

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	2
2. Glavni dio	3
2.1. Zagrebački Električni Tramvaj	3
2.2. GTFS	4
2.2.1. GTFS static	5
2.2.2. GTFS-rt	8
2.2.3. ZET GTFS podaci	9
2.3. Protobuf	15
2.4. Arhitektura sustava	17
2.4.1. Baza podataka	18
2.4.2. Pomoćna skripte	21
2.4.3. Poslužiteljski dio aplikacije - node.js	23
2.4.4. Klijentski dio aplikacije - REACT	26
2.5. Izgled aplikacije	31
3. Zaključak	37
Literatura	38
Sažetak	40
Abstract	41
A: Kôd	42

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 drugčiji način. Upravo s tim ciljem, ideja završnog rada je stvoriti web aplikaciju, koja pruža stvarno praćenje tramvaja u realnom vremenu, olakšavajući korisnicima efikasno planiranje svojih putovanja, osiguravajući im precizne informacije o dolasku tramvaja i informacijama o pojedinim gradskim linijama prijevoza. Kroz ovaj zadatak, istražit ćemo tehničke izazove s kojima se susrećemo u razvoju takve web aplikacije. Dublje ćemo istražiti ključne elemente koji oblikuju temelje naše aplikacije poput analize API-ja pruženog od strane Zagrebačkog Električnog Tramvaja, proučavanje otvorenih standarda GTFS i GTFS realtime, te detaljniju analizu strukture web-aplikacije, od baze podataka PostgreSQL, poslužiteljskog dijela ostvarenog s node.js i Express.js, do klijentskog dijela implementiranog s React.js i bibliotekama poput Leaflet.js

2. Glavni dio

2.1. 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 2.2., koji su trenutno parcijalno implementirani te su dostupni na službenoj stranici ZET-a [2]. Ti podaci će biti temelj aplikacije i kroz njih ćemo detaljnije proći u narednim poglavljima 2.2.3.

Slične aplikacije - ZET info

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

Vozni red		5 Prečko-Park Maksimir									
FAVORITI	LINIE	ned 26	pon 27	uto 28	sri 29	čet 30	pst 31				
Linije											
5 Prečko-Park Maksimir											
17	Prečko - Borongaj		16:24	→	17:26						
109	Črnomerec - Dugave		16:36	→	17:38						
			16:49	→	17:50						
			16:55	→	17:42						
			17:03	→	18:05						
			17:14	→	18:16						
			17:25	...	18:27						
			17:39	...	18:41						
			17:54	...	18:55						
			18:09	...	19:06						
			18:16	...	19:00						
			18:24	...	19:21						
			18:38	...	19:35						
			18:52	...	19:49						
			19:06	...	20:03						
			19:19	...	20:16						
			19:33	...	20:29						
			19:46	...	20:43						

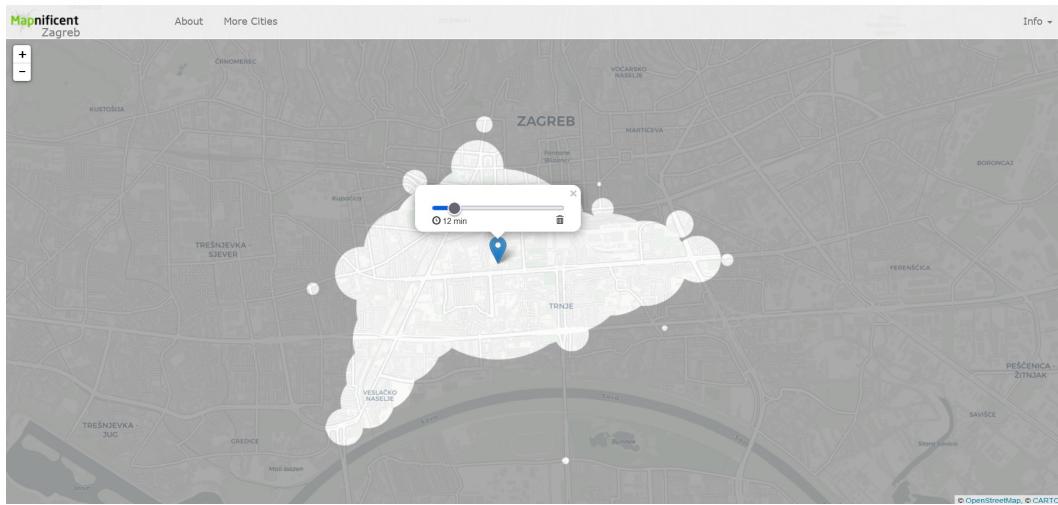
Slika 2.1. ZET info

2.2. General Transit Feed Specification

General Transit Feed Specification, kraće GTFS je otvoreni standardizirani format za rasporede javnog prijevoza i pripadajuće geografske informacije. Široko se koristi diljem svijeta te ga podržavaju 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 Chris 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, informacije učine dostupnima pomoću bilo kojeg od mnogih alata koji već podržavaju GTFS i korisnicima da preuzmu i obrađuju te informacije sa 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 Github-u [5]. Na slici 2.2. je prikazano dokle je moguće doći javnim prijevozom od zgrade FER-a unutar 12 minuta.



