SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-5382-52598

VYUŽITIE GRAFOVEJ DATABÁZY V PRAXI

BAKALÁRSKA PRÁCA

2017 **Juraj Kubričan**

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-5382-52598

VYUŽITIE GRAFOVEJ DATABÁZY V PRAXI

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program:	Aplikovaná informatika
Číslo študijného odboru:	2511
Názov študijného odboru:	9.2.9 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko:	Ústav informatiky a matematiky
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Maroš Čavojský

Bratislava 2017 **Juraj Kubričan**

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ústav informatiky a matematiky

Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017
Evidenčné číslo: FEI-5382-52598

ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študent:	**Juraj Kubričan**
ID študenta:	52598
Študijný program:	aplikovaná informatika
Študijný odbor:	9.2.9. aplikovaná informatika
Vedúci práce:	Ing. Maroš Čavojský
Miesto vypracovania:	Ústav informatiky a matematiky

Názov práce: **Využitie grafovej databázy v praxi**

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský jazyk

Špecifikácia zadania:

V dnešnej dobe sa okrem tradičných zaužívaných relačných databáz, využívajú aj menej známe grafové databázy, v ktorých sú dáta uložené odlišným spôsobom ako v relačných databázach. Cieľom práce je oboznámiť sa s jednotlivými predstaviteľmi grafových databáz, vybrať jedného a navrhnúť a implementovať využitie vybranej grafovej databázy na reálnom príklade.

Úlohy:
1. Naštudujte si literatúru ohľadom jednotlivých predstaviteľov grafových databáz
2. Vyberte jedného predstaviteľa grafových databáz
3. Navrhnite reálny príklad pre implementáciu grafovej databázy
4. Implementujte reálny príklad pre implementáciu grafovej databázy
5. Zhodnoťte a uveďte výhody použitia grafovej databázy oproti iným typom databáz (relačné, dokumentové,...) v implementovanom reálnom príklade

Zoznam odbornej literatúry:

1. Ian Robinson, Jim Webber, and Emil Eifrem: Graph Databases, O'Reilly Media, Inc. USA 2015, p.224, ISBN: 978-1-491-93200-1

Riešenie zadania práce od: 19. 09. 2016

Dátum odovzdania práce: 19. 05. 2017

Juraj Kubričan
študent

prof. RNDr. Otokar Grošek, PhD.
vedúci pracoviska

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec
garant študijného programu

SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program:	Aplikovaná informatika
Autor:	Juraj Kubričan
Bakalárska práca:	Využitie grafovej databázy v praxi
Vedúci záverečnej práce:	Ing. Maroš Čavojský
Miesto a rok predloženia práce:	Bratislava 2017

Baklárksa práca sa zaoberá oboznámením sa s rôznymi predstaviteľmi grafových databá a naimplementovaním aplikácie ktorá bude využívať jedného predstaviteľa grafovej databázy. V prvej časti sa nachádza teoretický úvod do problematiky grafových databáz, ich výhody a nevýhody oproti relačným databázam z hladiska štruktúry a výkonu.V druhej časti sa nachádza špecifikácia a návrh našej aplikácie s využitím UML diagramov.V časti implementácia sa nacházda prehľad ostatných použitých technológií, a popísaný proces implementácie našej aplikácie

Kľúčové slová: grafová databáza, OGM, Cypher, Neo4j, performance, škálovateľnosť

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Applied Informatics
Author:	Juraj Kubričan
Bachelor Thesis:	Graph database use in a real world application
Supervisor:	Ing. Maroš Čavojský
Place and year of submission:	Bratislava 2017

abstractEN

Keywords: graph database, OGM, Cypher, Neo4j, performance, scalability

Vyhlásenie autora

Podpísaný Juraj Kubričan čestne vyhlasujem, že som bakalársku prácu Využitie grafovej databázy v praxi vypracoval na základe poznatkov získaných počas štúdia a informácií z dostupnej literatúry uvedenej v práci.

Vedúcim mojej bakalárskej práce bol Ing. Maroš Čavojský.

Bratislava, dňa 16.5.2017

.....

podpis autora

Poďakovanie

Chcel by som podakovat vedúcemu záverečnej práce, ktorým bol Ing. Maroš Cavojský, za odborné vedenie, rady a pripomienky, ktoré mi pomohli pri vypracovaní tejto bakalárskej práce.

Obsah

Zoznam obrázkov a tabuliek

Zoznam skratiek a značiek

TSP - The Travelling Salesman Problem
UML - Unified Modeling Language verzie 2.5
GDBMS - Graph Database Nanagement System
RDBMS - Relational Database Management System
ORM - Object to Relational Mapping
OGM - Object to Graph Mapping
URL - Uniform Resource Locator
SSH - Secure SHell
CDN - Content Delivery Network
UX - User Experience
AJAX - Asynchronous Javascript and XML
REST - Representational State Sransfer
MVC - Model View Controller

Zoznam algoritmov

Úvod

V šučastnosti keď

Správny výber DBMS vie zabezpečiť rádovo nižšie prístupové časy a tým aj väčšiu scalability. Pri aplikáciách kde sú dáta štrukturavné do uzlov a prepojení, je vhodné zvážiť použitie grafovej databázy. My sme navrhli a naimplementovali aplikáciu cestovného plánovača, ktorý potrebuje uchovaŤ dáta o destináciách a cestách medzi nimi. Preto je pre túto palikáciu vhodné využiť grafový DBMS

1 Analýza problému

1.1 Grafové databázy

Modelovanie grafovej databázy prirodzene zapadá do spôsobu akým bežne abstrahujeme problémy pri vývoji softvéru. Pri návrhu softvéru objekty opisujeme obdĺžnikmi alebo kruhmi a súvislosti medzi nimi šípkami, či čiarami. Moderné grafové databázy sú viac ako akákoľvek iná databázová technológia vhodné na takúto reprezentáciu, lebo to, čo namodelujeme na papier vieme priamo implementovať v našej grafovej databáze. [3, 25–27]

Grafové databázy využívajú model ktorý pozostáva z vrcholov, hrán, atribútov a značiek. Vrcholy obsahujú atribúty, a sú označené jednou alebo viacerými značkami. Tieto značky zoskupujú vrcholy, ktoré zastávajú rovnakú rolu v rámci aplikácie. Hrany v grafových databázach spájajú vrcholy a budujú štruktúru grafu. Hrana grafu má vždy smer, názov, východzí vrchol, cieľový vrchol a cieľový vrchol. Fakt, že hany musia mať smer a názov pridáva to sémantickú prehľadnosť do grafu, ak zvolíme správne názov vieme rýchlo identifikovať štruktúru grafu a identifikovať význam vzťahov. Hrany môžu rovnako ako vrcholy obsahovať aj atribúty. Atribúty v hranách môžu byť praktické na pridanie kvalitatívnych dát (napr. váha, vzdialenosť) ku vzťahom, tieto dáta sa potom môžu použiť pri prehľadávaní grafu.

1.2 Výkon grafovej databázy pri dotazoch na vzťahy

Natívne grafové databázy používajú bez indexovú priľahlosť. Absencia cudzích kľúčov praxi znamená, že pri prehľadávaní vzťahov v je výpočtová zložitosť prehľadania jednj hrany $O(1)$. Táto rýchlosť je dosiahnutá tak, že všetky hrany sú uložené s priamymi ukazovateľmi na vrcholy, ktorých vzťah reprezentujú. Takisto vo vrcholoch sú uložené priame ukazovatele na všetky hrany vychádzajúce z a mieriace do dotyčného vrcholu. Takáto štruktúra poskytuje už spomínanú výpočtovú zložitosť $O(1)$ v oboch smeroch hrany, takže nielen v smere z východzieho bodu do cieľového ale aj opačným smerom.[3, 149–158] Pri relačnej databáze by toto muselo byť riešené reverzným vyhľadávaním v cudzích kľúčoch.

1.3 Vzťahy v relačných databázach

Relačná databáza je databáza, v ktorej sú údaje uložené podľa relačného databázového modelu podľa E. F. Codda z roku 1970. Relačný model je založený na matematickom aparáte relačných množí na predikátovej logiky. Databázová relácia sa od matematickej

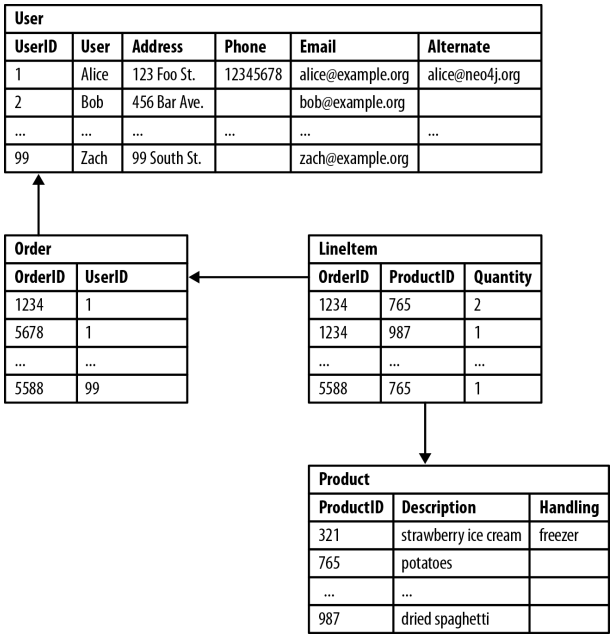
líši tým, že využíva pomocný aparát nazvaný schéma. V databáze schéma definuje názov relácie (tabuľky) a koľko obsahuje stĺpcová aký dátový typ obsahujú.[2]

Vývojári databáz sa už desaťročia snažia relačné databázy prispôsobiť na to aby boli schopné efektívne pracovať s husto prepojenými dátovými sadami. Keďže však štruktúra relačných databáz bola pôvodne navrhnutá na ukladanie formulárov a tabuľkových štruktúr, majú problém s keď sa snažia poňať ad-hoc vzťahy, ktoré sa vyskytujú v dátach v reálnom svete. [3, 11–12]

Vzťahy sa vyskytujú v relačných databázach no iba vo fáze návrhu, v reálnej implementácií tieto vzťahy nahradzujú spájacie tabuľky a cudzie kľúče. Týmto prístupom rýchlo narastá komplexita a znižuje sa prehľadnosť dátového modelu a pridáva sa záťaž na databázu vznikom veľkých spájacích tabuliek a stĺpcov s cudzími kľúčami, ktoré môžu byť riedko populované, no zaberajú diskový priestor. [3, 11–12]

Pri prehľadáácvaí vzťahov v relačnej databáze, každé prepojenie pridáva výpočtovú komplexitu. V každej ďalšej prepojenej tabuľke treba vyhľadať záznam s požadovaným kľúčom $O(log(n))$. Používané relačné databázové systémy riešia tento výpočtový problém použitím indexov a inými optimalizáciami, no pokiaľ je dátová sada štruktúrovaná s veľkým množstvom vzťahov systém sa spravidla spomalí.

