verzija 2.0 koja ima bolje definiranu *schemu* s više informacija i pruža veću fleksibilnost. Također piše da se svaki put šalju svi podaci "FULL_DATASET" i na kraju je vremenska oznaka generiranja poruke koja je u UNIX-formatu.

Slijedi polje *entity* koje sadrži entitete (objekte) koji reprezentiraju informacije o jednom vozilu. Svaki od njih ima jedinstveni *ID* i *tripUpdate*. *TripUpdate* se sastoji od osnovnih informacija o putu na kojem je vozilo, *ID* tog puta, kada je započeo put, je li put prema rasporedu, broj rute kojoj pripada taj put, vremenska oznaka generiranja tih podataka i *stopTimeUpdate* koji sadrži informacije o zadnjoj posjećenoj stanici njen ID, redni broj i vremenska oznaka.

Jedna stvar koju je vrijedno napomenuti da su ZET-ovi podaci prilično osnovni to jest sadrže najosnovnije informacije. Vjerovatno razlog toga je što su ZET-ovi podaci u fazi razvoja i na stranici je navedeno da je ovo prototip. Na primjer, jedna jako velika stvar koja bi bila jako korisna jesu *vehicle* podaci (slika 3.6.) koji sadrže točne geografske lokacije vozila. Trenutačno je aplikacija napravljena tako da na karti prikaže zadnje potvrđene pozicije tramvaja koje su zapravo podaci iz *stopTimeUpdate* odnosno lokacije zadnje posjećenih stanica i markeri koji su predikcije položaja tramvaja temeljene na vremenima iz *GTFS static* podataka. Implementacija tih *vehicle* podataka o vozilima bi izbacilo potrebu za predikcijom i puno olakšala direktno prikazivanje točnih lokacija tramvaja.

```

1 "header": {
2   "gtfsRealtimeVersion": "1.0",
3   "incrementality": "FULL_DATASET",
4   "timestamp": "1702666249"
5 },
6 "entity": [
7 {
8   "id": "XNYG05S0BU",
9   "tripUpdate": {
10     "trip": {
11       "tripId": "0_1_11504_115_10447",
12       "startDate": "20231215",
13       "scheduleRelationship": "SCHEDULED
14         ",
15       "routeId": "115"
16     },
17     "stopTimeUpdate": [
18       {
19         "stopSequence": 12,
20         "arrival": {
21           "delay": 145,
22           "time": "1702666205"
23         },
24         "stopId": "1634_22",
25         "scheduleRelationship": "SCHEDULED
26         "
27       }
28     ],
29     "timestamp": "1702666189"
30   }
31 }
32 ]

```

Slika 3.5. Dio ZET-ovog GTFS-rt feeda

```

1   "vehicle": {
2     "position": {
3       "latitude": 45.8150,
4       "longitude": 15.9819,
5       "bearing": 120,
6       "odometer": 15000.5,
7       "speed": 30.5
8     }
9   }

```

Slika 3.6. Primjer vehicle podataka

4. Mehanizam Protocol buffers

Protocol Buffers su jezično i platformski neutralni, proširivi mehanizmi za serijalizaciju strukturiranih podataka. Google ih je razvio prvotno za internu uporabu, ali su kasnije postali dostupni pod otvorenom licencom [9]. Glavni cilj *protocol buffer* je pružiti jednostavnost i visoke performanse, te su posebno dizajnirani kako bi bili manji i brži od formata XML i JSON.

Protobuf koristi *.proto* datoteke za definiranje strukture podataka koji koriste posebnu sintaksu. Trenutno su podržane verzije *proto2* i *proto3* u kojima se s ključnom riječi *message* definira struktura podataka poruke. Na slici 4.1. je mali primjer jedne definicije poruke *Person* koja sadrži tri polja za podatke *id*, *name* i *email*. Svaka od njih mora imati tip podatka i vrijednost koja služi za identifikaciju polja kod binarne serijalizacije. Neki tipovi podataka koji su podržani su *int32*, *int64*, *float*, *double*, *bool*, *string*, *enum* i ugrađene poruke.

```
1     syntax = "proto3";
2     message Person{
3         int32 id = 1;
4         string name = 2;
5         string email= 3;
6     }
```

Slika 4.1. Primjer definicije datoteke *.proto*

Nakon definiranja strukture poruke potrebno je iskoristiti *proto compiler* (*protoc*) za generiranje kôda koji se koristi za serijalizaciju i deserijalizaciju podataka u odabranom programskom jeziku (podržani su C++, Java, Python, Go, JavaScript i mnogo drugih). Za primjer sa slike 4.1. i za programski jezik Python, *protoc* generira modul *person_pb2* koji sadrži potrebne metode za kreiranje objekata te strukture, serijalizaciju i deserijalizaciju tih podataka.

```
1 import person_pb2
2
3 person = person_pb2.Person()
4 person.id = 123
5 person.name = "John Doe"
6 person.email = "johndoe@example.com"
7
8 # Serijalizacija
9 serialized_data = person.SerializeToString()
10
11 # Deserijalizacija
12 new_person = person_pb2.Person()
13 new_person.ParseFromString(serialized_data)
```

Slika 4.2. Python kôd s generiranim proto modulom

Neke prednosti korištenja mehanizama *protocol buffer* za razliku od tradicionalnijih opcija poput XML-a i JSON-a su:

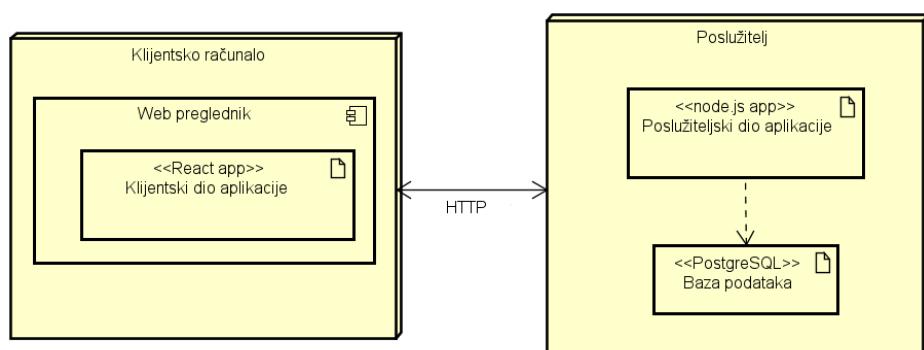
- Protobuf koristi binarni format za serijalizaciju, koji je mnogo kompaktniji i brži za parsiranje.
- Dizajniran s *backward* i *forwards compatibility* na umu
- Međujezična kompatibilnost (*Cross-Language compatibility*)
- Imaju validaciju schema koji striktno čuvaju strukturu podataka

5. Arhitektura sustava

Sustav se temelji na modelu klijent-poslužitelj. Taj model je danas jedan od najčešće korištenih arhitektura za raspodijeljene sustave. On se sastoji od dva dijela, poslužitelja koji nudi uslugu i klijenta koji traži uslugu. Klijent će biti korisnikovo računalo koje pomoću preglednika weba koristi klijentski dio aplikacije (*React.js* frontend) te putem protokola HTTP komunikacijskog kanala komunicira s poslužiteljskim dijelom aplikacije (*node.js* i *PostgreSQL*).