Slika 2.2. Mapnificent Zagreb

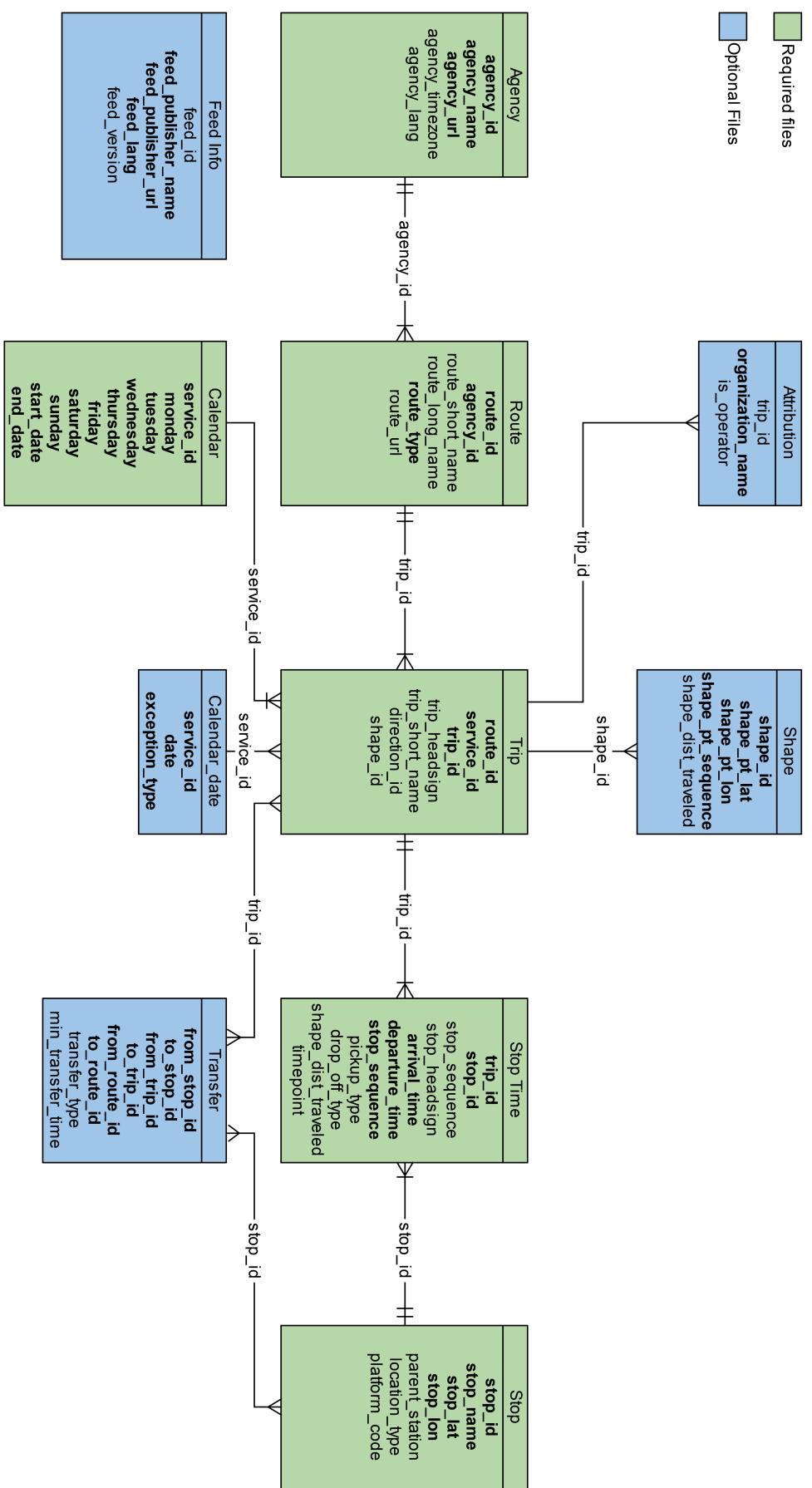
2.2.1. GTFS static

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 programskim alata i jezika ima metode za efektivnu obradu CSV datoteka što čini implementaciju strojnog čitanja lakoćom. Važno za napomenuti da je način kodiranja datoteka imperativan, obavezuje se korištenje UTF-8 kodiranja (podržan je i UTF-8 BOM).

Na dijagramu 2.3. prikazan je jedan primjer važeće strukture GTFS static modela kojeg prikladno prikazuju datoteke u *Entity–relationship* (ER) modelu. Zelenom bojom su označene neophodne datoteke, a plavom par 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 2.3. GTFS-static model [7]

Neophodne datoteke

Moraju biti definirane da bi zadovoljili GTFS standard. One spojene zajedno, pomoću pojedinih identifikatora 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, nazine i geografske koordinate.
- **Calendar.txt** - Informacije o tjednom rasporedu putovanja.

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.

2.2.2. 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. Jer je GTFS otvoreni standard, *realtime* se razvio s ciljem maksimalne interoperabilnosti i lakoće korištenja da bi olakšali programerima razvoj aplikacija i lakoću 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 web poslužitelja (putem nekog API) koji koristi *protocol buffers* (*protobuf*, poglavlje 2.3.). Podaci o stvarnoj lokaciji stvaraju se neprekidno od strane agencije sustavom za automatsko praćenje 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, "*incrementality*" 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 *FeedEntity*-a 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 poglavlju na slikama 2.6. i 2.7.

2.2.3. ZET GTFS podaci

Kao što je već rečeno ZET-ovi podaci su dostupni na službenoj stranici svima pod Otvorenom dozvolom Republike Hrvatske [2]. Na slici 2.4. je prikazana ta stranica te na njoj se mogu pronaći linkovi za GTFS static i GTFS realtime podatke.

Prvo ćemo prokomentirati ZET-ove GTFS static podatke, a potom i GTFS realtime podatke. Kada se podaci dohvate sa stranice, dobivenu arhivu treba otvoriti s odgovarajućim alatom za pregled komprimiranih arhiva. Kada se to napravi dobivamo datoteke sa slike 2.5.