Na obrázku č. 1 vidíme prístup riešenia vzťahov v relačnej databáze.



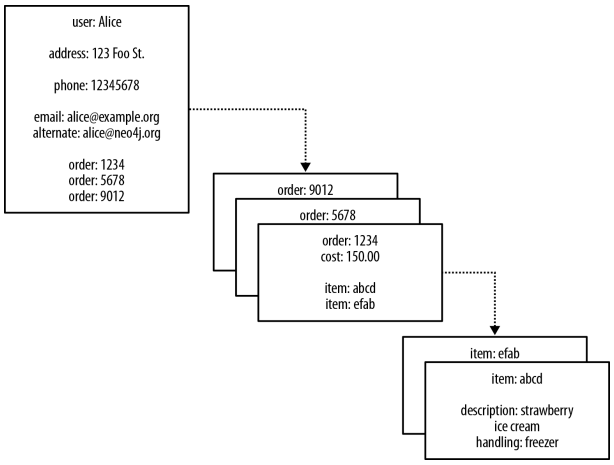
Obrázok 1: Ukážka riešenia vzťahov v relačnej databáze [3, 12]

1.4 Vzťahy v dokumentových databázach

Dokumentové databázy patria rovnako ako grafové do kategórie NoSQL databáz. V dokumentovej databáze sa údaje ukladajú ako štruktúrované objekty ktoré sú adresované pomocou unikátnych kľúčov, sémanticky vieme dokumenty rozlíšiť do kolekcií podľa ich významu v databáze. Štruktúra grafovej databázy je primárne určená na dopyty podľa kľúča a neposkytuje výhodu pri prehľadávaní cez vzťahy oproti relačným databázam. Rôzne implementácie dokumentových databáz implementujú odlišné prístupy k riešeniu vzťahov.

Bežný spôsob na pridanie vzťahov do štruktúry dokumentovej databázy je pridanie atribútu do dokumentu , ktorý bude odkazovať na kľúč a kolekciu dokumentu, s ktorým chceme vytvoriť vzťah. Týmto spôsobom vieme použiť koncept cudzích kľúčov z relačných databáz. Tento prístup sa však stretá s rovnakými problémami v rýchlosti ako pri relačných databázach s pridanou komplexitou v tom, že tento dopyt musíme často implementovať aplikačne.

Na obrázku č. 2 vidíme príklad prístup implemntácie vzťahov v dokumentovej databáze.



Obrázok 2: Ukážka riešenia vzťahov v dokumentovej databáze [3, 15]

1.5 Výber grafovej databázy

Vybrali sme si troch najpopulárnejších predstaviteľov grafových databáz podľa rebríčka DB-Engines.com. V nasledujúcej časti v skratke priblížime históriu každej grafovej databázy ich výhody a nevýhody.

1.5.1 Neo4J

Prvá verzia Neo4J bola vydaná v roku 2007 od vtedy sa stala dlhodobo najpoužívanejšou grafovou databázou. Je vyvíjaná Neo Technology, Inc. Neo4j je ponúkaná v dvoch variantoch: Neo4j Community je open source (GPLv3) grafová databáza obsahujúca všetky základné funkcií (Ďalej budeme spomínať len túto verziu). A Neo4j Enterprise edícia, ktorá má rozšírené funkcie ako shardovanie cache pamäte, rozšírené monitorovanie a zálohovanie za behu.[1] [**?**]

Medzi hlavné výhody Neo4J patrí:

- Je dlhodobo najpopulárnejšia grafová databáza, podľa rebríčka db-rank[1]. Z toho vyplýva dobrá dokumentácia a podpora na internete a väčšia podpora pre integráciu s populárnymi frameworkami.
- Dopytovací jazyk Cypher, ktorý táto databáza podporuje. Tento jazyk je vizuálne zrozumiteľný a navrhnutý primárne na prácu z grafovou databázou. Ďalej sa mu venujeme v kapitole 1.6.

Nevýhodami Neo4J sú:

- Nižšia rýchlosť oproti OrientDB.
- Podporuje iba grafový model ukladania údajov.

1.5.2 OrientDB

OrientDB je vyvíjané od roku 2010 firmou OrientDB LTD. Databáza OrientDB rýchlo nabralo nabrala na popularite a v roku 2015 sa dostala na druhé miesto v rebríčku DB-engines. OrientDB sa rovnako ako Neo4j distribuuje v dvoch edíciách: Community - open source (Apache Licence 2.0) so základnými funkciami a Enterprise edíciou s podporou migrácie a synchronizácie na Neo4J a pridanými analytickými nástrojmi. [1] [**?**]

Medzi hlavné výhody OrientDB patrí:

- Podporuje okrem grafového modelu ukladania dát aj dokumentové a key-value úložisko
- Podľa nezávislých testov [5] je v niektorých testoch až desať krát rýchlejšie ako Neo4J.

Nevýhodami OrientDB sú:

- Menšia podpora pre populárne frameworky, konkrétne OGM pre Laravel nepodporuje ukladanie a čítanie atribútov z hrán.
- Menej intuitívny dopytovací jazyk v kontexte grafových databáz.

1.5.3 Titan

Projekt Titan bol od 2012 vyvíjaný skupinou ThinkAurelius, no v roku 2017 bol odkúpený firmou Datstax a projekt Titan bol zastavený. Projekt je ďalej udržiavaný ako open source verzia pod menom JanusGraph. Titan je projekt určený na veľké distribuovane enterprise riešenia, je nasadzovaný na cloudové platformy ako napr. Apache Hadoop a Apache Spark podporuje rôzne distribuované úložné priestory ako napr. Apache HBase a Oracle BerkeleyDB Ďalej podporuje rôzne vyhľadávacie enginy ako napr. Elasticsearch a Solr. [1] [**?**]

Medzi hlavné výhody databázy Titan patrí:

- Podpora rôznych zásuvných modulov vyžívaných v enterprise riešeniach.

Nevýhodami databázy Titan sú:

- Ukončenie vývoja po akvizícií firmou DataStax.
- Jej určenie na veľké distribuované systémy.

1.5.4 Vyhodnotenie

V procese výberu databázy sme prihliadali na rôzne faktory. Posudzovali sme hlavne kompatibilitu, jednoduchosť použitia a rýchlosť. Na koniec sme sa rozhodli pre Neo4J práve pre jeho rozšírenosť a použitie jazyka Cypher. Aj keď podľa nezávislých testov je OrientDB rýchlejšie ako Neo4J v kontexte porovnávania relačných a grafových databáz tento fakt nezohral veľkú rolu, lebo obe databázy sú pri navigovaní grafu rýchlejšie ako relačné. Databázu Titan sme vylúčili z výberu z dôvodu ukončenia jej vývoja a určenia primárne na distribuované systémy.

1.6 Dopytovací jazyk Cypher

Dopytovací jazyk Cypher bol vyvinutý firmou NeoTechnology pre ich databázu Neo4J a prípadnú štandardizáciu tohto jazyka v ostatných grafových databázach. Cypher bol navrhnutý tak, aby sa ľahko čítal a chápal, preto používa intuitívnu *"ASCII Art"* notáciu. Cypher používa oblé zátvorky na reprezentáciu vrcholov, hranaté zátvorky a pomlčky na reprezentáciu hrán a znaky väčší a menší na upresnenie smerovania hrany. Medzi hlavný dopytovací príkaz v Cypher je MATCH, týmto príkazom podobne ako SELECT v SQL začína každý dopyt.

V algoritme č. 1 vidíme niekoľko príkladov dopytov. Na prvom príklade vidíme dopyt, ktorý vyhľadá vrchol n s *id = 42* (*id* nieje atribút vrcholu, preto ho musíme získa pomocou funkcie *id()*), z tohto vrcholu vychádzajúce (všimnime si smerovanie "ASCII ART šípky") hrany so značkou VZTAH, ktoré vedú k cieľovým vrcholom so značkou *typ*. Všimnime si, že v zátvorkách reprezentujúcich vrcholy a hrany priraďujeme premenným *n*, *m* a *r* kolekcie vrcholov a hrán. Keďže je v dopyte *RETURN r, m* vrátia sa a vrcholy v týchto kolekciách, čiže nie pôvodný vrchol s *id = 42*.

Na druhom príklade vidíme dopyt, ktorý začne z vrcholov, ktorích atribút *nazov* má hodnotu *názov* dalej vyhľadá a vráti všetky vrcholy ktoré sú od neho v grafe vzdialené tri hrany typu *VZTAH* a ich atribút *text* vyhovuje regulárnemu výrazu */M.*/*.

Na poslednom príklade vidíme príkaz, ktorý najprv vyhľadá vrcholy s atribútom *meno* *Patrik* a *Adam* a pridá hranu smerujúcu od prvého smerom k druhmému. vytvorená hrana bude mať atribút *vaha* s hodnotou *7*.

Algoritmus 1 Príklady dopytov v jazyku Cypher

```
1
2  1)
3  MATCH (n)-[r:VZTAH]->(m:znA)
4  WHERE id(n) = 42 RETURN r, m
5
6  2)
7  MATCH (n:typ)-[r:VZTAH*3]->(m:znB)
8  WHERE n.nazov = 'názov' AND m.text=~ "M.*" RETURN m
9
10 5)
11 MATCH (a:typ),(b:znA) WHERE a.meno = 'Adam' AND b.meno = 'Bernard'
12 CREATE (a)-[r:VZTAH { vaha: 7 }]->(b)
13 RETURN r
```

2 Špecifikácia

Aplikácia ktorú sme sa rozhodli implementovať bude slúžiť na plánovanie a optimalizáciu trasy cestovateľa po svete. Bude umožňovať používateľovi sledovať ceny cesty z domáceho miest, ktoré si používateľ zadá. Do destinácií, ktoré si pridá na zoznam obľúbených destinácií. Bude ďalej používateľovi ukazovať ostatných používateľov, ktorý si zvolili rovnaké destinácie, a bude vedieť používateľovi odporučiť ďalšie destinácie na základe zhody s ostatnými používateľmi.