Klijentski dio aplikacije je izrađen pomoću razvojnog okvira *React.js*, popularnog JavaScript okvira za izgradnju korisničkih sučelja, primarno korišten za jednostranične aplikacije (Single-page Application, SPA).

Poslužiteljski dio aplikacije izrađen je pomoću *node.js*, koji je također JavaScript okvir, ali za izgradnju aplikacija na strani poslužitelja. Aplikacija će također komunicirati i s relacijskom bazom podataka *PostgreSQL*. Poslužitelj će obrađivati klijentske zahtjeve i vraćati odgovarajuće odgovore.



Slika 5.1. Arhitektura sustava

5.1. Baza podataka

Baza podataka je izvedena pomoću sustava *PostgreSQL*-a. *PostgreSQL* je besplatan i otvoren, objektno-relacijski sustav za upravljanje bazama podataka. Temelji se na SQL jeziku i nudi brojna proširenja koji olakšavaju pohranu i skaliranje, povećavaju sigurnost te rješavaju probleme paralelnosti pristupa. Nastao je 1986. godine na Kalifornijskom sveučilištu u Berkeleyju. [10]

Baza podataka je korištena zbog velike količine podataka iz ZET-ovih statičnih podataka te bi optimalan način upravljanja i pohranom tih podataka bila baza podataka. Glavne uloge baze podataka u aplikaciji su:

- Spremanje ZET-ovih statičnih podataka kao tablice
- Povezivanje tablica statičnih podataka pomoću ključeva u virtualne tablice (*views*)
- Funkcije za brzi pronalazak traženih podataka prema nekom parametru
- Formiranje odgovora

Ubacivanje podataka iz ZET-ovih datoteka u bazu podataka je automatizirano pomoću python skripte (opisana u narednom poglavlju 5.2.). Datoteke unesene u bazu su *trips.txt*, *stops.txt*, *routes.txt* i *stop_times.txt*. One su ubačene kao najobičnije tablice gdje stupce pojedine tablice definira *header* te datoteke (one su zapravo CSV datoteke! 3.3.).

Spajanje tih tablica je ostvareno virtualnim tablicama, tj. pogledima (*views*), koji objedinjuju nekoliko tablica u jednu i ostavljaju samo navedene stupce. Sadržaj virtualne tablice dinamički se određuje u trenutku obavljanja operacije nad virtualnom tablicom te se ponovo izvode svaki put kada ih se pozove. Time se izbjegava problem "zastarijevanja" podataka.

Neki od pogleda su *stopsjson*, *tripstops* i *triptime*. *Stopsjson* vraća polje *key-value* vrijednosti, gdje je ključ *stop_id* i vrijednost objekt s imenom i pozicijom stanice. Rezultat vraća kao JSON objekt.

```
1   SELECT jsonb_object_agg(stop_id::text,
2     jsonb_build_object('stop_name', stop_name, '
3       stop_lat', stop_lat, 'stop_lon', stop_lon)) AS
4     stops
5   FROM stops;
```

Slika 5.2. Kôd pogleda *stopsjson*

Pogled *tripstops* spaja tablice *stop_times* i *stops* pomoću *stop_id* kao ključa. Objedinjuju se informacije iz tih dviju tablica kako bi bile dostupne potpune informacije o putu poput redoslijeda stanica, njihovih naziva i lokacija te vremena dolaska i odlaska.

```
1   SELECT stop_times.trip_id,
2     stops.stop_id,
3     stop_times.stop_sequence,
4     stops.stop_name,
5     stops.stop_lat,
6     stops.stop_lon,
7     stop_times.arrival_time,
8     stop_times.departure_time,
9     stop_times.stop_headsign
10    FROM stop_times
11    JOIN stops USING (stop_id)
12    ORDER BY stop_times.stop_sequence;
```

Slika 5.3. Kôd pogleda *tripstops*

Pogled *triptime* filtrira tablicu *tripstops* kako bi se izračunalo vrijeme potrebno do iduće stanice.

```
1   SELECT trip_id, stop_sequence,
2     COALESCE(lead(arrival_time) OVER () - arrival_time
3       , '00:00:00'::interval) AS time_till_next_stop
4   FROM triptime
5   ORDER BY stop_sequence;
```

Slika 5.4. Kôd pogleda *triptime*

Moguće je direktno pristupati virtualnim tablicama, ali za potrebe aplikacije potrebno je još filtrirati ih prema određenom parametru, zato u bazi podataka postoje funkcije definirane u jeziku *plpgsql*. One su:

- ***find_route_between_stops*** (*stop_a, stop_b*) - prima dva parametra (dvije stanice) i vraća listu ruti koje prolaze kroz te dvije stanice.
- ***get_trip_info*** (*trip_id*) - prima parametar *trip_id* i vraća listu svih stanica puta, nazine i lokacije stanica, vremena dolaska i odlaska te vrijeme potrebno do sljedeće stanice, koristi se za prikaz informacija klikom na marker.
- ***get_trip_details*** (*trip_id*) - prima parametar *trip_id* i vraća puni naziv rute i smjer.

```
1 SELECT jsonb_agg(
2   jsonb_build_object(
3     'stop_id', stop_id,
4     'stop_sequence', stop_sequence,
5     'stop_name', stop_name,
6     'stop_headsign', stop_headsign,
7     'stop_lat', stop_lat,
8     'stop_lon', stop_lon,
9     'arrival_time', arrival_time,
10    'departure_time', departure_time,
11    'time_till_next_stop', time_till_next_stop::interval
12  )
13 ) INTO trip_info
14 FROM (
15   SELECT *,
16   COALESCE(
17     LEAD(arrival_time) OVER (ORDER BY stop_sequence) -
18       arrival_time, INTERVAL '0 seconds'
19   ) AS time_till_next_stop
20 )
```

Slika 5.5. Isječak kôda funkcije *get_trip_info(trip_id)*

Navedene funkcije koristi poslužiteljska strana zajedno s parametrom.

```
1   SELECT find_routes_between_stops('Prisavlje', 'Miramarska')
2     AS routes
3   SELECT get_trip_info('0_21_26820_268_10001') AS trip_info
```

Slika 5.6. Primjer korištenja funkcija

5.2. Pomoćna skripta za dohvaćanje ZET-ovih podataka

Za potrebe aplikacije izrađena je jedna pomoćna skripta koju pokreće poslužiteljski dio aplikacije prilikom pokretanja. Ona je zadužena za dohvaćanje najnovijih datoteka sa ZET-ove stranice te je napisana u Pythonu koristeći module *psycopg2*, *requests* i *zipfile*.