The screenshot shows a web page with a header containing three small icons. Below the header, there is a note in Croatian about data rights. The main section is titled "GTFS downloads". It contains two subsections: "GTFS Realtime Data" and "GTFS Static Data". Under "GTFS Realtime Data", there is a link to "GTFS Realtime Data Feed". Under "GTFS Static Data", there is a link to "GTFS Static Data Latest". At the bottom of the page, there is a section titled "All versions" with a list of seven zip files:

- [scheduled-000-000348.zip](#)
- [scheduled-000-000347.zip](#)
- [scheduled-000-000346.zip](#)
- [scheduled-000-000345.zip](#)
- [scheduled-000-000344.zip](#)
- [scheduled-000-000343.zip](#)

Slika 2.4. ZET stranica za GTFS podatke

	trips.txt	3.430.435	473.763	Text Document
	stops.txt	232.683	61.072	Text Document
	stop_times.txt	74.162.054	10.714.685	Text Document
	routes.txt	9.524	2.573	Text Document
	feed_info.txt	178	136	Text Document
	calendar_dates.txt	733	163	Text Document
	calendar.txt	322	107	Text Document
	agency.txt	256	166	Text Document

Slika 2.5. ZET GTFS static podaci

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

Pobliže ćemo pogledati datoteke *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 2.1. Izgled 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 možemo 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 neisprekidanom krivuljom. Ali u ZET-ovim podacima se ne može pronaći niti *shape_id* niti *shapes.txt* te kao obilazak tom problemu uzete su 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 o implementaciji klijentske strane aplikacije 2.4.4.

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 2.2. 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 2.3. 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 sa oko 70MB (~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 predviđanju 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 2.4. Izgled routes.txt

Ovdje nam je jedina nova bitna informacija **route_long_name** koja nam 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 i time omogućuje lako i brzo pretraživanje te formuliranje odgovora 2.4.1.

ZET realtime podaci

Na ZET-ovoj stranici nalazi se link za GTFS realtime podatke 2.4. koji kada se skinu su binarna datoteka u *.proto* formatu. *Protobuf* je opisan u narednom poglavlju 2.3. Ovdje ćemo samo brzo proći kroz konačne podatke kada se obavi deserijalizacija.

Na slici 2.6. 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 *header* te možemo 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.

Zatim 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 tjst. 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 2.7.) 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 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 2.6. Dio ZET-ovog GTFS-rt feed-a

```

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 2.7. Primjer vehicle podataka

2.3. Protocol buffers

Protocol Buffers su jezično i platformski neutralni, proširivi mehanizmi za serijalizaciju strukturiranih podataka. Razvijeni od strane Googlea, prvotno su bili namijenjeni internoj uporabi, ali su kasnije postali dostupni pod otvorenom licencom [9]. Glavni cilj protocol buffera je pružiti jednostavnost i visoke performanse, te su posebno dizajnirani kako bi bili manji i brži od XML i JSON formata.

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 2.8. 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 2.8. Primjer .proto definicije

Kada smo definirali strukturu svoje poruke potrebno je iskoristiti proto compiler (*protoc*) da bi generirali kôd koji se koristi za serijalizaciju i deserijalizaciju podataka u odabranom programskom jeziku (podržani C++, Java, Python, Go, JavaScript i mnogo drugih). Za primjer sa slike 2.8. i za programski jezik Python, *protoc* compiler 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 2.9. Python kôd s generiranim proto modulom

Neke prednosti korištenja protocol buffera za razliku od tradicionalnih opcija poput XML-a i JSON-a su:

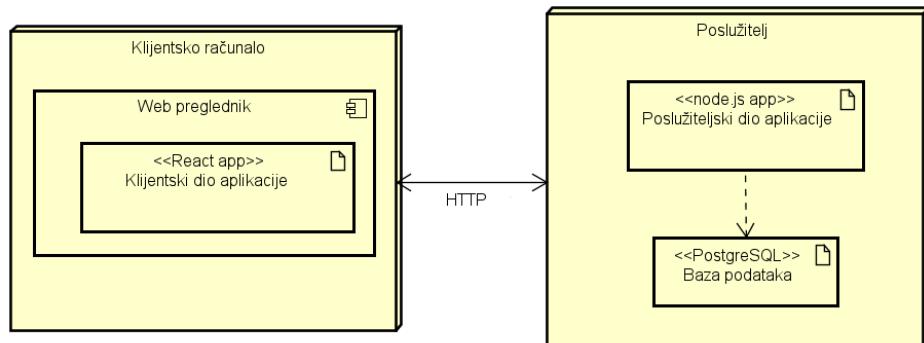
- Protobuf koristi binarni format za serijalizaciju, koji je mnogo kompaktniji i brži za parsiranje.
- Dizajniran s *backward* i *forwards compatibility* na umu
- Međujezična kompatibilnost (*Cross-Language compatibility*)
- Imaju validaciju schema koji striktno čuvaju strukturu podataka

2.4. 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 web preglednika koristi klijentski dio aplikacije (React frontend) te putem HTTP komunikacijskog kanala komunicira s poslužiteljskim dijelom aplikacije (node.js i PostgreSQL).

Klijentski dio aplikacije je izrađen pomoću React.js, popularnog JavaScript okvir 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 server-side aplikacija. Aplikacija će također komunicirati i s relacijskom bazom podataka PostgreSQL. Poslužitelj će obrađivati klijentske zahtjeve i pružati odgovarajuće odgovore nazad.



Slika 2.10. Arhitektura sustava

2.4.1. Baza podataka

Baza podataka je izvedena pomoću 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 najoptimalniji 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 2.4.2.). Datoteke koje smo ubacili su *trips.txt*, *stops.txt*, *routes.txt* i *stop_times.txt*. One su ubaćene kao najobičnije tablice gdje stupce pojedine tablice definira *header* te datoteke (prisjetimo se, one su zapravo CSV datoteke! 2.2.3.).

Spajanje tih tablica je ostvareno virtualnim tablicama tkzv. pogledi (*views*) koji objedinjuju par 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 2.11. Kôd pogleda *stopsjson*

Pogled *tripstops* spaja tablice *stop_times* i *stops* pomoću *stop_id* kao ključa. Objedinjuje informacije tih dviju tablica kako bi imali 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 2.12. Kôd pogleda *tripstops*

Pogled *triptime* filtrira tablicu *tripstops* kako bi izračunali 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 2.13. Kôd pogleda *triptime*

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

- ***find_route_between_stops(stop_a, stop_b)*** - koja prima dva parametra (dvije stanice) i vraća listu ruti koje prolaze kroz te dvije stanice.
- ***get_trip_info(trip_id)*** - koja 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)*** - koja 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 2.14. 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
2  SELECT get_trip_info('0_21_26820_268_10001') AS trip_info

```

Slika 2.15. Primjer korištenja funkcija

2.4.2. Pomoćna skripte

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 ostvarena metodama iz modula *psycopg2*. Prvo je potrebno priložiti vjerodajnice odnosno *username* i *password* te *host*, *port* i *database* (određuju lokaciju baze podataka) za uspješno spajanje.