2.1 Funkcionálne požiadavky

1. Aplikácia bude umožňovať registráciu a prihlásenie používateľa
2. Pri registrácií sa budú vyžadovať prihlasovacie údaje: e-mail, heslo. Okrem toho sa bude vyžadovať zdanie domácej destinácie.
3. Po prihlásení používateľa sa mu zobrazí obrazovka s mapou, zoznamom obľúbených destinácií, ktoré chce navštíviť a zoznam odporúčaných destinácií.
4. Na mape bude vyobrazená používateľova domáca destinácia a všetky destinácie ktoré má v zozname obľúbených destinácií.
5. V zozname obľúbených budú všetky destinácie, ktoré si používateľ pridal. Zoznam bude vo forme tabuľky ktorej riadok bude obsahovať meno destinácie a cenu najlacnejšej trasy z domáceho miesta do destinácie nachádza.
6. Budú sa dať zobraziť informácie o všetkých dostupných trasách ku konkrétnej destinácií s ich cenami a spôsobmi dopravy.
7. V detailoch obľúbenej destinácie bude zoznam ostatných používateľov ktorí danú destináciu majú tiež na zozname obľúbených
8. V zozname odporúčaných destinácií budú destinácie ktoré majú na zozname ľudia s ktorými má prihlásený používateľ najviac spoločných destinácií.
9. V aplikácií bude obrazovka kde si bude používateľ vybrať niekoľko zo svojich obľúbených destinácií a nechať si vyrátať optimálnu trasu z domáceho miesta cez všetky zvolené miesta a potom spať. (TSP)

2.2 Nefunkcionálne požiadavky

1. Systém bude zrealizovaný na webovej platforme.
2. Aplikácia bude využívať natívnu grafovú databázu.
3. Aplikácia bude byť kompatibilná s webovými prehliadačmi Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge.
4. Užívateľské rozhranie systém musí byť plne použiteľné aj na mobilných telefónoch s OS Android a IOS.
5. Aplikácia bude implementovaný s použitím jazyka PHP a PHP frameworku.
6. Systém bude nasadený na virtuálnom serveri s operačným systémom Ubuntu 16.04.2 LTS poskytnutom Ústavom informatiky a matematiky FEI STU.

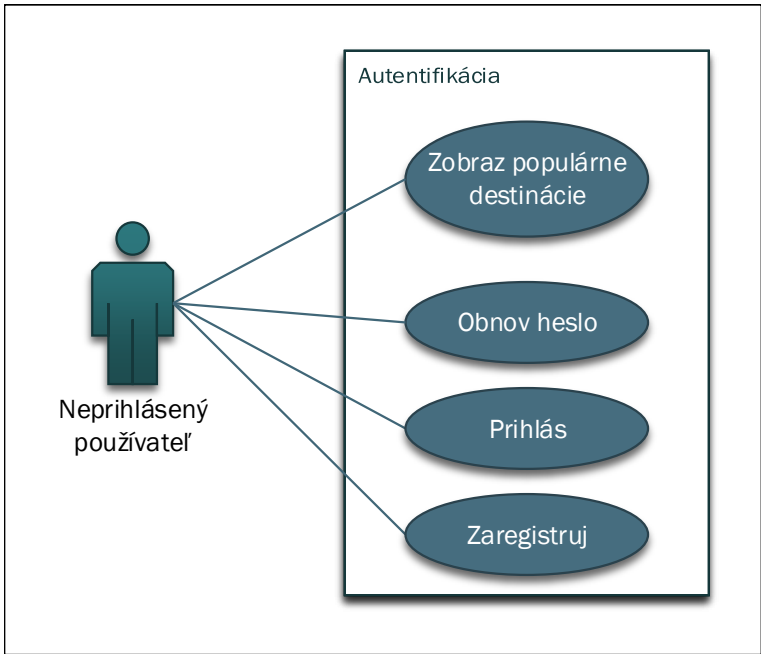
3 Návrh

V tejto kapitole si priblížime proces návrhu našej aplikácie, popíšeme prípady použitia ktoré pre našu aplikáciu očakávame. Ďalej priblížime návrh štruktúry databázy, ktorú plánujeme implementovať.

3.1 Prípady použitia

Prípady použitia popisujú interakcie medzi aplikáciou a používateľom, popisujú roly, ktoré rôzny aktéri hrajú v týchto interakciách.

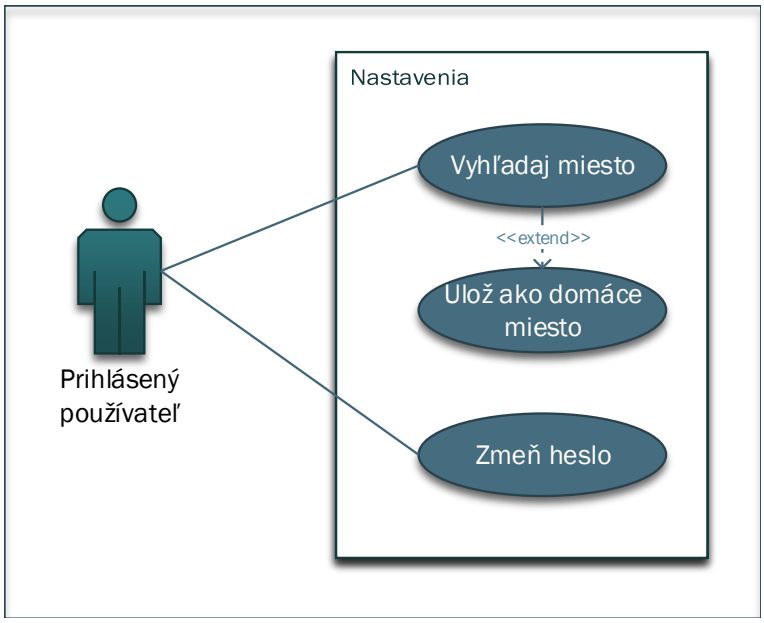
1. V prvom prípade použitia (obrázok č. 3) si bude môcť neprihlásený používateľ prezerať mapu a zoznam najpopulárnejších destinácií v našej aplikácií, ďalej sa môže prihlásiť zaregistrovať a požiadať o obnovu hesla.



Obrázok 3: Prípad použitia - Registrácia, autentifikácia a nastavenia

2. V druhom prípade použitia (obrázok č. 4) opisujeme nastavenia. Používateľ si bude môcť vyhľadať destináciu a zvoliť si ju ako svoje domáce miesto alebo si zmeniť heslo.

3. Tretí prípad použitia (obrázok č. 5) opisuje akcie ktoré bude môcť používateľ vykonávať na hlavnej stránke. Bude môcť vyhľadávať destinácie a pridávať si ich do obľúbených. Destinácie ktoré má v obľúbených bude môcť mazať a zobraziť detaily



Obrázok 4: Prípad použitia - Registrácia, autentifikácia a nastavenia

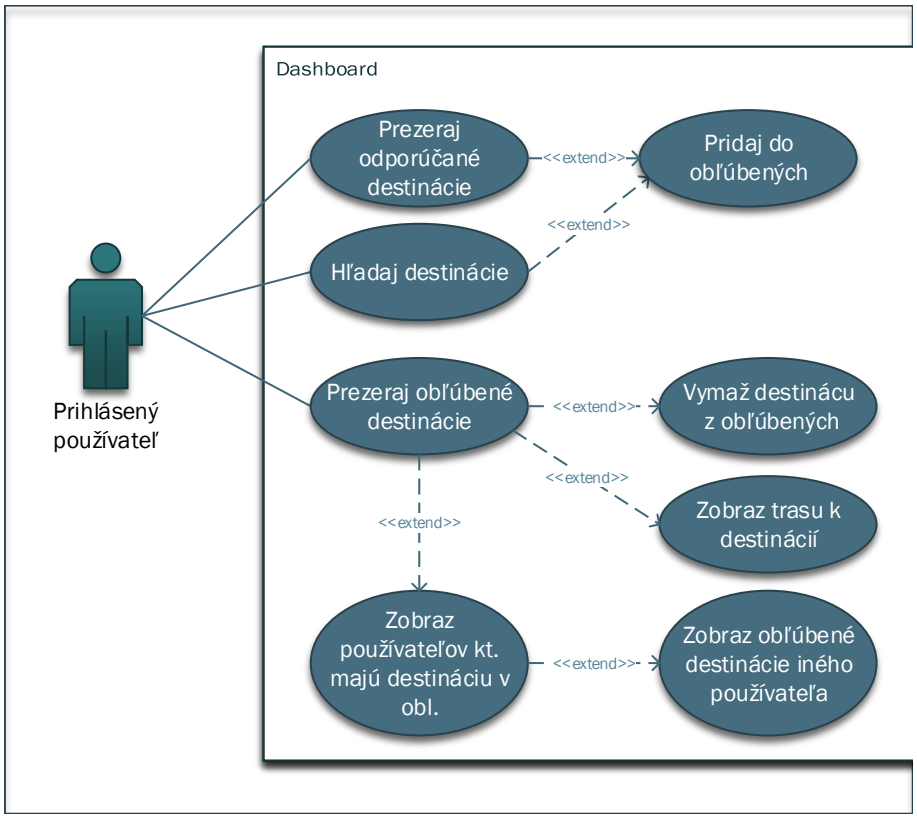
trasy, ktorá k destinácií vedie. Ďalej si bude môcť prezerať ostatných používateľov ktorý majú rovnaké miesto v obľúbených a prejsť na zoznam obľúbených destinácií jedného s týchto používateľov.

4. Posledný prípad použitia (obrázok č. 6) popisuje obrazovku TSP. Na tejto obrazovke bude môcť používateľ prezerať svoju mapu optimálnej cestovateľskej trasy, pridávať a odoberať z trasy destinácie zo zoznamu obľúbených.

3.2 Štruktúra databázy

V našej databáze sa budú nachádzať dve hlavné entity: entita používateľa *appUser* a entita destinácie *appPlace*. Entita používateľa bude obsahovať iba základné atribúty ako meno a atribúty potrebné pre autentifikáciu používateľa email, a heslo. Entita destinácie bude obsahovať atribúty potrebné na identifikáciu tejto destinácie: unikátny názov a krátky názov vhodný na zobrazovanie a atribúty potrebné na lokalizáciu destinácie: zemepisná šírka a zemepisná dĺžka.