Pomoću metode *requests.get('https://www.zet.hr/gtfs-scheduled/latest')* sa stranice ZET-a dohvaća najnoviju *GTFS static* arhivu te potom metodom *extractAll* iz modula *zipfile* raspakirava arhivu i sprema datoteke. Komunikacija s bazom podataka *PostgreSQL* je os-tvarena metodama iz modula *psycopg2*. Prvo je potrebno priložiti vjerodajnice odnosno *username* i *password* te *host*, *port* i *database* (određuju lokaciju baze podataka) za us-pješno spajanje.

Na slici 5.7. prikazan je isječak kôda pomoću kojeg je ostvareno učitavanje podataka iz datoteka u odgovarajuće tablice. Python funkcije rade u tri koraka, prvo je potrebno definirati SQL naredbu zatim poslati tu naredbu bazi podataka i na kraju provjeriti odgovor je li ispravno izvršena. Funkcija ***load_csv_to_postgres***(*connection*, *cursor*, '*routes*', '*routes.txt*') učitava podatke iz *routes.txt* i sprema ih u bazu podataka kao tablica s imenom *routes*, a funkcija ***create_route_find_table***(*connection*, *cursor*) kreira tablicu *route_find* koju koristi funkcija ***find_route_between_stops***(*stop_a*, *stop_b*) koja pronalazi rute koje prolaze kroz neke dvije stanice.

```

1  def load_csv_to_postgres(connection, cursor, table_name,
2     csv_file_path):
3     try:
4         drop_table_sql = f'TRUNCATE {table_name} CASCADE;'
5         execute_sql(connection, cursor, drop_table_sql)
6
6     copy_sql = f""" COPY {table_name} FROM '{csv_file_path}'
7         }' WITH
8             CSV HEADER DELIMITER as ','"""
9     execute_sql(connection, cursor, copy_sql)
10    print(f"Loaded {table_name}")
11 except Exception as e:
12     print(f"Error loading {table_name}: {e}")
13
13 def create_route_find_table(connection, cursor):
14     create_table_sql = """ CREATE TABLE route_find AS
15         SELECT trips.route_id, trips.trip_id, stop_times.
16             stop_sequence,
17                 stop_id, stops.stop_name
18             FROM stop_times
19             JOIN trips USING (trip_id)
20             JOIN stops USING (stop_id); """
21 # SQL naredba za brisanje stare tablice i stvaranje
22     indeksa
23     try:
24         # execute naredbe
25         execute_sql(connection, cursor, create_table_sql)
26
27         print("route_find table created successfully.")
28     except Exception as e:
29         print(f"Error creating route_find table: {e}")

```

Slika 5.7. Isječak kôda skripte

5.3. Poslužiteljski dio aplikacije - node.js

Poslužiteljski dio aplikacije napisan je u jeziku JavaScript, koristeći okvir *node.js*. JavaScript je programski jezik primarno namijenjen korištenju unutar web-preglednika, ali uz pomoć *node.js* moguće je izvršavanje JavaScript kôda na poslužiteljskoj strani, izvan web-preglednika, čime se omogućava korištenje jednog jezika za pisanje cjelokupne aplikacije. Najvažniji dodatak za *node.js* je *Express.js*, minimalistički i fleksibilan web okvir koji olakšava rad s HTTP zahtjevima i izgradnju web poslužitelja. On omogućava jednostavno definiranje ruta, rukovanje HTTP zahtjevima i upravljanje *middleware* funkcijama. Na slici 5.8. je primjer vrlo jednostavnog poslužitelja koji kada dobije GET zahtjev na rutu '/api/stops' provodi upit nad bazom podataka i ovisno o odgovoru vraća uspješan (200 OK s podacima o stanicama) ili neuspješan odgovor (status 500 s porukom pogreške). Sve ostale dostupne rute aplikacije su napravljene prema istoj shemi.

```
1  const express = require('express');
2  const app = express();
3
4  app.get('/api/stops', async (req, res) => {
5      try {
6          const result = await pool.query('SELECT DISTINCT
7              stop_name FROM stops');
8          res.json(result.rows);
9      } catch (error) {
10          console.error('[Error] Executing query', error);
11          res.status(500).json({ error: 'An error occurred' });
12      }
13  });
14
15  app.listen(8080, () => {
16      console.log('[Info] Server started on port 8080');
17  });
18
```

Slika 5.8. Primjer kôda jednostavnog poslužitelja

Kao i kod pomoćne skripte i na poslužitelju je potrebno ostvariti vezu s bazom podataka, to je omogućeno s modulom *pg*. Taj modul omogućava upravljanje vezama prema bazi i izvršavanje upita. Pomoću objekta *pool* definiraju se potrebne informacije za spajanje poput *username*, *host*, *database*, *password* i *port* te onda pozivom metode *query* nad objektom *pool* izvode se proizvoljne SQL-naredbe.

```
1  const { Pool } = require('pg');
2  require('dotenv').config();
3
4  const pool = new Pool({
5    user: process.env.DB_USER,
6    host: process.env.DB_HOST,
7    database: process.env.DB_NAME,
8    password: process.env.DB_PASSWORD,
9    port: process.env.DB_PORT,
10   });
11
12  pool.query('SELECT * FROM stops');
```

Slika 5.9. Primjer spajanja s bazom podataka

Poslužitelj osim poslova upravljanja zahtjevima i komunikacijom s bazom podataka radi najbitniji dio aplikacije, a to je dohvaćanje *GTFS realtime* podataka sa ZET-ove stranice. Taj dio je ostvaren kao funkcija koja se periodički poziva (svakih 15 sekundi) kako bi dohvatiла najnoviju *.protobuf* datoteku s realtime podacima, obradila ju i spremila u memoriju za brži pristup. Na slici 5.10. je čitav kôd koji je zadužen za dohvaćanje podataka i njegovu deserijalizaciju iz binarnog *.protobuf* formata u JSON oblik.

Ti podaci se tada spremaju u jedan objekt *data* koji je napravljen tako da sadrži brojeve ruta kao ključeve i svaki tramvaj svrstava u točnu grupu. Također postoji funkcija koja upravlja dodavanjem u taj objekt i funkcija koja periodički briše tramvaje. To je napravljeno jer ZET-ovi podaci nisu konzistentni odnosno neki tramvaji nekada samo nestanu iz podataka makar je u *FeedHeader*-u *.protobuf* poruke navedeno da se svaki put šalju svi podaci (cijeli *dataset*).

```

1 const GtfsRealtimeBindings = require('gtfs-realtime-bindings');
2 async function fetchData() {
3   try {
4     const response = await fetch(feedUrl);
5     if (!response.ok) {
6       const error = new Error(
7         `${response.url}: ${response.status} ${response.
8           statusText}`
9     );
10    error.response = response;
11    throw error;
12  }
13  const buffer = await response.arrayBuffer();
14  const feed = GtfsRealtimeBindings.transit_realtime.
15    FeedMessage.decode(
16      new Uint8Array(buffer)
17    );
18
19  feed.entity.forEach((entity) => {
20    if (entity) parseEntity(entity);
21  });
22 } catch (error) {
23   console.log(error);
24 }
25 }
```