Na slici 2.16. prikazan je isječak kôda pomoću kojeg je ostvareno učitavanje podataka iz datoteka u odgovarajuće tablice. Python funkcije rade u tri koraka, prvo definiramo SQL naredbu zatim šaljemo tu naredbu bazi podataka i na kraju gledamo 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 5      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
14 def create_route_find_table(connection, cursor):
15     create_table_sql = """ CREATE TABLE route_find AS
16         SELECT trips.route_id, trips.trip_id, stop_times.
17             stop_sequence,
18                 stop_id, stops.stop_name
19             FROM stop_times
20             JOIN trips USING (trip_id)
21             JOIN stops USING (stop_id); """
22     # SQL naredba za brisanje stare tablice i stvaranje
23     # indeksa
24     try:
25         # execute naredbe
26         execute_sql(connection, cursor, create_table_sql)
27
27
28         print("route_find table created successfully.")
29     except Exception as e:
30         print(f"Error creating route_find table: {e}")

```

Slika 2.16. Isječak kôda skripte

2.4.3. Poslužiteljski dio aplikacije - node.js

Poslužiteljski dio aplikacije napisan je u jeziku JavaScript, koristeći Node.js okvir. JavaScript je programski jezik primarno namijenjen korištenju unutar web preglednika, ali uz pomoć Node.js moguće je izvršavanje JavaScript koda na poslužiteljskoj strani, izvan web preglednika, čime se omogućava korištenje jednog jezika za pisanje cjelokupne aplikacije. Najvažniji dodatak Node.js-u 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 2.17. je primjer vrlo jednostavnog poslužitelja koji kada dobije GET zahtjev na rutu '/api/stops' provodi upit nad bazom podataka i ovisno o odgovoru vraća uspješni (200 OK s podacima o stanicama) ili neuspješni odgovor (status 500 s porukom greške). 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 2.17. 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* definiramo potrebne informacije za spajanje poput *username*, *host*, *database*, *password* i *port* te onda pozivom metode *query* nad objektom *pool* možemo izvesti 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 2.18. Primjer spajanje 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 2.19. je čitav kod 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 }
```

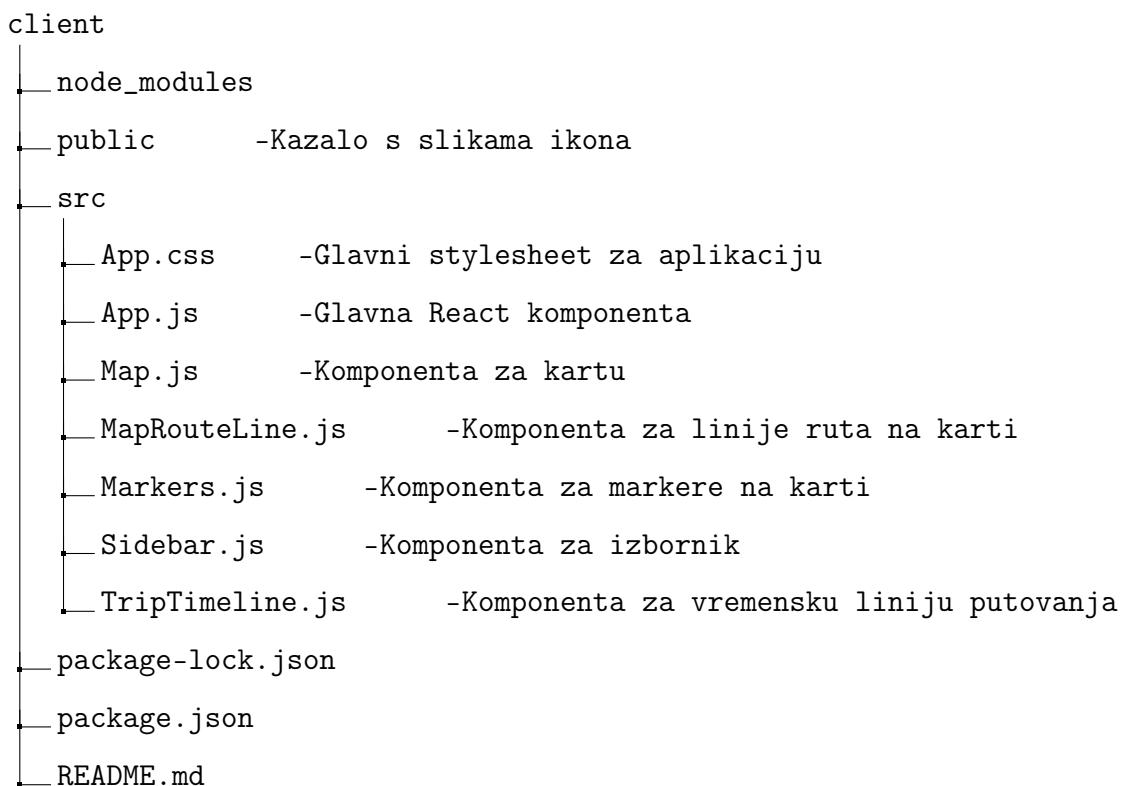
Slika 2.19. Kôd za dohvaćanje GTFS realtime podataka i deserijalizaciju

2.4.4. Klijentski dio aplikacije - REACT

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 React-u, 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), koji izgleda slično HTML-u.

Aplikacija se sastoji od par 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 2.20.).