Ďalej bude naša databáza obsahovať hrany: trasa *ROUTES*, obľúbené *FOLLOWS*, a zoznam pre optimalizáciu trasy *TSP*. Hrana trasy bude vždy viesť od jedného miesta k druhému reprezentuje zoznam trás ktoré budú viesť od jednej destinácie k druhej. Bude obsahovať atribút *minPrice* hovoriaci o cene najlacnejšej trasy medzi spomínanými destináciami a tribút *routes* obsahujúci serializované detaily všetkých trás. Hrany *FOLLOWS* a *TSP* budú vždy smerovať od používateľa k destinácií a nebudú obsahovať žiadne



Obrázok 5: Prípad použitia - dashboard

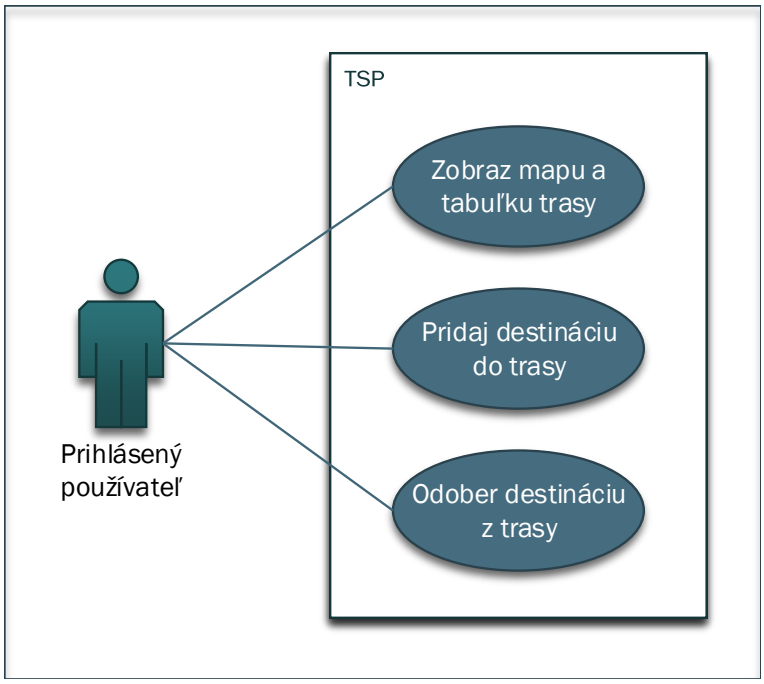
atribúty.

Na obrázku č. 7 vidíme UML diagram štruktúry našej databázy.

Na obrázku č. 8 vidíme reprezentáciu dát uložených v našej databáze. Používateľ *user 3* má ako domáce miesto (HOME) nastavené mesto *Bratislava*, v obľúbených destináciách (FOLLOWS) má mestá *Praha*, *Košice* a *Budapešť*, systém pridal hranu *ROUTES* smerom od domáceho miesta používateľa k cieľovým miestam. Používateľ má tiež pridané mestá *Budapešť* a *Košice* na zozname optimalizácie takže sme pridali hranu *TSP*.

3.3 Štruktúra aplikácie

Aplikácia bude implementované podľa vývojového vzoru MVC. Bude obsahovať dve modelové triedy, jednu pre používateľov a jednu pre destinácie. Časť kontroléra bude obsahovať tri triedy. Každá trieda bude obsluhovať dopyty jednej podstránky aplikácie. Podstránky sú nasledovné: domáca obrazovka, obrazovka nastavení, a obrazovka pre optimalizáciu trasy. Zobrazovanie dynamického obsahu bude implementované pomocou JavaScript šablón a knižnice na zobrazenie máp. Dáta na zobrazenie budú poskytované pomocou API našej aplikácie.



Obrázok 6: Prípad použitia - tsp

4 Implementácia

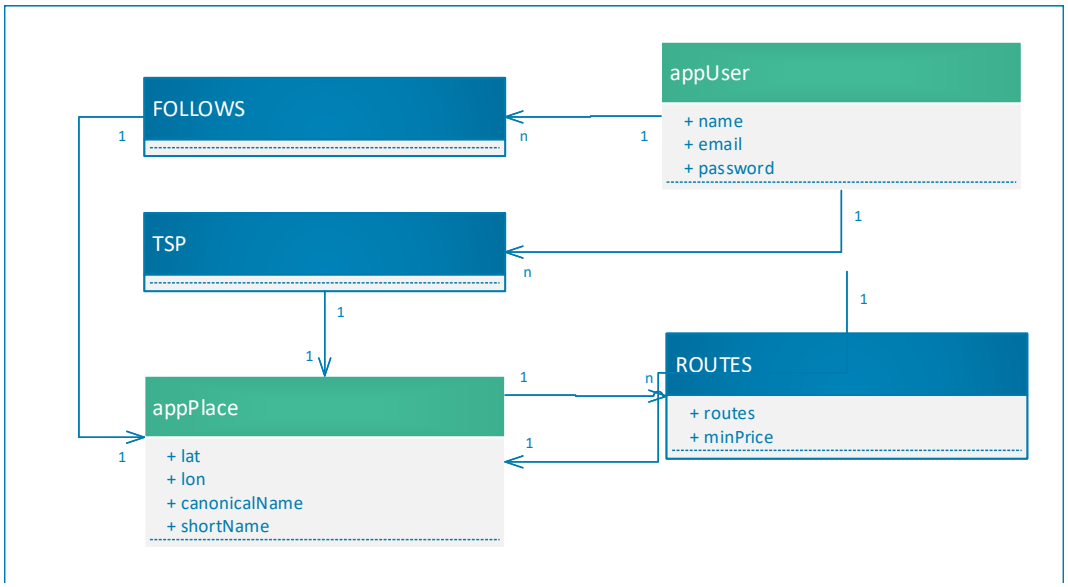
V tejto kapitole si priblížime proces implementácie aplikácie. Najprv si opíšeme niektoré z použitých technológii, následne opíšeme proces inštalácie a konfigurácie frameworku Laravel a databázy Neo4J. Ďalej opíšeme proces našej implementácie aplikácie s pomocou NeoEloquent OGM a pomocou Neo4J PHP Client. Ďalej opíšeme postup našej implementácie optimalízácie trasy. na koniec opíšeme implementáciu získavania informácií z API Rome2Rio a našu implementáciu používateľského rozhrania pomocou Mapbox.js a Handlebars.js.

4.1 Použité technológie

v tejto kapitole si priblížime niektoré z technológií ktoré sme využili na implementáciu našej aplikácie. V skrate opíšeme na čo konkrétna technológia slúži, jej históriu a licenciu pod ktorou je vydávaná.

4.1.1 Laravel framework

Laravel je open source framework pre aplikácie v jazyku PHP. Laravel je od roku 2011 vyvíjaný Taylorom Otwellom ako framework určený na stavbu webových aplikácií s vývojovým vzorom MVC. Niektoré funkcie sú implementované ako zásuvné moduly, ktoré sa inštalujú pomocou s vlastného správcu závislostí. Laravel je orientovaný na to, aby vývoj



Obrázok 7: Štruktúra databázy

v ňom bol syntakticky čo najprehľadnejší a najjednoduchší. Toto je jeden z dôvodov prečo patrí od roku 2015 k najpopulárnejším PHP frameworkom. Kód frameworku je voľne dostupný pod licenciou MIT.

4.1.2 NeoEloquent OGM

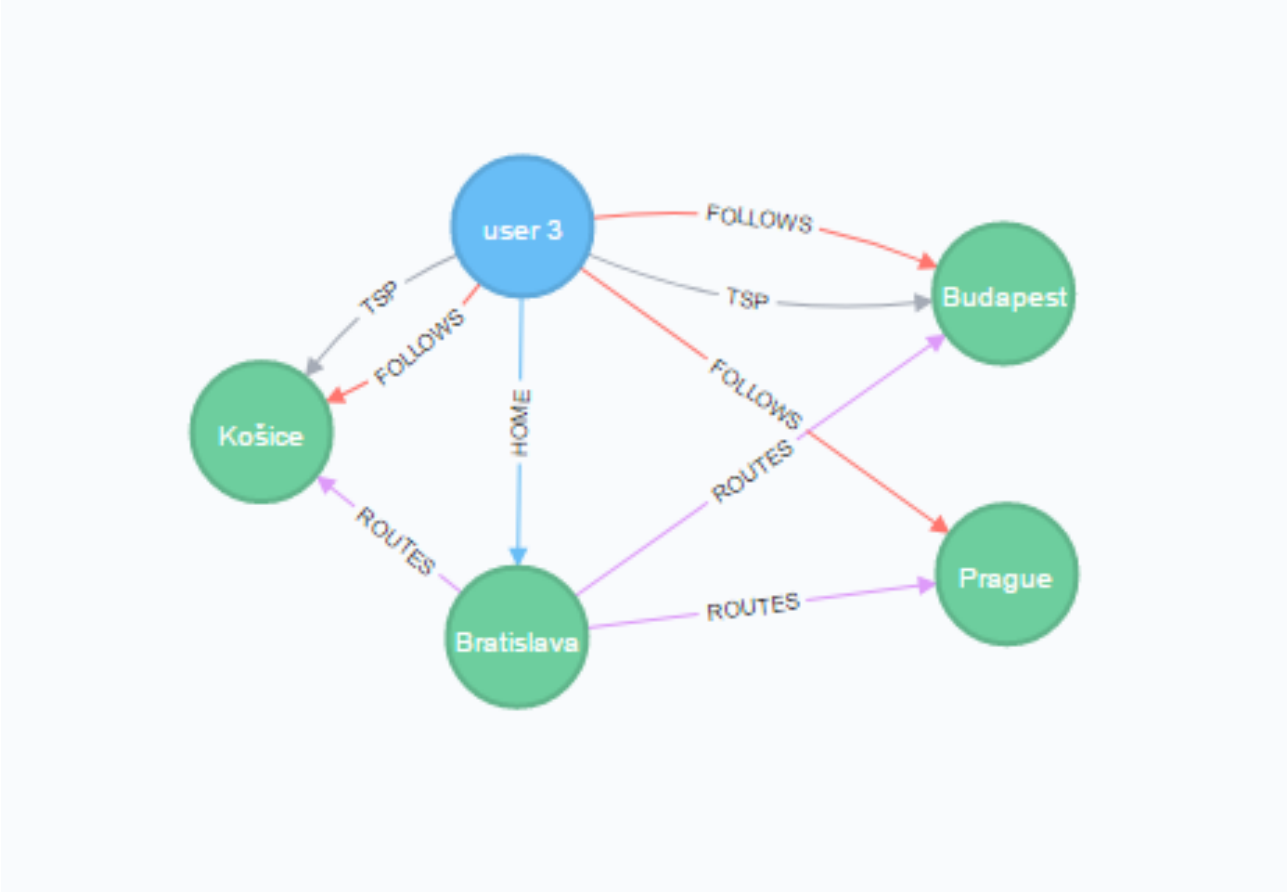
NeoEloquent OGM je voľne šíriteľná knižnica, ktorá umožňuje využívať grafovú databázu Neo4J spolu s existujúcim dátovým modelom vo frameworku Laravel. Štruktúra NeoEloquent je modelovaná podľa natívneho Eloquent Modelu Laravel. Knižnica je vydávaná od roku 2014 pod licenciou MIT spoločnosťou Vinelab

4.1.3 GraphAware Neo4j PHP Client

Neo4j PHP Client je klientská knižnica pre databázu Neo4J. Na rozdiel od OGM je táto schopná vykonávať programátorky zadané dopyty, poskytuje tým pádom prístup k plnému rozsahu Cypher API databázy Neo4j. Knižnica je vyvíjané partnerskou firmou Neo Technology, firmou GraphAware od roku 2014. Je vydávaná pod licenciou MIT.