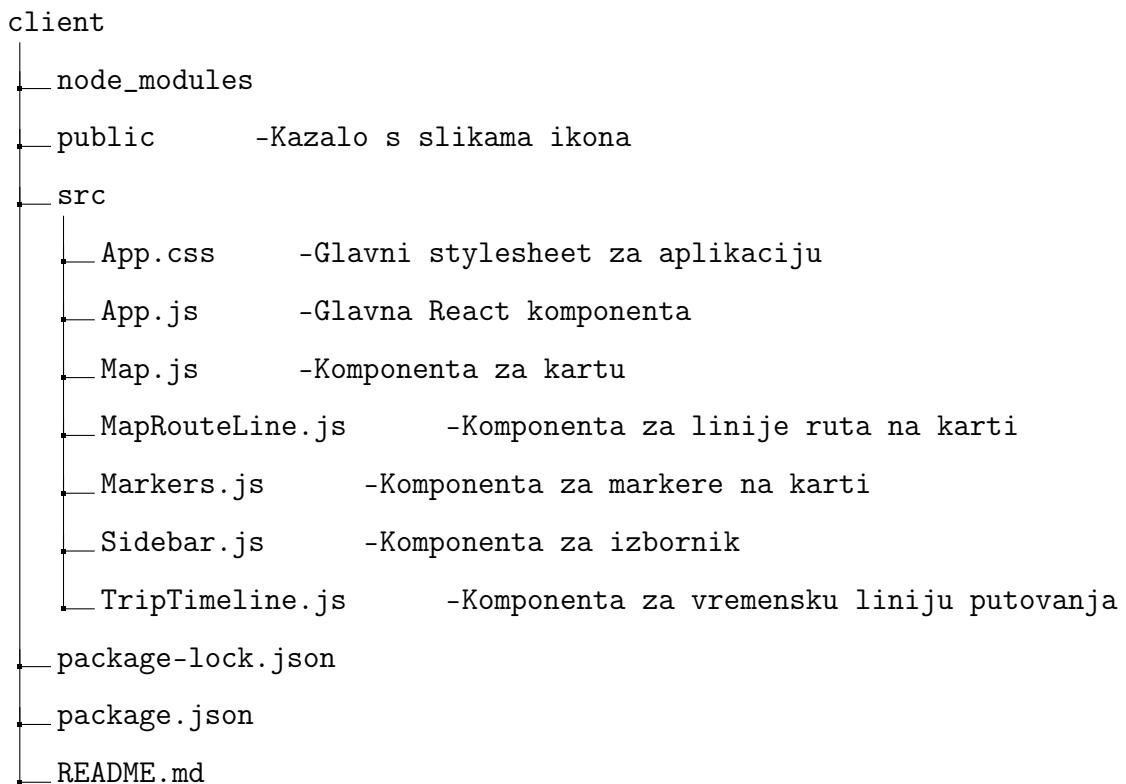
Slika 5.10. Kôd za dohvaćanje *GTFS realtime* podataka i deserijalizaciju

5.4. Klijentski dio aplikacije - React.js

Klijentski dio također je izrađen u jeziku JavaScript pomoću *React.js*, popularnog JavaScript okvira koji se primarno koristi za izgradnju jednostraničnih aplikacija (SPA). *React.js* omogućava razvoj složenih i dinamičnih web aplikacija pomoću komponentnog pristupa, gdje se korisničko sučelje sastoji od manjih, ponovno upotrebljivih komponenti.

Komponente su osnovni gradivni elementi u okviru *React.js*, a svaka komponenta predstavlja dio korisničkog sučelja. Komponente mogu biti jednostavne, poput gumba, ili složene, poput cijele stranice. Komponente su definirane pomoću JavaScript funkcija ili klasa, te vraćaju JSX (JavaScript XML).

Aplikacija se sastoji od nekoliko komponenti *App.js*, *Map.js*, *MapRouteLine.js*, *Marker.js*, *Sidebar.js* i *TripTimeline.js* od kojih je glavna roditeljska komponenta koja sadrži sve ostale *App.js* (slika 5.11.).



Slika 5.11. Osnovna struktura klijentskog kôda

Komponenta App.js

Kao što je rečeno *App.js* je glavna komponenta koja se nalazi iznad svih ostalih, njezin glavni posao je da objedinjuje komponente i povremeno dohvaća (osvježava) podatke od poslužiteljskog dijela aplikacije uz pomoć *fetch* naredbe. Pseudokôd na slici 5.12. prikazuje način dohvaćanja podataka.

Kôd iskorištava *useEffect()* i *useState()* hook-ove. Hook-ovi su način na koji React omogućuje dinamičko upravljanje stanjem i ponašanjem funkcionalnih komponenti i njihovim životnim ciklusom. Hook *useEffect()* omogućuje komponentama da definiraju popratne efekte koji se trebaju izvesti nakon što se promjeni neko stanje definirano *useState()* hook-om. U kôdu aplikacija svakih 10 sekundi ili kada se promjeni stanje s odabranim rutama dohvaća nove podatke. Za svaku pojedinu navedenu rutu izvodi se jedan GET zahtjev, to se izvodi asinkrono pomoću obećanja (*Promises*) te se na kraju kada su svi zahtjevi obrađeni grupira zajedno i šalje "child" komponenti *Map* koja prikazuje tramvaje kao markere na karti.

```
1  useEffect(() => {
2      if (route && route.length > 0) {
3          const intervalId = setInterval(async () => {
4              const allRouteData = await Promise.all(
5                  route.map(fetchDataForRoute)
6              );
7              const combinedData = allRouteData.flat();
8              setRouteData(combinedData);
9          }, 10000);
10
11         return () => clearInterval(intervalId);
12     } else {setRouteData(null);}
13 }, [route, setRouteData]);
14
15 const fetchDataForRoute = async (routeValue) => {
16     const response = await fetch(
17         `/api/route/${routeValue}`
18     );
19     ...
20 };
```

Slika 5.12. Pseudokôd dohvaćanja podataka od poslužitelja

Komponenta Map.js

Komponenta *Map.js*, kojoj je glavna uloga da prikazuje kartu, ostvarena je pomoću *Leaflet.js*-a. *Leaflet.js* je popularna biblioteka otvorenog kôda pisana u jeziku JavaScript za izradu interaktivnih karti. Omogućava jednostavno dodavanje dinamičkih karti, postavljanje markera, crtanje linija i poligona, interakciju s kartama, dodavanje pop-up prozora i još mnogo toga [11]. Postoji *React.js* verzija *Leaflet.js* koja objekte tretira kao komponente i s kojom je još jednostavnije raditi u Reactu.

Karta koju *Leaflet.js* koristi je dohvaćena iz OpenStreetMap projekta, koji je otvorena i slobodna baza geografskih podataka koju održavaju volonteri.

Na slici 5.13. nalazi se isječak kôda koji opisuje što sadrži *Map.js* te se mogu primijetiti standardne komponente iz biblioteke *Leaflet.js* koje definiraju izgled karte: *MapContainer*, *ZoomControl* i *TileLayer*.