Slika 2.20. Osnovna struktura klijentskog kôda

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 2.21. 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 2.21. Pseudokôd dohvaćanja podataka od poslužitelja

Map.js

Komponenta *Map.js* kojoj je glavna uloga da prikazuje kartu ostvarena je pomoću *leaflet.js*-a. *Leaflet.js* je popularna open-source JavaScript biblioteka za interaktivne mape. Omogućava jednostavno dodavanje dinamičkih karti, postavljanje markera, crtanje linija i poligona, interakciju s kartama, dodavanje pop-up prozora i još mnogo toga [14]. Postoji React verzija *leaflet.js* koja objekte tretira kao komponente i s kojom je još jednostavnije raditi u React-u.

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

Na slici 2.22. se nalazi isječak kôda koji opisuje što sadrži *Map.js* te možemo primijeniti komponente *MapContainer*, *ZoomControl*, *TileLayer* koje su standardne komponente iz *leaflet.js* i koje definiraju izgled karte , dok 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 2.22. Isječak kôda Map.js

Markers.js

Markers.js komponenta je zadužena za stvaranje marker 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 2.2.3.). Osim prikaza obrađuje i klikove na pojedine markere koji tada aktiviraju popratne akcije prikaza dodatnih informacija o putu pomoću *Popup* i *TripTimeline* komponenti.

MapRouteLine.js

MapRouteLine.js ostvaruje iscrtavanje putanje tramvaja na karti koje je ostvareno dohvaćanjem pozicija stanica tramvaja i spajanjem tih koordinata u jednu *Polyline* liniju. Idejno 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 predajemo 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 tjst. neistinitosti nacrtane putanje naspram stvarne, tako da je taj način odbačen.

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 par 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.

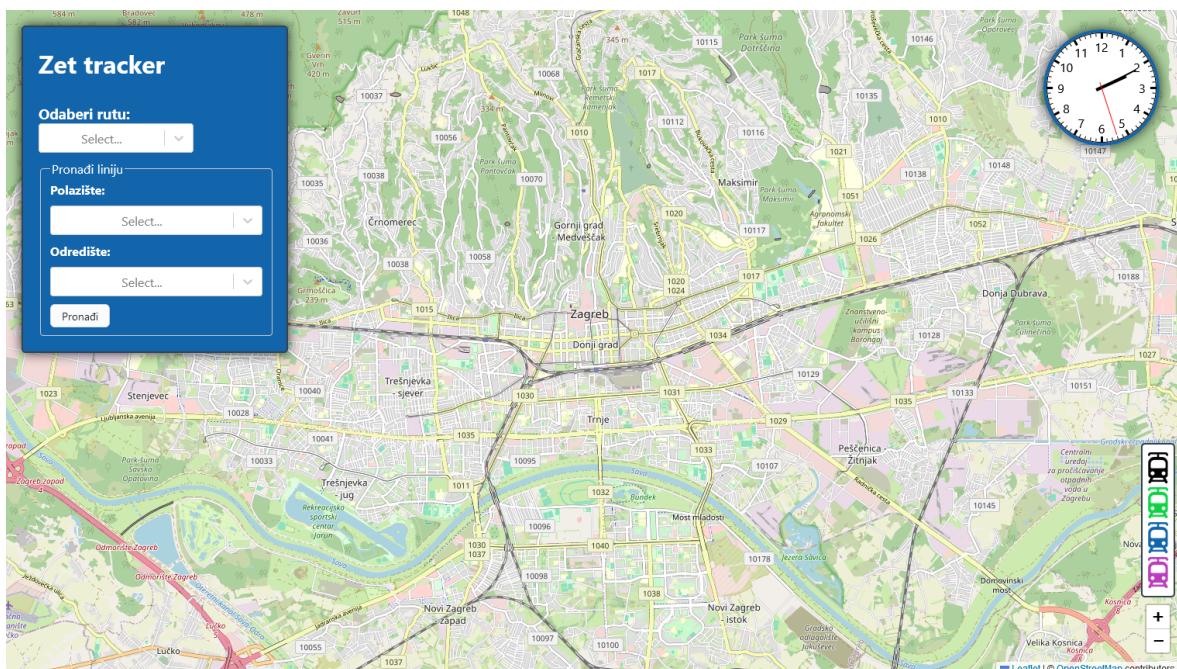
TripTimeline.js

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.

2.5. Izgled aplikacije

Prilikom prvog pristupa stranici dočekani smo praznom kartom bez ikakvih markera. U gornjem lijevom kutu se nalazi 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 se nalazi 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 se nalaze i tipke za uvećavanje/smanjivanje karte, ali to je moguće i lakše obaviti kotačićem na mišu.