4.1.4 Mapbox.js

Mapbox.js je knižnica na vytváranie projektov s interaktívnymi mapami. Je založená na voľne šíriteľnej knižnici Leaflet vyvíjanou Vladimírom Agafonkinom, rozširuje túto knižnicu o funkcie ako automatické zoskupovanie bodov do skupín a poskytuje prehľadnú dokumentáciu. Knižnica samotná je voľne šíriteľná pod BSD licenciou, avšak obrázky s mapami sú poskytované firmou Mapbox a vo verzií zadarmo je knižnica obmedzená na



Obrázok 8: Príklad dát v databáze

päťdesiattisíc zobrazení na mesiac.

Túto knižnicu postupne nahrádza Mapbox-gl.js vyvíjaná tou istou firmou, ktorá využíva technológiu WebGL na lepšiu akceleráciu vykresľovania vektorových máp, no v čase začiatku projektu táto knižnica ešte nepodporovala vyššie spomenuté zoskupovanie bodov.

4.1.5 Handlebars.js

Handlebars.js je jednoduchá silná open source knižnica na prácu z šablónami, vyvíjaná je Yehudom Katzom a komunitou na GitHube od roku 2010 a vydávaná pod licenciou MIT.

4.1.6 Rome2Rio Api

Rome2Rio je portál ktorý zbiera údaje o cenách dopravy po celom svete a umožňuje vyhľadať cenu cesty medzi dvomi ľubovoľnými destináciami. Rome2Rio taktiež poskytuje niekoľko otvorených a platených API. My využívame dve z nich: Search API a Autocomplete API. Autocomplete API slúži na vyhľadávanie destinácií z databázy rome2rio a nie

je obmedzené na počet volaní. Search API slúži na vyhľadávanie trás medzi jednotlivými destináciami, je potrebné sa identifikovať API kľúčom a je obmedzené na 100 000 volaní za mesiac.

4.2 Inštalácia a konfigurácia Laravel Framework-u

Na inštaláciu frameworku Laravel sme použili nástroj pre správu PHP balíkov *Composer*. Pomocou tohto nástroja sme nainštalovali balík *laravel/installer* [7], následne sme požitím príkazu *laravel new projekt* vytvorili priečinok so základnou inštaláciou frameworku.

Jediné nastavanie ktoré bolo po tom potrebné bolo už len nastavenie názvu aplikácie, a databázy, o tom ďalej v sekcii 4.3.

4.3 Inštalácia a konfigurácia databázy Neo4J

Aby sme mohli nainštalovať databázu Neo4j musíme si najprv do systému pridať repozitár Neo Technology, potom je nám k dispozícií na inštaláciu balík Neo4J. Po inštalácií je nám ihneď dostupné administračné rozhranie databázy na adrese: *localhost:7474*. Pri prvom prihasení sme vyzvaní na zmenu hesla.

Keďže základná inštalácia frameworku Laravel neobsahuje ovládač pre databázu Neo4J museli sme použiť ovládač integrovaný v balíku NeoEloquent, to sa registráciou poskytovateľa služby. Po zaregistrovaní služby NeoEloquentServiceProvider sa automaticky zaregistruje ovládač pre databázu a pridajú sa nové možnosti pre konfiguráciu databázy. Následne stačí vykonať štandardnú konfiguráciu mena hostiteľa, port a prístupových údajov.

Na získanie vzdialeného prístupu k administračnému rozhraniu databázy bez otvorenia portu 7474 verejnosti využívame SSH tunel. Administračné rozhranie používa okrem portu 7474 ešte port 7687 lebo na komunikáciu s databázou využíva technológiu WebScoket.

4.4 Implementácia pomocou OGM

Keďže framework Laravel natívne obsahuje len ovládače pre relačné databázové ovládače a nástroj na objektovo relačné mapovanie Eloquent Použili sme open source knižnicu NeoEloquent, ktorý obsahuje ovládač pre databázu Neo4J a zároveň rozširuje dátový model o prvky grafovej databázy. NeoEloquent umožňuje manipuláciu s vrcholmi aj hranami v Neo4J. Manipulácia s vrcholmi je rovnaká ako s entitami v relačnej databáze, NeoEloquent umožňuje vytvárať perzistentné objekty, upravovať ich a vyhľadávať v nich. Pri práca s hranami je mierne odlišná. Najprv treba zadefinovať ktorý objekt môže mať aké vzťahy, tieto vzťahy treba unikátne identifikovať ich značkou a kardinalitou. Tento

vzťah vraciame ako návratovú hodnotu funkcie daného objektu. Vrátený objekt sa správa podobne ako štandardná entitná trieda Eloquent.

Knižnicu sme nainštalovali pomocou správcu balíkov *composer* pomocou príkazu *composer require vinelab/neoeloquent*.

V nasledujúcom príklade 3 vidíme implementáciu dvoch rôznych entitných tried. Trieda požívateľa dedí od triedy NeoEloquent a teda sa stáva naviazanou na vrchol v našej databáze. Názov tejto entity v databáze je spojením menového priestoru v ktorom bol vytvorený a názvu triedy, takže v našom prípade AppUser. Trieda obsahuje verejné funkcie, ktoré vracajú objekty hrán. Objekty hrán dostávame volaním zdedených funkcii hasMany, hasOne a belongToMany. Ako prvý argument funkcie berú názov triedy ktorou vzťah chceme vrátiť, ako druhý argument berie typ hrany, pomocou tohto typu je identifikovaná značka hrany v databáze.

Po spustení aplikácie a zadaní prvých dát sa v databáze vytvorili vrcholy a hrany podľa modelu ktorý sme si zadefinovali v kapitole 3.2, vizualizáciu dát môžeme vidieť na obrázku 8.

Trieda NeoEloquent funguje vo väčšine prípadov presne ako Eloquent no v jednom prípade sme mali problém z CSRF tokenmi. CSRF token je bezpečnostný prvok, ktorý ochraňuje webovú stránku pred útokom falšovania požiadaviek z inej adresy. Laravel má tento bezpečnostný prvok vstavaný v sebe, je to 40 znakový reťazec, ktorý sa generuje každému používateľovi pri zobrazení formulára, tento istý reťazec sa zároveň uloží do databázy a keď Laravel príjme formulár overí či sa jeho token nachádza v databáze. Táto funkcionalita však po prejdení na grafovú databázu nefungovala. Pri každom odoslaní formulára vyhlasovalo nezhodu CSRIF tokenu a v databáze sa neobjavila entita ktorá by tieto tokeny mohla obsahovať. Tento problém sme zatiaľ obišli deaktiváciou tohto bezpečnostného prvku.

Ďalší problém na ktorý sme narazili počas implementácie bol problém kompatibility knižnice NeoEloquent verzie 1.4 s databázou Neo4J vo verzii 5.2. Pri ukladaní nového vrcholu vždy nastala chyba. Bolo potrebné znížiť verziu databázy.

4.5 Autetifikácia

Jednou zo silných stránok Frameworku Laravel je práve autentifikácia. Pre vytvorenie základnej funkcionality registrácie, prihlasovania a obnovenia zabudnutého hesla stačí použiť Artisan - konzolu frameworku príkaz *php artisan make:auth* , ktorá vytvorí URL cesty, obrazovky, triedu používateľa a triedy obsluhujúce túto funkcionalitu. My sme potrebovali použiť vlastnú triedu používateľa, ktorá dedí od nášho balíka NeoEloquent,

Algoritmus 2 Ukážka triedy neoEoquent

```
1  namespace App;
2
3  class User extends \NeoEloquent implements Authenticatable {
4
5          // Jeden používateľ môže mať v obľúbených viac miest
6          public function follows() {
7                  return $this->hasMany('App\Place', 'FOLLOWS');
8          }
9
10         // Jeden používateľ má jedno miesto ako domáce
11         public function home() {
12                 return $this->hasOne('App\Place', 'HOME');
13         }
14 ...
15 }
16
17 ...
18 class Place extends \NeoEloquent {
19         // Inverzný vzťah - jedno miesto má v obľúbených viac používateľov
20         public function followers(){
21                 return $this->belongsToMany('App\User','FOLLOWS');
22         }
23 ...
24 }
```

na implementáciu autentifikácie stačilo implementovať rozhranie Authenticatable, pridať do triedy používateľa pole skrytých a verejných atribútov, a použiť charakteristiku 'AuthenticableTrait' a autentifikácia fungovala rovnako ako s relačnou databázou vďaka tomu, že NeoEloquent implementuje podobnú funkcionalitu ako natívne ORM Eloquent.

Algoritmus 3 Ukážka autentifikovateľnej triedy

```
1
2  namespace App;
3
4  use Illuminate\Contracts\Auth\Authenticatable;
5  use Illuminate\Auth\Authenticatable as AuthenticableTrait;
6
7  class User extends \NeoEloquent implements Authenticatable {
8
9          use AuthenticableTrait;
10
11         // pole verejných atribútov
12         protected $fillable = [
13                 'name', 'email', 'password', 'tspCache'
14         ];
15
16         // pole skrytých atribútov
17         protected $hidden = [
18                 'password', 'remember_token',
19         ];
20         ...
21 }
```

4.6 Databázové dopyty pomocou OGM

API pre získanie dát na zobrazenie zoznamu obľúbených destinácií sme v prvej verzii implementovali pomocou OGM. Na príklade algoritmu č. 4 vidíme pseudokód tohto prístupu. Najprv naša PHP funkcia urobila dopyt na všetky miesta, ktoré má používateľ v obľúbených potom v cykle prešla všetky výsledky a pre každú destináciu poslala dopyt na trasu medzi domácim miesto ma touto destináciou. Ďalej poslala dopyt na získanie všetkých používateľov ktorý majú destináciu tiež v obľúbených.