Pored njih tu je i komponenta *Markers* koja se koristi za postavljanje markera na kartu i komponenta *MapRouteLine* koja se koristi za crtanje linija ruta na karti su definirane za potrebe aplikacije.

```

1   return (
2     <MapContainer
3       center={[45.808680463038435, 15.977835680373971]}
4       zoom={13}
5       zoomControl={false}
6       whenReady={(event) => setMapContext(event.target)}
7     >
8     <ZoomControl position="bottomright" />
9     <TileLayer
10       attribution='&copy; <a href="https://www.openstreetmap.org/
11         copyright">OpenStreetMap</a> contributors'
12       url="https://tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png"
13     />
14     <Markers
15       routeData={routeData}
16       tripInfo={tripInfo}
17       ....
18     />
19     <MapRouteLine coordinates={coordinates} />
20     <MapClickHandler />
21   </MapContainer>
22 );

```

Slika 5.13. Isječak kôda Map.js

Komponenta Markers.js

Markers.js komponenta je zadužena za stvaranje markera na karti koji će prikazivati pozicije tramvaja i njihove dotične animacije. Sami markeri na karti su ostvareni uz pomoć *react-Leaflet.js* komponenti *Marker* i *Popup*. Animacije markera koje predstavljaju predikcije položaja tramvaja su bazirane na vremenima iz ZET-ovih rasporeda koji su dio static datoteka (poglavlje 3.3.). Osim prikaza obrađuje i klikove na pojedine markere koji tada aktiviraju popratne akcije prikaza dodatnih informacija o putu pomoću *Popup* i *TripTimeline* komponenti.

Komponenta MapRouteLine.js

MapRouteLine.js ostvaruje iscrtavanje putanje tramvaja na karti dohvaćanjem pozicija stanica tramvaja i spajanjem tih koordinata u jednu *Polyline* liniju. Idealno rješenje ovog problema bi bili podaci iz datoteke *shapes.txt* koji detaljno propisuju putanju rute, ali ta datoteka nedostaje u ZET-ovim static podacima. Još jedan način rješavanja ovog problema je korištenjem *routing* komponente kojoj je potrebno predati koordinate stanica te onda ona provodi pronalaženje puta na karti između svake dvije točke i time stvara glatku putanju na karti. Problem kod tog načina je da se za pronalaženje puta koriste putevi kojim auti mogu voziti, a ne tračnice kojim tramvaji voze što također dovodi do nepreciznosti tj. neistinitosti nacrtane putanje naspram stvarne, tako da je taj način odbačen.

Komponenta Sidebar.js

Sidebar.js je glavna i jedina komponenta koja ostvaruje komunikaciju s korisnikom. Korisniku su dostupne padajuće liste ostvarene komponentom *Select* kojima bira rute ili stanice kod dijela za pretraživanje ruta. Također sadrži nekoliko tipki koje služe za upravljanjem nad odabranim rutama. Kada se odabere ruta ili pretraže rute za stanicu komponenta mijenja stanje aplikacije što izaziva dohvaćanje novih podataka.

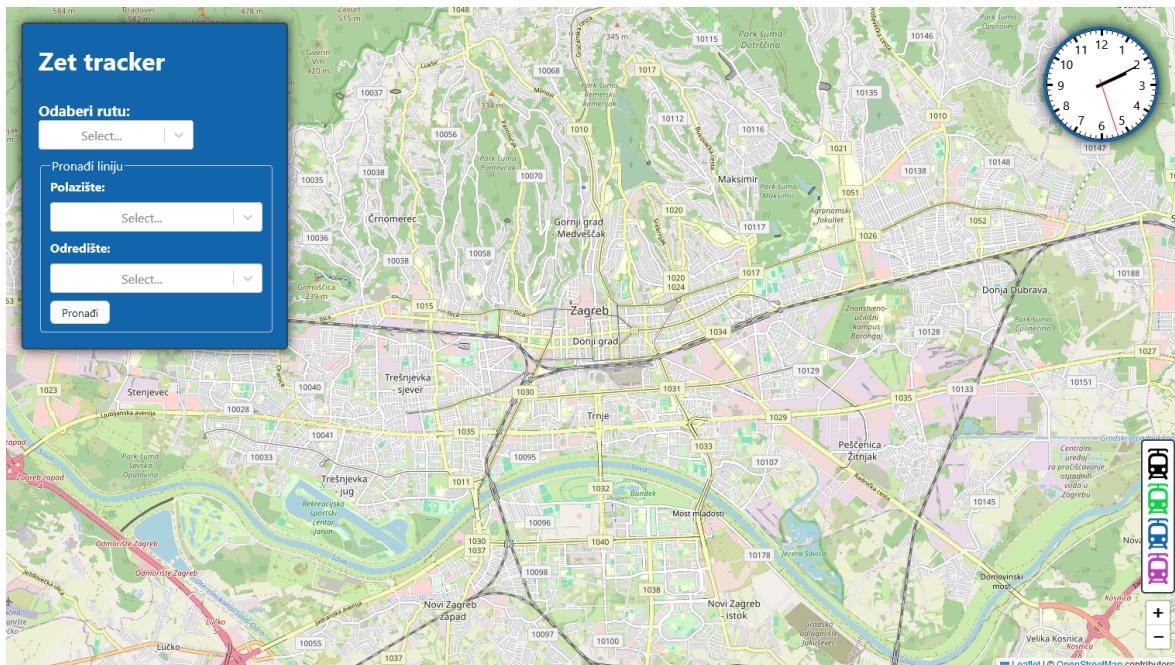
Komponenta TripTimeline.js

Klikom na marker se izaziva *useEffect()* hook u komponenti *TripTimeline.js* koje aktivira njen prikaz. Ta komponenta je zadužena za prikazivanje rasporeda puta tramvaja, koje je ostvareno kao vremenska crta pomoću *VerticalTimeline* komponente. Raspored puta sadrži u redoslijedu stanice na koje će tramvaj doći, njihovo vrijeme očekivanog dolaska i vremena potrebnog do sljedeće stanice.

6. Izgled aplikacije

Prilikom prvog pristupa stranici korisniku se prikazuje prazna karta bez markera. U gornjem lijevom kutu nalazi se glavni izbornik koji se sastoji od padajućih izbornika i polja koji sadrži listu odabranih ruta (to polje je vidljivo samo kada je barem jedna ruta odabrana). Svi padajući izbornici ujedno podržavaju i pretraživanje.

Desno od glavnog izbornika nalazi se analogni sat za vrijeme koji se može promijeniti u digitalni sat klikom na njega. Ispod sata se nalazi legenda markera uz pomoć koje se može vidjeti što koji marker predstavlja kada je miš iznad odgovarajuće ikone ("on hover"). Također, ispod legende nalaze se i tipke za uvećavanje/smanjivanje karte, ali to je moguće i lakše obaviti kotačićem na mišu.