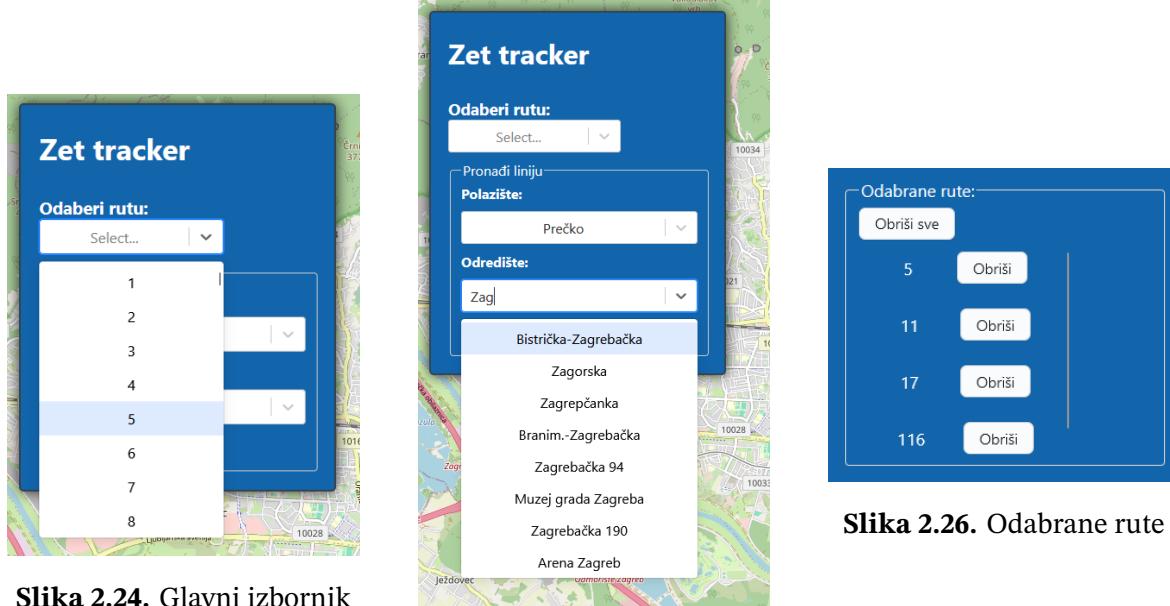


Slika 2.23. Početni zaslon aplikacije

Korištenjem padajućeg izbornika označenog tekstrom "Odabereti rutu:" možemo ili klikom odabrati rutu koju želimo pratiti ili jednostavno upišemo broj tramvajske linije i pritisnemo tipku *enter* (slika 2.24.). Tada će odabrana ruta biti dodana u kutiju odabranih ruta (slika 2.26.) i na karti će se prikazati markeri tramvaja.

Aplikacija sadrži funkcionalnost pronađenja tramvajskih linija odnosno funkcionalnost koja pomaže pronaći tramvajske 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 2.25.) 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 odabranih 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 tramvajske linije tada će se prikazati i dodatan gumb "Obriši sve" s kojim lakše i brže brišemo sve odabранe linije.



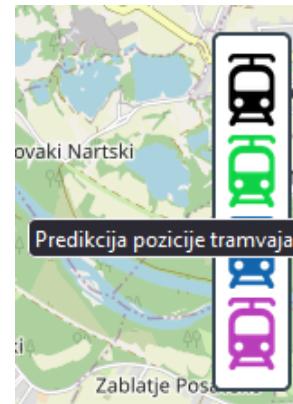
Slika 2.24. Glavni izbornik

Slika 2.25. Izbornik za pronađenje ruta

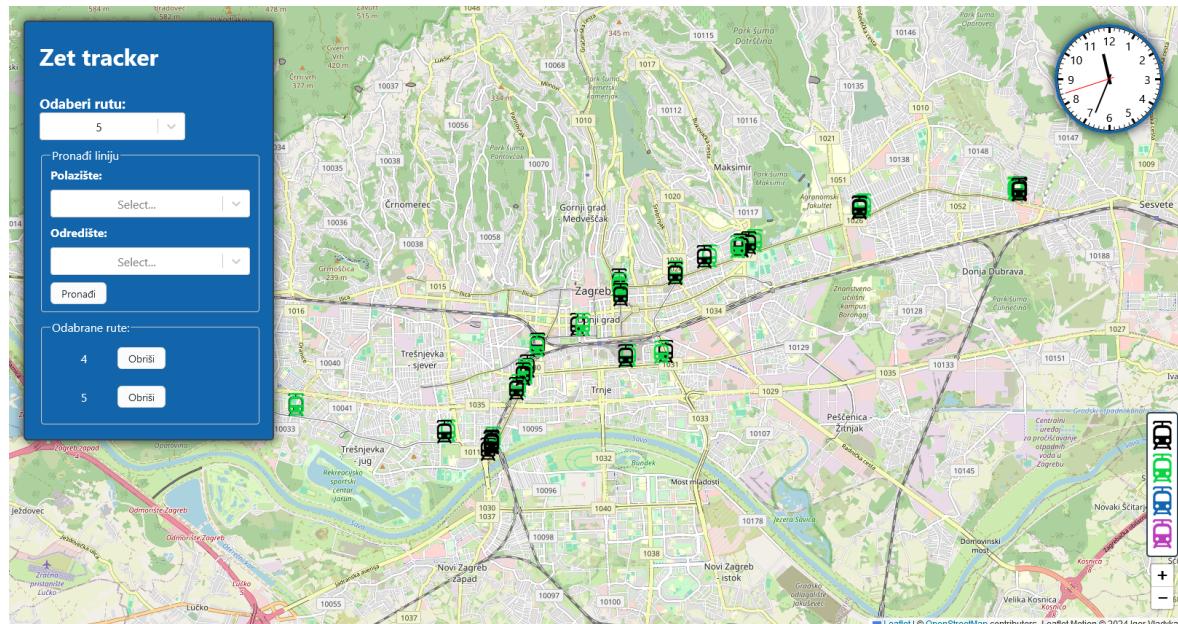
Slika 2.26. Odabране rute

Kada smo odabrali neku od linija na zaslonu će se prikazati markeri tramvaja (slika 2.28.). 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