Pri testovaní rýchlosti sme zistili, že pri takomto prístupe priemerná latencia nášho

API vzrástla až na 1,857 sekundy pri 200 položkách na zozname. Tento nárast latencie pripisujeme réžií ktorú si vyžaduje diskrétne volaní funkcii OGM v každom cykle. Ďalej sa testovaniu rýchlosti venujeme v kapitole **??**.

Algoritmus 4 Pseudokód algoritmu na získavanie dát pre zoznam obľúbených destinácií pomocou OGM

```
1  používateľ = dopytPoužívateľOGM()
2  destinácie = používateľ->dopytOblubeneOGM()
3  domov = používateľ->dopytdomovOGM()
4
5  výsledok = []
6  FOR každú destinácia z destinácie
7          trasa = domov->dopytTrasaOGM(destinácia)
8          ľudia = destinácia->dopytLudiaOGM()
9
10 výsledok << destinácia, trasa, ľudia
11 ENDFOR
```

4.7 Databázové dopyty pomocou Cypher klienta

Aby sme sa vyhli problému z kapitoly **??** rozhodli sme sa implementovať dopyty na väčšie dátové sady pomocou jedného dopytu v jazyku Cypher. Na vykonanie priameho dopytu sme použili knižnicu *PHP Neo4J Client*. Táto knižnica vykonáva dopyty v jazyku Cypher a teda nám poskytuje priamy prístup k Cypher API databázy. Na príklade 5 je dotaz ktorý nahradzuje celú funkcionalitu kódu z príkladu 4. Dopyt pozostáva vykoná nasledovné úkony (po riadkoch):

1. Získa vrchol typu AppUser s ID = 1 a uložení ho do premennej user, ďalej získa všetkých vrcholov ku ktorým z vrcholu user vedie hrana typu FOLLOWS a uloží ich do premennej dest.

2. Získa vrchol ku ktorému vedie hrana typu home od vrcholu user a uloží ho do premennej home.

3. Získa všetky hrany, ktoré vedú od vrcholu home do jednotlivých vrcholov v premennej dest.

4. Získa všetky vrcholy od ktorých vedie hrana typu FOLLOWS k všetkým vrcholom

v premennej dest, keďže aj vrchol user má hranu FOLLOWS do každého vrcholu v dest, vynechá vrchol user z výberu.

5. Definuje formát výstupu.

Po vykonaní dopytu sa nám vráti výstup vo forme tabuľky obdobnej ako pri vykonaní JOIN príkazu v relačnej databáze. Keďže sme na jeden dopyt získali všetky informácie, ktoré potrebujeme na zobrazenie tabuľky nepotrebujeme vykonávať už žiadne ďalšie dopyty. Tento prístup znížil priemernú latenciu nášho API na 37% (695,7ms) oproti prístupu pomocou OGM z kapitoly **??**

Algoritmus 5 Dopyt na dáta pre zoznam obľúbených destinácií v jazyku Cypher

```
1 MATCH (user:AppUser)-[:FOLLOWS]->(dest) WHERE id(user)=1
2 MATCH (user)-[:HOME]->(home)
3 MATCH (home)-[route:ROUTES]->(dest)
4 MATCH (follower:AppUser)-[:FOLLOWS]->(dest) WHERE follower <> user
5 RETURN dest, route, follower ;
```

4.8 Implementácia optimalizácie trasy

V aplikácií sa nachádza obrazovka, na ktorej si môže používateľ vybrať destinácie, pre ktoré by chcel vyrátať trasu optimálnu vzhľadom na cenu. Táto trasa bude začínať v domovskej lokácií používateľa, prejde všetkými vybranými destináciami práve raz a vráti sa späť do domácej lokácie. Toto je klasický prípad NP-kompletného problému pocestného obchodníka (ďalej TSP).

Pre jednoduchosť a spoľahlivosť sme implementovali prístup rekurzívneho prehľadania všetkých možnosti trás. Implementovali sme rekurzívnu funkciu v PHP, ktorá prejde všetkými možnými trasami medzi našimi destináciami a vyberie prechod grafom, ktorý je optimálny vzhľadom na cenu celkovej trasy. Do argumentu naša funkcia berie východzie miesto, zoznam destinácií ktoré ešte neprehľadala a domáce miesto do ktorého sa má nakoniec vrátiť. V každom vnorení sa zoznam neprehľadaných vrcholov zmenšuje. Vyššie spomenuté argumenty sú perzistentné objekty resp. polia inštancií perzistentnej triedy *Place*.

Keď sa táto funkcia dopytuje na cenu trasy vedúcej z východzieho vrcholu do cieľového zavolá ktorá dá dopyt na našu databázu, ak sa táto trasa nenachádza v databáze vypýta si údaje o konkrétnej trase od API Rome2Rio. Keďže každý dopyt na API trvá cca 200ms prvé volanie pri väčšej trase trvá niekoľko násobne dlhšie ako každé nasledujúce.

Aj po načítaní všetkých potrebných trás však bolo naše riešenie príliš pomalé, pri siedmych miestach už trvalo výpočet TSP až 7 minút. Toto bolo spôsobené tým, že naša funkcia, ktorá počíta s výpočtovou komplexitou $O(n!)$ beží na vrstve PHP a pri každom volaní funkcie invokuje knižnicu NeoEloquent a dopytuje sa na hranu medzi dvoma destináciami. Keď funkcia v takomto režime bežala videli sme, že proces Neo4J konzistentné bral cca 30% z procesorového času. Z tohto dôvodu sme naimplementovali cache na dopyt k databáze a priemerný čas sa znížil na 80 sekúnd.

Naša implementácia front-endu vyžaduje dva dopyty na náš server, jeden na zobrazenie mapy a druhý na zobrazenie tabuľky s výsledkami, z tohto dôvodu sme pridali ešte jeden level cache na celé volanie funkcie pre rátanie TSP. Taktiež sme upravili implementáciu front-endu tak, aby sa tieto dva dopyty vykonali vždy synchrónne za sebou. Týmto sme znížili nároky na výpočtové kapacity nášho serveru.

Dlhý čas výpočtu pri dopytovaní sa na databázu pripisujeme tomu, že naše dopyty na databázu boli diskrétne pri každom vnorení funkcie. Aj keď sme používali perzistentné objekty implementácia každého dopytu NeoEloquent pozostáva z jedného dopytu v jazyku Cypher na databázu toto volanie obsahuje vyhľadanie začiatočného a konečného bodu podľa id $O(log(n))$ a následne vyhľadanie hrany $O(1)$. Tento prístup nevyužíva hlavnú výhodu grafovej databázy, no s použitím NeoEloquent nie je možné postaviť komplexný dopyt, ktorý by vedel vyriešiť TSP za jeden beh. Takýto dopyt je v Neo4J možné implementovať pomocou dopytovacieho jazyka Cypher príklad takéhoto dopytu môžeme vidieť na algoritme 6. Tento dopyt sme však neimplementovali, kvôli jeho komplexite a faktu, že oproti našej funkcii v PHP neposkytuje lepšiu teoretickú výpočtovú zložitosť.

Algoritmus 6 Ukážka riešenia TSP pomocou dopytovacieho jazyka Cypher

```
1 MATCH (from:Node {name: "Source node" })
2 MATCH path = (from)-[:CONNECTED_TO*6]->()
3 WHERE ALL(n in nodes(path) WHERE 1 = length(filter(m in nodes(path) WHERE n
4 AND length(nodes(path)) = 7
5 RETURN path,
6 reduce(distance = 0, edge in relationships(path) | distance + edge.distance
7 AS totalDistance
8 ORDER BY totalDistance ASC
9 LIMIT 1
```

4.9 Rome2rio API

Všetky údaje o destináciách a trasách berieme z API Rome2Rio. Pomocou Autocomplete API umožňujeme používateľovi pridávať destinácie. Používateľ zadáva písmená do autocomplete textového poľa na stránke toto pole posiela dotazy na Autocomplete API a ono vracia pole objektov s miestami. Tieto objekty obsahujú informácie o type destinácie(obec, mesto, región, štát, letisko,), geografickú polohu, názov v dlhom a krátkom tvare a kanonický názov. Používateľ si potom vyberie jenu z destinácií a príslušný objekt sa zašle na náš server. Na unikátnu identifikáciu objektu používame kanonický názov, ktoré je podľa dokumentácie unikátnym identifikátorom miesta.

Ak destináciu ešte nemáme v databáze, pridáme tento objekt do databázy. Toto riešenie nie je úplne ideálne z bezpečnostného hľadiska, lebo umožňuje zaslanie falošného miesta do našej databázy. AK by útočník vyrobil objekt s reálnym kanonickým názvom no falošnými údajmi napr. o zemepisnej šírke, dĺžke toto miesto by sa potom nesprávne zobrazovalo všetkým používateľom. Na vyriešenie tohto problému by postačilo urobiť ešte jeden dotaz z nášho servera na autocomplete API ktorým by sme si len vypýtali údaje k miestu za pomoci kanonického názvu.

Ďalšie údaje berieme z Rome2Rio Search API. Sú to údaje o možných trasách a ich cenách. Toto API je obmedzené na poet volaní preto sme na volanie toho API implementovali pamäť cache. Vždy keď voláme Search API voláme ho na dve miesta ,ktoré už máme uložené v našej databáze ako vrcholy. Tento fakt sme využili a vytvorili sme ďalší typ hrany - CACHE. Keďže pri mestách ktoré sú dopravné uzly vystúpila veľkosť odpovede API až na rádovo 500kb a tento typ dopytu sa nerobí veľmi často rozhodli sme sa odpoveď servera neukladať priamo do databázy ale v nezmenenej podobe na disk a do databázy uložiť len vek cache súboru a referenciu na súbor na disku. Keďže v momentálnej podobe nevyužívame celú odpoveď tohto API mohli by sme optimalizovať využitie miesta na disku tým, že by sme najprv údaje zapracovali a uložili len tie, ktoré využívame.

Pri testovaní sme zistili, že pri niektorých trasách API vrátilo niektoré z trás s nulovou cenou. Tieto trasy sme ignorovali.