Slika 6.1. Početni zaslon aplikacije

Korištenjem padajućeg izbornika označenog tekstrom "Odaber ruta:" može se ili klikom odabrati željena ruta za praćenje ili jednostavno upisati broj tramvajske linije i pritisnuti tipku *enter* (slika 6.2.). Tada će odabrana ruta biti dodana u kutiju odabralih ruta (slika 6.4.) i na karti će se prikazati markeri tramvaja.

Aplikacija sadrži funkcionalnost pronalaska tramvajskih linija odnosno funkcionalnost koja pomaže pronaći tramvajске linije koje prolaze kroz početnu i krajnju tramvajsku stanicu. Time olakšava uporabu korisnicima koji nisu upoznati s voznim redom tramvajskih linija. Pomoću dva padajuća izbornika (slika 6.3.) potrebno je odabrati željenu početnu i krajnju stanicu te klikom na tipku "Pretraži" obavlja se pretraga. Ako je pretraga bila uspješna stanice će se automatski dodati u polje odabralih stanica, a ako nije bila uspješna, tada će se prikazati poruka "Nije pronađena nijedna linija!" koja će nakon 10 sekundi nestati.

Polje sa odabranim tramvajskim linijama za svaku liniju ima jedan gumb za brisanje te linije "Obriši". Ako je odabранo više od 3 tramvajске linije tada će se prikazati i dodatan gumb "Obriši sve" s kojim lakše i brže brišemo sve odabранe linije.

Slika 6.2. Glavni izbornik

Slika 6.3. Izbornik za pronađenje rute

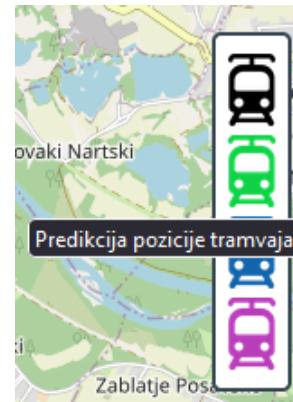
Rute
Bistička-Zagrebačka
Zagorska
Zagrepčanka
Banim.-Zagrebačka
Zagrebačka 94
Muzej grada Zagreba
Zagrebačka 190
Arena Zagreb

Slika 6.4. Odabrane rute

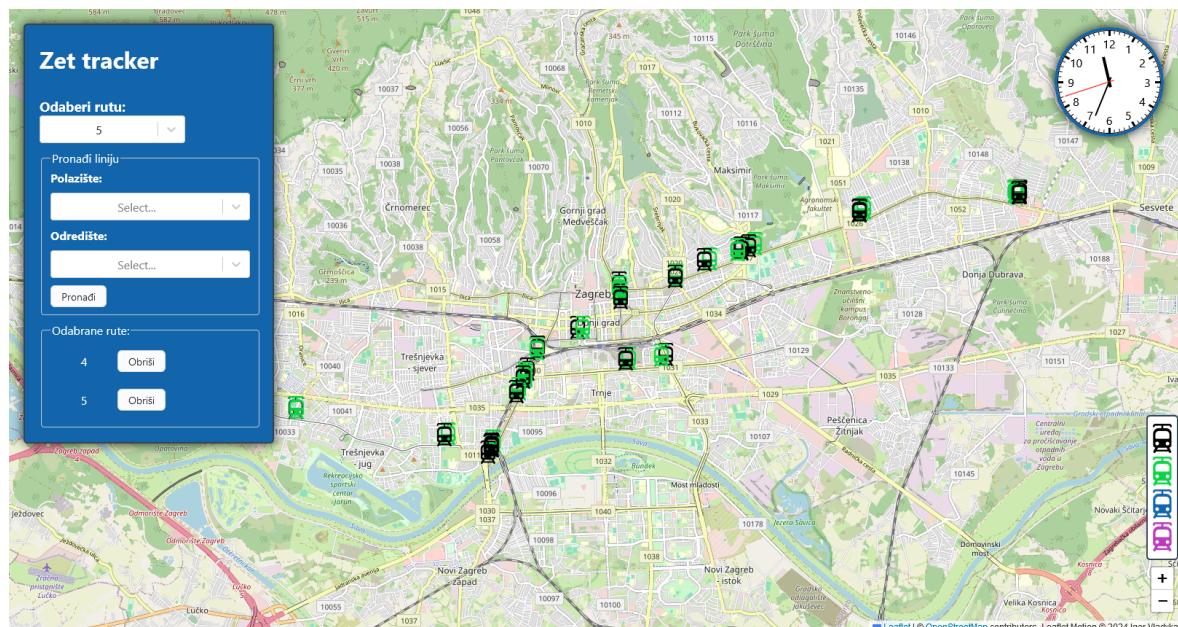
Rute	Obriši
5	Obriši
11	Obriši
17	Obriši
116	Obriši

Kada je odabrana neka od linija na zaslonu će se prikazati markeri tramvaja (slika 6.6.). Značenja boja markera tramvaja su:

- Crni marker - Zadnja potvrđena lokacija tramvaja
- Zeleni marker - Predikcija lokacije tramvaja
- Plavi marker - Odabrani tramvaj
- Ljubičasti marker - Predikcija odabranog tramvaja