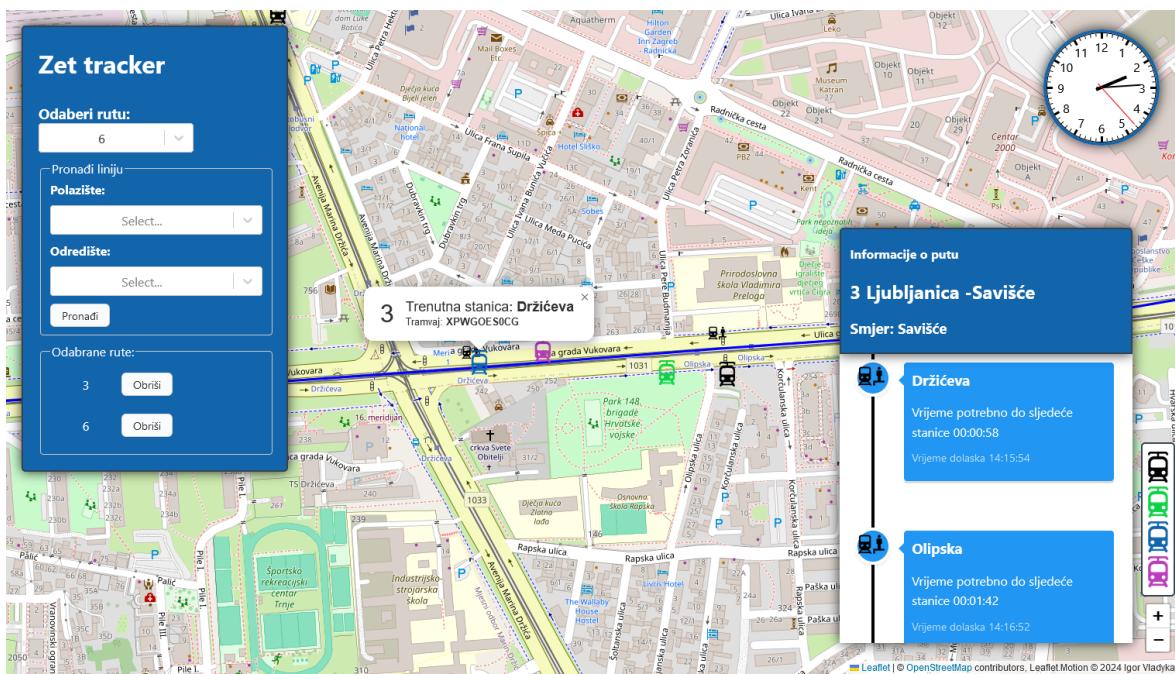


Slika 2.27. Legenda

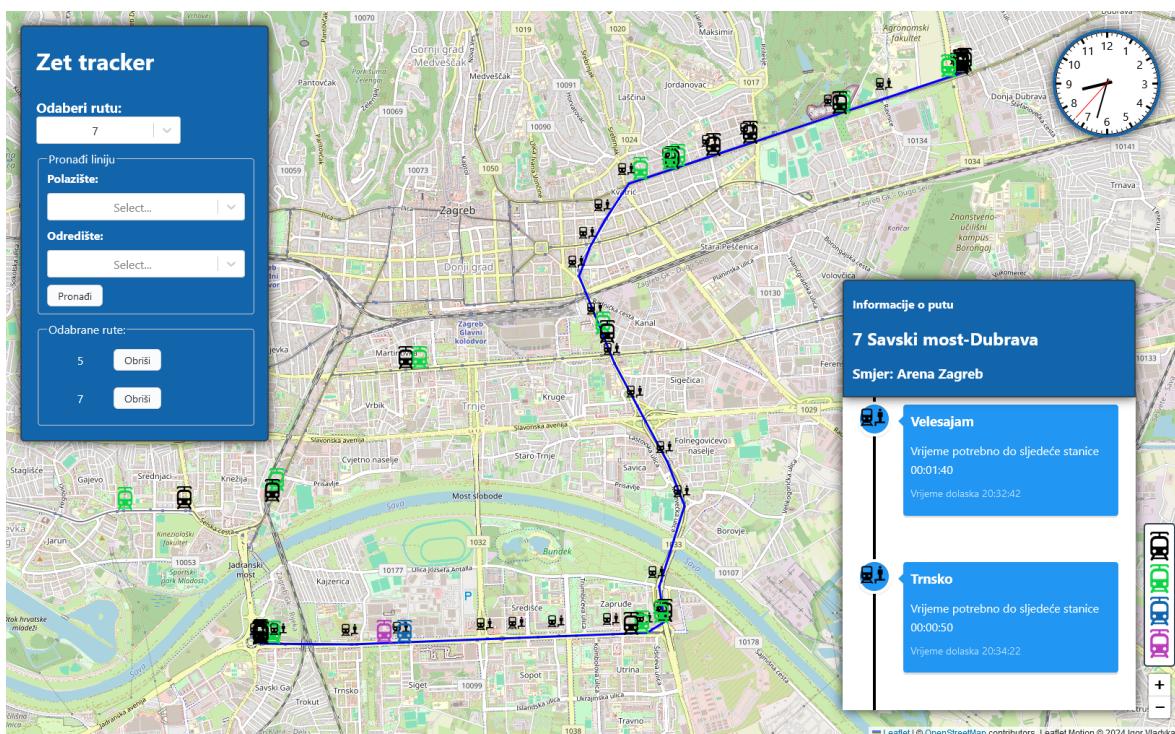


Slika 2.28. Zaslon s markerima odabralih linija

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. Ako želimo od značiti marker možemo pritisnuti bilo gdje drugdje na karti ili na neki drugi marker. Također na karti će se iscrtati cijelokupni put tramvajske linije i otvoriti će se novi prozor s puno više informacija o voznom redu.



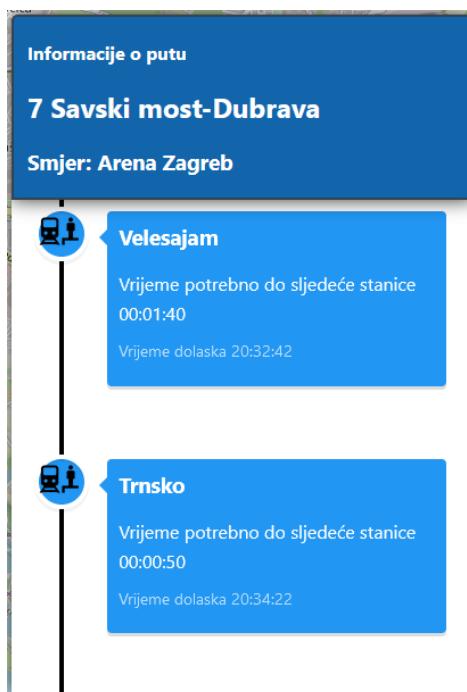
Slika 2.29. Zaslon s odabranim tramvajem