4.10 Vykresľovanie máp

Na vizualizáciu destinácií a trás sme na rôznych miestach a aplikácií použili javascriptovú knižnicu Mapbox.js.

Keďže Mapbox.js rozširuje knižnicu Leaflet, všetky funkcie knižnice sa volajú z globálneho objektu *L*. Táto funkcia sa zavolá po načítaní stránky. Keďže sa mapy Mapbox.js sa sťahujú z CDN Mapbox musíme najprv aplikáciu identifikovať API kľúčom, ktorý sme

si vygenerovali po registrácií. Následne inicializujeme samotnú mapu volaním funkcie *L.mapbox.map*. Táto funkcia berie ako prvý parameter id HTML elementu, do ktorého sa má mapa zobraziť, ako druhý parameter berie textový identifikátor typu mapy, ktorý chceme zobraziť. Po inicializácií sa vytvorí vrstva pre mapu ktorá bude obsahovať markery destinácií. Dáta ktoré obsahujú geografickú polohu destinácií sa vyžiadajú vo formáte GeoJson z API našej aplikácie. Keďže pri malom priblížení mapy by sa nedali zreteľne rozlíšiť destinácie ktoré sú blízko pri sebe, po načítaní dát vytvoríme vrstvu klasterov pomocou funkcie *L.MarkerClusterGroup*. Táto vrstva spojí blízke body do klasterov, následne skryje značky týchto bodov a nahradí ich značkou klasteru. Na pridanie bodov do klasterov sa iteruje cez všetky body, ktoré sú po načítaní v mape a každý sa pridá do vrstvy klasterov. Následne sa vrstva klasterov pridá do objektu mapy. Výsledok môžeme vidieť na obrázku 9. Ako zdrojový formát dát pre všetky mapy v našej aplikácií používame štandardný formát GeoJson. GeoJson je dátová štruktúra zakódovaná do formátu JSON obsahujúca informácie potrebné na vykresľovanie kartografických veličín. V našej implementácií používame nasledovnú štruktúru GeoJson objektu. Hlavný objekt GeoJson obsahuje typ, u nás *FeatureCollection*, a pole objektov typu *Feature*. Každý z týchto objektov obsahuje pole koordinátov, a objekt dodatočných atribútov slúžiacich na upresnenie vizuálu vykresleného objektu. nané pole koordinátov nám spôsobovalo mierne nedorozumenia, lebo v číslovanom poli je ako prvý prvok je uložená zemepisná dĺžka (longitude) a ako druhý zemepisná šírka (latitude) [4], čo je presne opačne ako všetky ostatné API ktoré sme používali.

4.11 Vykresľovanie tabuliek

Aby sme zlepšili UX stránky rozhodli sme sa na vykresľovanie dynamického obsahu využiť namiesto HTML obsahu renderovaného na serveri javascriptovú knižnicu na prácu so šablónami a, dynamický obsah načítavame z API našej aplikácie vo formáte JSON. Na vykresľovanie dynamického obsahu sme zvolili knižnicu Handlebars.js.

Najprv je zadeklarovaná premenná v *template* ktorá bude neskôr obsahovať funkciu renderujúcu šablónu. Potom je zadeklarovaná funkcia *refreshPage*, ktorá bude volaná vždy, keď nejaká funkcia spustí event s menom *appRefresh*. Táto funkcia využije AJAX API knižnice jQuery a stiahne potrebné dáta, potom využije funkciu *template*, ktorá do argumentu berie dáta vo forme poľa objektov a vracia vygenerované HTML ktoré sa následne vkladá na stránku.

V druhej časti kódu sa najprv zavolá funkcia *Handlebars.compile* do argumentu zoberie šablónu ktorá je uložená v elemente s id *places-template*. Ako návratovú hod-

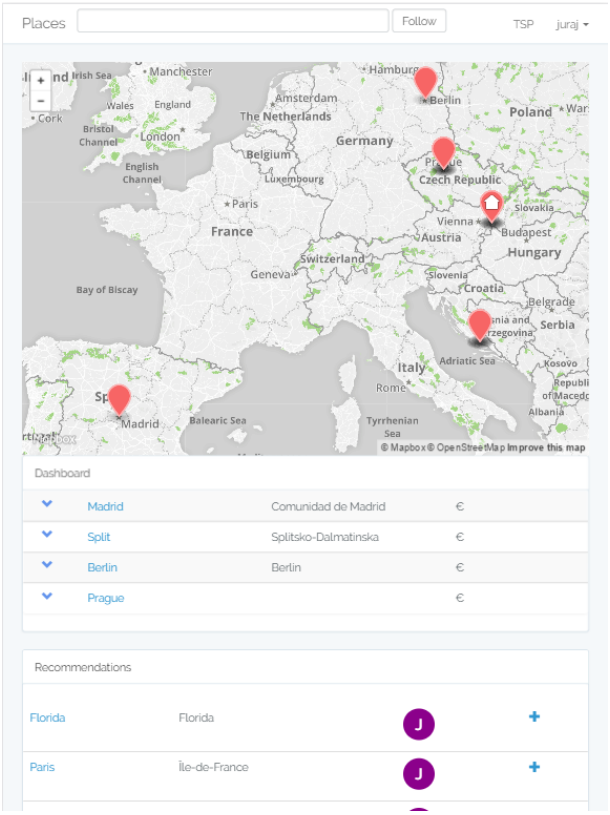
notu vráti funkciu, ktorú uložíme pod menom *template*. Následne sa na event *appRefresh* naviaže volanie funkcie *refreshPage* a prvý krát sa spustí tento event.

Naša šablóna *places-template* obsahuje aj aktívne linky a v nasledujúcom bloku je príklad implementácie vymazania miesta z obľúbených. Na generálny event *click* je naviazaný filtrovaný event, ktorý spustí AJAX dotaz na vymazanie miesta z obľúbených ak element ktorý event spustil obsahuje triedu *delete* a atribút *data-id*.

4.12 Používateľské rozhranie

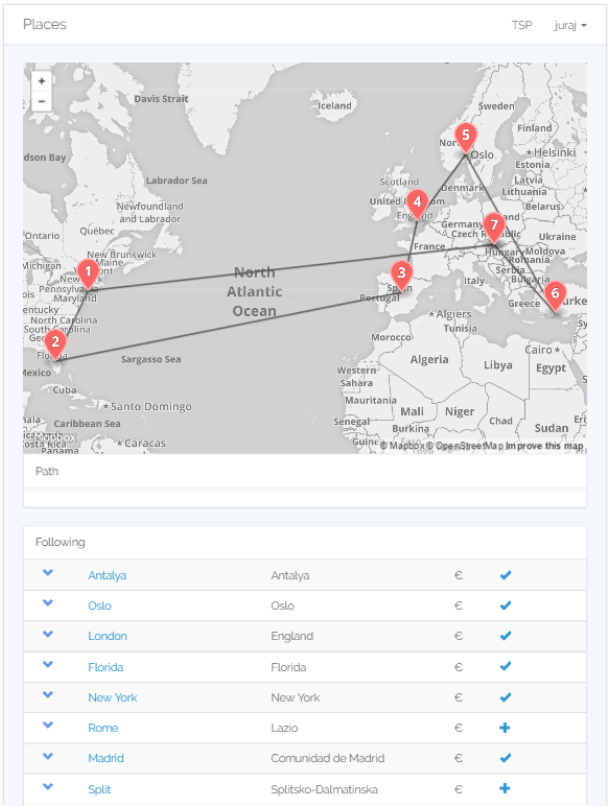
Používateľské rozhranie je implementované pomocou HTML, CSS a JavaScript. Použili sme CSS framework Bootstrap pre zabezpečenie responzivity a konzisteného výzoru a UX aplikácie. Vo vrchnej časti rozhrania sa vždy nachádza navigačný panel.

Na hlavnej obrazovke (obrázok č.9) je v navigačnom paneli pridané textové pole na pridávanie destinácií na zoznam obľúbených. V hlavnej časti aplikácie sa nachádza mapa vyobrazenými destináciami zo zoznamu, ďalej tabuľka s destináciami, kde si môže používateľ rozbaliť detaily konkrétnej destinácie alebo ju zmazať a tabuľka s odporúčanými destináciami ktoré si môže používateľ pridať do svojho zoznamu.



Obrázok 9: Ukážka hlavnej obrazovky používateľa

Na obrazovke TSP (obrázok č.10) sa nachádza mapa s reprezentáciou optimálnej trasy, na mape sú značky pospájané priamkami očíslované podľa poradia v akom ich má používateľ navštíviť na dosiahnutie optimálnych nákladov. Nižšie je tabuľka s podrobnejším opisom trasy s vymenovanými spôsobmi dopravy. V spodnej časti stránky je zoznam obľúbených destinácií, z ktorých môže destinácie pridávať a odoberať zo zoznamu na optimalizáciu.



Obrázok 10: Ukážka obrazovky TSP

Na obrazovke Nastavní sa nacháda mapa, ktorá vyobrazuje aktuálne domáce miesto používateľa, pod ňou sa nachádza textové pole, pomocouk torého môže používateľ vyhľadať a nastaviť domáce miesto. V spodnej časti obrazovnky nastavní je sekcia kde si môže používateľ zmeniť heslo.

5 Výsledky práce

V tejto kapitole sa nachádzajú výsledky testovania, ktroé sme v rámci projektu vykonávali, dalej zhodnotíme

5.1 Testovanie

Všetky testy sme vykonávali na našom serveri s Ubuntu 16.04.2 LTS S jedným virtuálnym jadrom a 4GB RAM. Testovali sme na databáze Neo4j Community verzie 3.1.4 a na databáze MYSQL verzie 5.7.18, tabuľky boli uložené pomocou InnoDB. Pri testovaní rýchlosti naša aplikácia bežala na serveri Apache verzie 2.4.18 s intepretétom PHP verzie 7.0.15.

Ako dátovú sadu sme použili reálne dáta o destináciách a trasách z Rome2Rio API. Aby sme zabezpečili zvyšovanie ako veľkosti tak aj hustoty grafu začali sme s jedným používateľom s desiatimi položkami, v druhom kroku sme pridali používateľa s päťdesiatimi destináciami, ktorý mal zároveň pridané všetky destinácie prvého používateľa, takto sme pokračovali až po počet destinácií 1400. Dáta sme generovali našou aplikáciou a následne migrovali do MYSQL databázy štruktúrovanou ako v našom návrhu 7

5.1.1 Test latencie databázy Neo4j a MySQL

Prvý test, ktorý sme robili bol syntetický test rýchlosti komplexného dopytu na databázu. Cieľom testu bolo porovnať škálovateľnosť relačnej a grafovej databázy v prípadoch podobných nášmu. Dopyt ktorého latenciu sme testovali bol na zoznam obľúbených destinácií, ku každej destinácií sme vyhľadali ešte trasu ktorá k nej vedie z domáceho miesta používateľa a zoznam ostatných používateľov ktorý tiež majú túto destináciu na zozname. Dopyt v databáze Neo4J môžeme vidieť na príklade 5. Dopyt v databáze MYSQL môžeme vidieť na príklade 7.