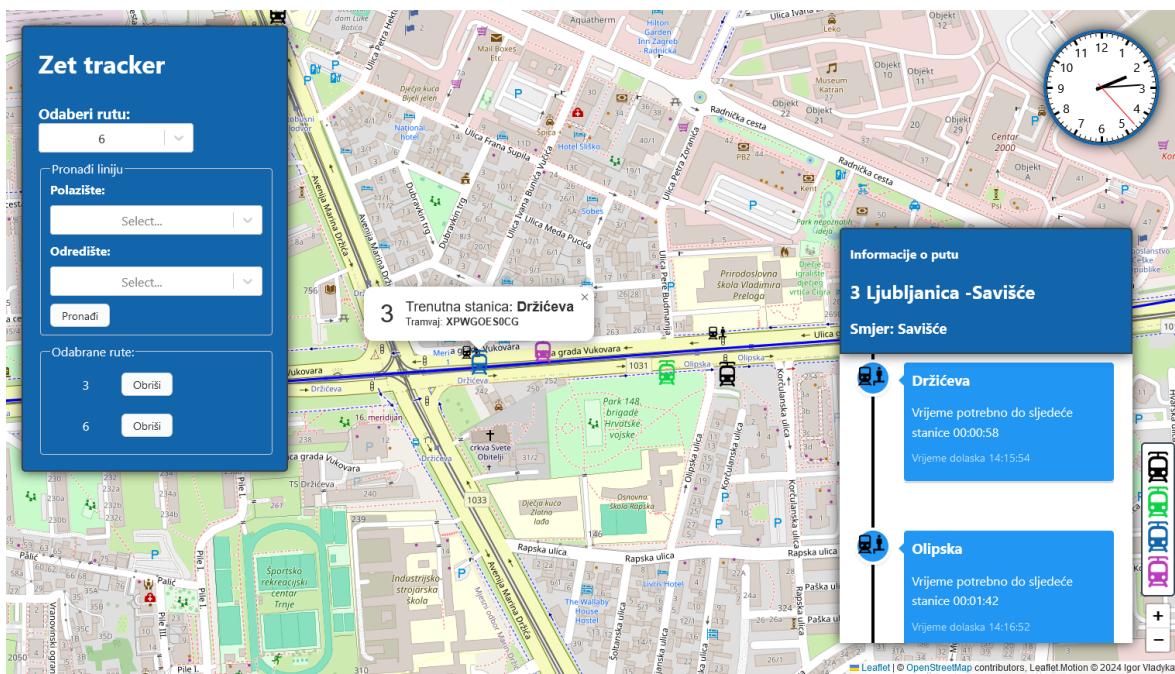
Slika 6.5. Legenda



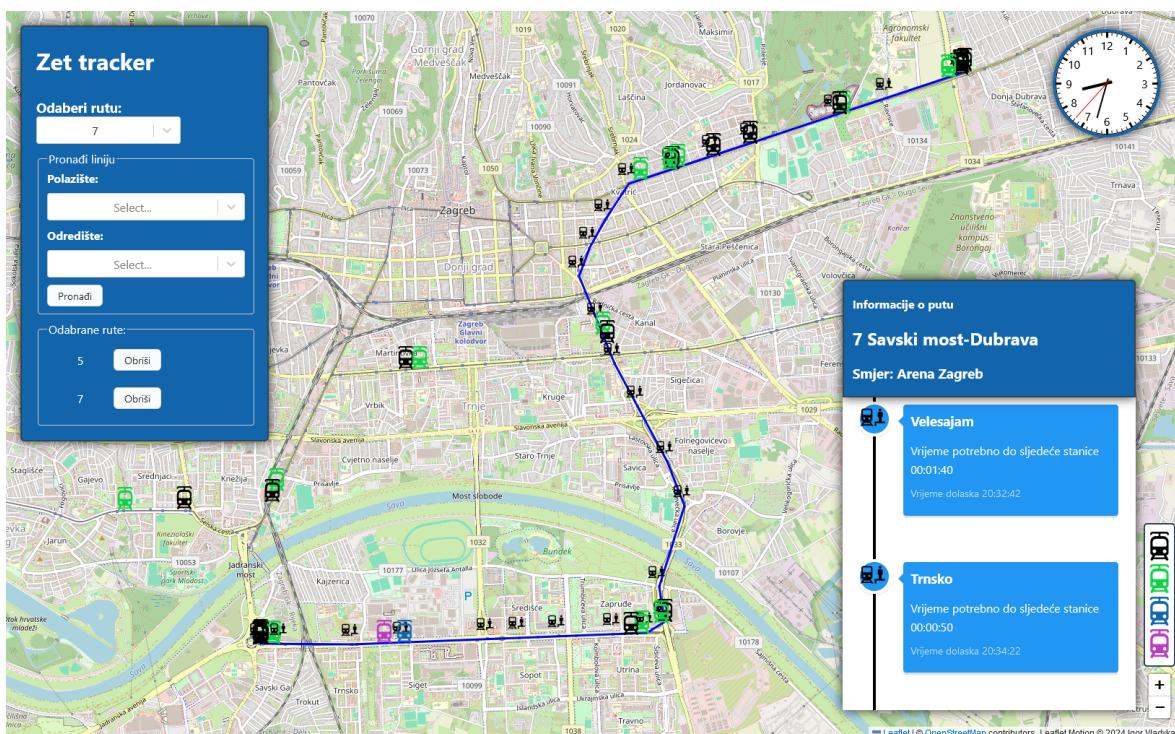
Slika 6.6. Zaslon s markerima odabralih linija

Klikom na bilo koji od crnih markera, odabrani marker će poplaviti i iznad njega će se otvoriti mali oblačić s informacijama o trenutnoj stanici te će se odgovarajući marker predikcije lokacije tramvaja promijeniti u ljubičastu boju za lakše uočavanje. Odznačivanje markera se izvodi pritiskom na bilo koje drugo mjesto na karti ili na neki drugi marker.

Također, na karti će se iscrtati cjelokupni put tramvajske linije i otvorit će se novi prozor s puno više informacija o voznom redu.



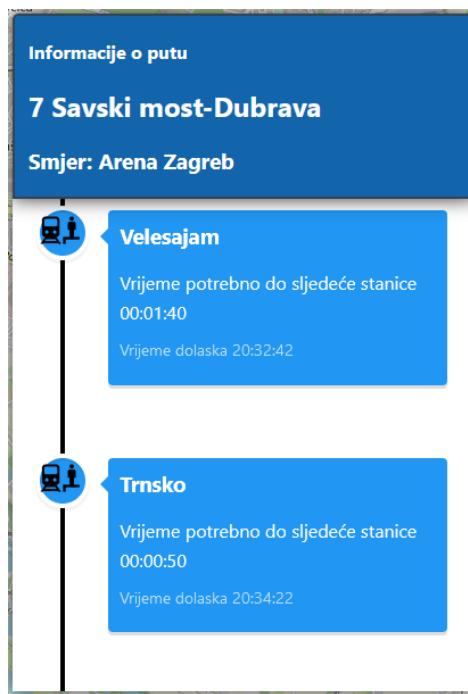
Slika 6.7. Zaslon s odabranim tramvajem



Slika 6.8. Zaslon s iscrtanim putem

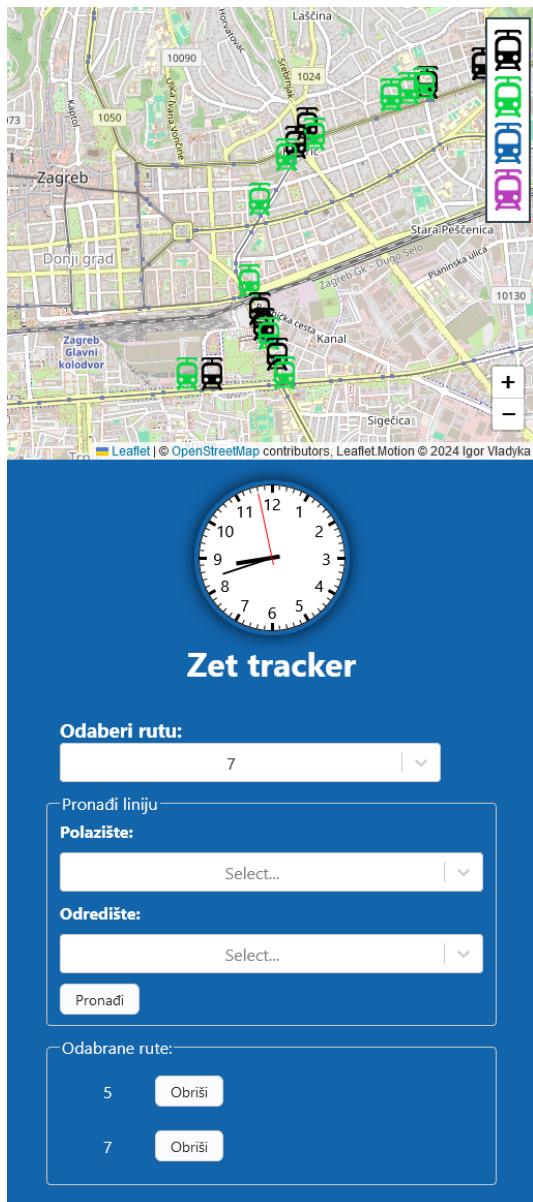
Prozor s dodatnim informacijama o putu (slika 6.9.) je vidljiv samo kada je jedan od tramvaja odabran. On sadrži informacije o broju i punom nazivu tramvajske linije koji se sastoji od početne i krajnje stanice te smjera kretanja tramvaja i sadrži vremensku liniju voznog rasporeda tramvaja.