Slika 2.30. Zaslon s iscrtanim putem

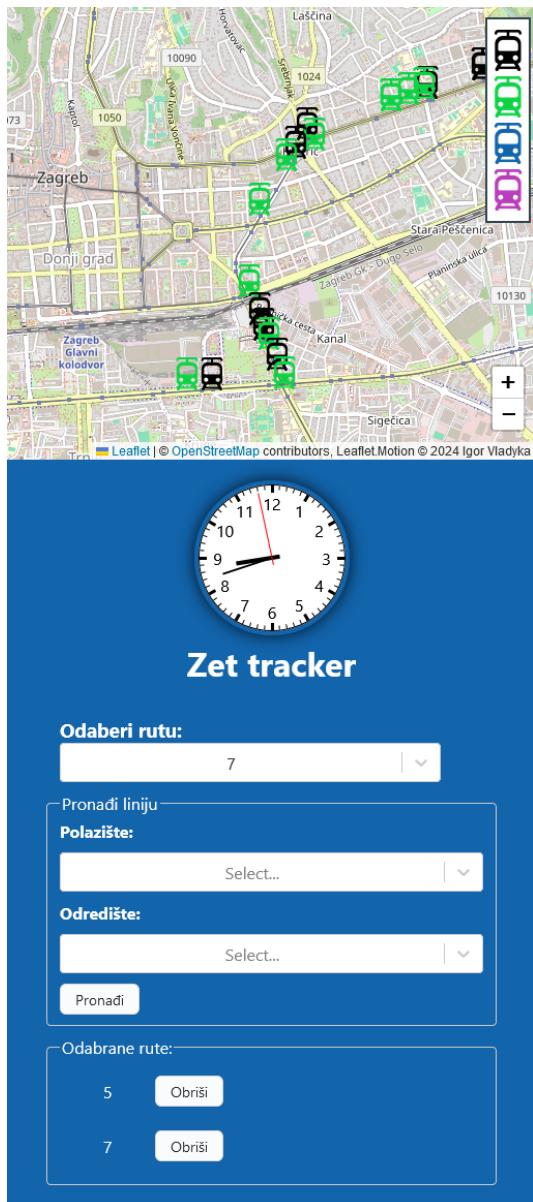
Prozor s dodatnim informacijama o putu (slika 2.31.) je vidljiv samo kada je jedan od tramvaja odabran. On sadrži informacije o broju i punom nazivu tramvajske linije koji se sastoji od početne i krajnje stanice te smjera kretanja tramvaja i sadrži vremensku liniju voznog rasporeda tramvaja.

Raspored tramvaja sadrži sve stanice na tramvajskoj liniji i informacije o očekivanom vremenu dolaska na pojedinu stanicu i 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 2.31. 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 2.32. je prikazan izgled sučelja na rezoluciji koja se može pronaći na mobilnim uređajima.



(a)

(b)

Slika 2.32. Izgled aplikacije na manjim zaslonima

3. 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 potpuna implementacija GTFS podataka od strane Zagrebačkog električnog tramvaja 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 stanicu. 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 tjst. trebala bi se moći primijeniti na svaki izvor podataka koji odgovara GTFS formatu. Ova aplikacija ima mogućnost uvelike poboljšati život gradskog stanovništva pružajući im detaljne informacije o javnom prijevozu, što olakšava planiranje putovanja. Također, bi turistima 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>, [Stranica posjećena: 16.05.2024.].
- [2] ——, “ZET - GTFS podaci”, <https://www.zet.hr/odredbe/datoteke-u-gtfs-formatu/669>, [Stranica posjećena: 27.05.2024.].
- [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] Google, “GTFS reference”, <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference>.
- [12] Node.js, <https://nodejs.org/en>.
- [13] React.js, <https://react.dev/>.

[14] Leaflet.js, <https://leafletjs.com/>.

Sažetak

Vizualizacija prometa javnog prijevoza u stvarnom vremenu uporabom formata GTFS

Luka Miličević

Ovaj završni rad prati izradu aplikacije za praćenje tramvaja u gradu Zagrebu i istražuje potrebne dijelove za ostvarenje tog cilja. Kroz rad se upoznajemo s GTFS formatom koji omogućuje dijeljenje informacija javnog prijevoza i popratnim tehnologijama poput *Protocol buffers*. Detaljno analiziramo podatke pružene od strane Zagrebačkog Električnog Tramvaja koji su ključni za izradu aplikacije te na temelju kojih definiramo bazu podataka i poslužiteljski i klijentski dio aplikacije koji čine cjelokupnu sliku arhitekture aplikacije. Detaljno prolazimo kroz ključne dijelove programskog kôda koji omogućuju temeljene funkcionalnost i rad aplikacije. Na kraju opisujemo i prolazimo kroz ostvreno rješenje i izvodimo zaključak koji opisuje daljnja unaprijeđenja aplikacije.

Ključne riječi: Završni rad; Web aplikacija; Zagrebački električni tramvaj; GTFS static; GTFS realtime; Protobuf; React; Node.js; Praćenje tramvaja; Leaflet.js

Abstract

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

Luka Miličević

This final thesis follows the creation of an application for tracking trams in the city of Zagreb and explores the necessary parts to achieve this goal. Through work, we get to know the GTFS format which enables the sharing of public transport information and accompanying technologies such as *Protocol buffers*. We analyze in detail the data provided by *Zagrebački Električni Tramvaj* that are key to creating the application and on the basis of which we define the database and the server and client part of the application that make up the overall image of the application architecture. We go in detail through the key parts of the code that make base functionalities and the whole operation of the application possible. Finally, we describe and go through the solution and draw a conclusion that describes further improvements of the application.

Keywords: Final thesis; Web application; Zagreb electric tram; GTFS static; GTFS realtime; Protobuf; React; Node.js; Tram monitoring; Leaflet.js

Privitak A: Kôd

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