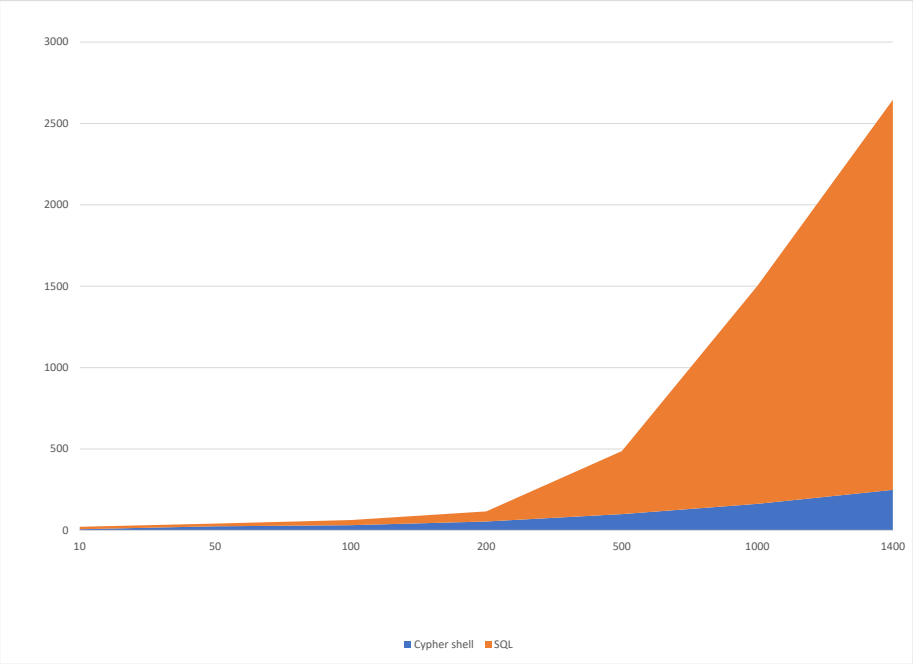
Algoritmus 7 SQL dotaz pre testovanie rýchlosti

```
1        SELECT * FROM `follows` f
2        LEFT JOIN `place` p ON f.`id_place` = p.`id`
3        LEFT JOIN `routes` r ON r.`id_from` = u.`id_home` AND r.`id_to` =
4        LEFT JOIN `follows` fo ON fo.`id_place` = p.`id`
5        LEFT JOIN `users` u ON u.id = fo.`id_user`
6        LEFT JOIN `tsp` t ON t.`id_user` = f.`id_user` AND t.`id_place` =
7        WHERE f.`id_user` = 231
```

Na vysledkoch testu vidíme, pri zväčšovaní a zahusťovaní grafu latencia databázy MySQL

Tabuľka 1: My caption

Počet položiek	10	50	100	200	500	1000	1400
Cypher shell	6,7	25,2	32	54	99,8	162,7	248,9
SQL	15,5	16,1	31,6	62,5	387,3	1339,8	2396,6



Obrázok 11: Výsledky testu rýchlosti API pre zobrazenie zoznamu obľúbených destinácií

rastie omnoho rýchlejšie ako Neo4j. Pri 1400 záznamoch vysúpala priemerná latencia až na 2,3966 sekundy. Tento rýchli nárast latencie MySQL prisudzujeme rastu veľkosti spájacích tabuliek ktorých prehľadávanie je hlavnou príčinou spomalenia relačnej databázy pri prehľadávaní dátovej sady so zložitou štruktúrou s mnohými vzťahmi. Na rozdiel od toho databáza Neo4J dosahovala pri rovnakej dátovej sade priemernú latenciu 248,9ms. Tieto výsledky ukazujú vhodnosť použitia grafovej databázy oproti relačnej pre prípad použitia, kde má dátová sada štruktúru grafu.

5.1.2 Test latencie rôznych prístupov k databáze Neo4J

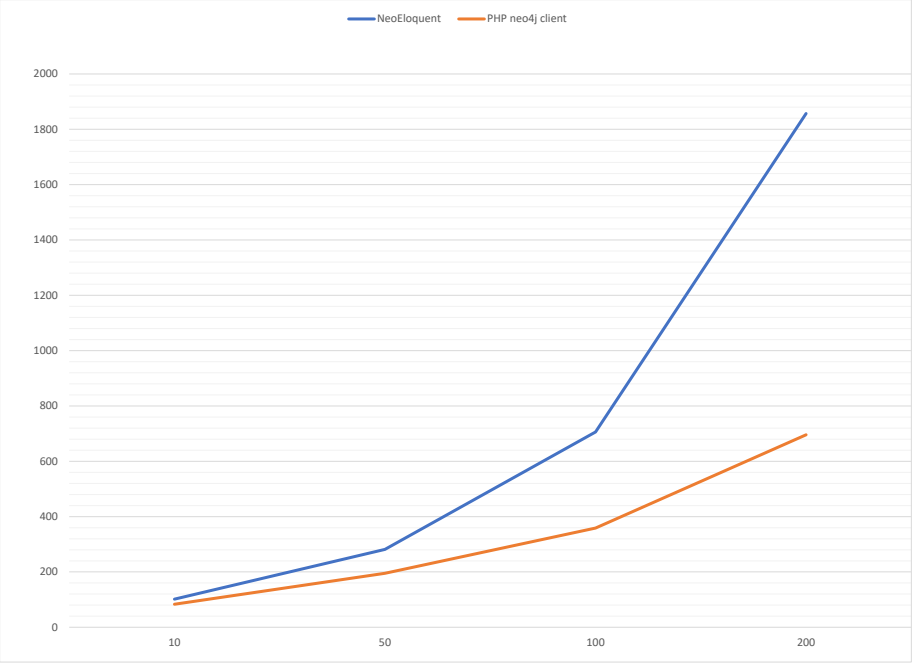
Druhý test ktorý sme robili bol reálny test latencie nami implementovaného API v dvoch verziách. V prvej verzii s použitím OGM a v druhej s použitím PHP Neo4J Client. Tento test sme vykonali ako súčasť implementácie, aby sme vedeli posúdiť ktoré riešenie

Tabuľka 2: Výsledky testu rýchlosti API pre zobrazenie zoznamu obľúbených destinácií

Počet položiek	10	50	100	200
NeoEloquent	101,6	281,7	705,7	1857
PHP neo4j client	83,2	195	358,5	695,7

použijeme vo finálnej verzií aplikácie. Pri teste sme používali rovnakú dátovú sadu ako v prvom teste. Latenciu sme merali tak, že sme posielali dopyty na naše API pre vykreslenie zoznamu obľúbených destinácií a zaznamenávali sme čas od doručenia dopytu na server do začiatku sťahovania dát. test sme opakovali desať krát.

V tabuľke č. 2 vidíme priemernú latenciu nášho API v závislosti od počtu položiek na zozname. Dáta sú dalej vizualizované v grafe na obrázku č. 12. Zo výseldku nášho testu sme usúdili, že prístup pomocou OGM nebol schopný využiť plný potenciál našej grafovej databázy a rozhodli sme sa vo finálnej verzii zmeniť implementáciu na prístup pomocou PHP Neo4j Client.



Obrázok 12: Výsledky testu rýchlosti API pre zobrazenie zoznamu obľúbených destinácií

//nazov kapitoly...

5.2 Zhodnotenie

Priebehu našej práce na bakalárskom projekte sme sa mali možnosť oboznámiť s rôznymi predstaviteľmi grafových databáz a výhodami, ktoré poskytujú oproti v iným typom databáz v prípadoch použitia podobný tomu nášmu.

Za hlavné výhody grafovej databázy pre považujeme jej škálovateľnosť a štruktúru dátového modelu vhodnú pre našu aplikáciu. Ako už bolo spomenuté v kapitole 5.1.1 škálovateľnosť grafovej databázy Neo4J bola v našom testovanom prípade omnoho lepšia ako databázy MySQL.

Keďže štruktúra drafovej databázjy je primárne určená na prácu s grafmi, pre optimálny výkon sme nemuseli pridávať cudzie kľúče ani indexy. Naša dátová sada prirodzene zapadla do modelu našej grafovej databázy.

Grafová datbáza Neo4J má jednoduché a pri tom silné nástroje na prácu s grafmi. Jeden z nástrojov, ktorý sme použili bol dopytovací jazyk Cypher. Tento jazyk nám dovolil s pomocou relatívne jednoduchých príkazov vykonávať zložité operácie v našej databáze. Emulovanie ekvivalentných príkazov v relačenj, či dokumentovej databázy by bolo omnoho zložitejšie.

Záver

Cieľom práce bolo oboznámiť sa s rôznymi predstaviteľmi gravoých databáz, vybrať jedného, navrhnúť a naimplementovat využitie tejto databázy na reálnom príklade.

Zoznam použitej literatúry

[1] AT, S. I. Db-engines ranking - popularity ranking of graph dbms, 2017. https://db-engines.com/en/ranking/graph+dbms [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

[2] Codd, E. F. A relational model of data for large shared data banks, 1970. http://dl.acm.org/citation.cfm?id=362685 [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

[3] Ian Robinson, Jim Webber, Emil Eifrem. *Graph Databases*. 2. O'Reilly Media, Inc. USA, 2015. s. 224. ISBN: 9781491932001.

[4] (IETF), I. E. T. F. The geojson format, 2016. https://tools.ietf.org/html/rfc7946 [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

[5] Myiuru Dayarathana, T. S. A relational model of data for large shared data banks, 2013. https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnx0b2t5b3RlY2hzdXp1bXVyYWxhYmVuZ3xneDoyMGRiOGFlM2Y2OGY5Mzhj [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

[6] neotechnology. Neo4j debian packages, 2017. https://debian.neo4j.org [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

[7] Otwell, T. Laravel - the php framework for web artisans, 2017. https://laravel.com/docs/5.0 [Online; prístupné dňa 14. 05. 2017].

Prílohy