Raspored tramvaja sadrži sve stanice na tramvajskoj liniji i informacije o očekivanom vremenu dolaska na pojedinu stanicu te o potrebnim vremenima do sljedeće stanice. Ta vremena su temeljena na povijesnim podacima koji se nalaze unutar ZET-ovih static podataka. Kroz raspored se može proći uporabom kotačića na mišu i time vidjeti sve prijašnje i naredne stanice.



Slika 6.9. Prozor s voznim redom tramvaja

Pomoću stila odnosno uporabom Cascading Style Sheets (CSS), napravljena je podrška za responzivni dizajn aplikacije. To omogućuje da se aplikacija prilagodi različitim veličinama zaslona mobilnih uređaja, tableta i stolnih računala. Na slici 6.10. je prikazan izgled sučelja na rezoluciji koja se može pronaći na mobilnim uređajima.



(a)

(b)

Slika 6.10. Izgled aplikacije na manjim zaslonima

7. Zaključak

Aplikacija opisana u ovom završnom radu površinski opisuje jedan način izrade aplikacije za praćenje tramvaja te se može smatrati prvim prototipom. Mjesto za unaprijeđenje postoji, neki ključni dijelovi koji bi doveli do unaprijeđenja su ZET-ova potpuna implementacija GTFS podataka i izgradnja novog prototipa s novim znanjima stečenim tijekom istraživanja i izrade ovog rada. Ti podaci bi omogućili još više naprednijih mogućnosti poput planiranja putovanja i upravljanja presjedanjima te bi pružili detaljnije informacije o svakoj tramvajskoj liniji i stanici. Glavna zadaća ove aplikacije je bila praćenje tramvaja za grad Zagreb, ali to ne bi trebalo sprječavati razvoj aplikacije i u druge svrhe poput praćenja različitih javnih prijevoza u drugim gradovima tj. trebala bi se moći primijeniti na svaki izvor podataka koji odgovara formatu GTFS.

Ova aplikacija ima mogućnost uvelike poboljšati život gradskog stanovništva pružajući im detaljne informacije o javnom prijevozu, što olakšava planiranje putovanja. Također, turistima bi mogla olakšati kretanje kroz njima nov i nepoznat grad uporabom javnog prijevoza, što ima potencijal razviti grad i ekonomiju te će sigurno potaknuti daljnje unaprijeđenje javnog prijevoza.

Literatura

- [1] Zagrebački Električni Tramvaj, “ZET - O nama”, <https://www.zet.hr/o-nama/259>.
- [2] ——, “ZET - GTFS podaci”, <https://www.zet.hr/odredbe/datoteke-u-gtfs-formatu/669>.
- [3] ZET info, <https://zet-info.com/>.
- [4] General Transit Feed Specification, “GTFS - About”, <https://gtfs.org/>.
- [5] Mapnificent, <https://github.com/mapnificent/mapnificent>.
- [6] General Transit Feed Specification, “GTFS - Schedule/Static”, <https://gtfs.org/schedule/>.
- [7] Trafiklab, “Informacije o GTFS schedule modelu i slika modela”, <https://www.trafiklab.se/docs/using-trafiklab-data/using-gtfs-files/static-gtfs-files/>.
- [8] General Transit Feed Specification, “GTFS - Realtime”, <https://gtfs.org realtime/>, <https://gtfs.org/realtime/reference/>.
- [9] Protocol buffers, <https://protobuf.dev/>.
- [10] PostgreSQL, <https://www.postgresql.org/about/>.
- [11] Leaflet.js, <https://leafletjs.com/>.
- [12] Google, “GTFS reference”, <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>.
- [13] Node.js, <https://nodejs.org/en>.
- [14] React.js, <https://react.dev/>.

Sažetak

Vizualizacija prometa javnog prijevoza u stvarnom vremenu uporabom formata GTFS

Luka Miličević

Ovaj završni rad prikazuje izradu aplikacije za praćenje javnog prijevoza u gradu Zagrebu za vizualizaciju i predviđanje položaja tramvaja i autobusa u stvarnom vremenu. Aplikacija se temelji na GTFS-podacima koji omogućavaju dijeljenje informacija javnog prijevoza i popratnim tehnologijama poput *Protocol buffers*. Detaljno se analiziraju podaci Zagrebačkog električnog tramvaja (ZET), koji su ključni za izradu aplikacije te na temelju kojih je definirana baza podataka. Opisuju se poslužiteljski i klijentski dio aplikacije koji čine cjelokupnu sliku arhitekture aplikacije. Rad prikazuje ključne dijelove programskog kôda koji su zaduženi za dohvaćanje i spremanje GTFS-podataka u bazu podataka, njihovu obradu unutar baze podataka te vizualiziranje i animiranje podataka unutar web-preglednika. Na kraju prikazano je ostvareno rješenje i primjer korištenja aplikacije te izведен zaključak koji opisuje daljnja unaprjeđenja aplikacije.

Ključne riječi: web-aplikacija; Zagrebački električni tramvaj; ZET; *GTFS static*; *GTFS realtime*; Protobuf; React; *node.js*; praćenje javnog prijevoza; *Leaflet.js*

Abstract

Visualization of public transport traffic in real time using the format GTFS

Luka Miličević

This final thesis presents the development of an application for tracking public transportation in the city of Zagreb to visualize and predict tram and bus positions in real-time. The application is based on GTFS data, which enables the sharing of public transport information and accompanying technologies such as *Protocol buffers*. The analysis focuses on the data from *Zagreb electric tram* (ZET), crucial for the application's development, defining the database, and the server-side and client-side components that comprise the entire application architecture. The thesis describes key parts of the code responsible for fetching and storing GTFS data in the database, processing them within the database, and visualizing and animating data within a web browser. Finally, the implemented solution and an example of the application's use are presented, along with conclusions describing further improvements to the application.

Keywords: web application; Zagreb electric tram; ZET; *GTFS static*; *GTFS realtime*; Protobuf; React; *node.js*; public transportation tracking; *Leaflet.js*

Privitak A: Programski kôd aplikacije

Cjelokupni kod aplikacije i dokumentacija može se pronaći online na sjedištu Github-a, gdje je dostupan za pregled i preuzimanje. Izravna poveznica na repozitorij je <https://github.com/Luka147m/Zavrnsni-rad>.