

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ



Никола Димић

АУТОМАТСТКО ТЕСТИРАЊЕ
МИКРОСЕРВИСНИХ АПЛИКАЦИЈА

мастер рад

Београд, 2022.

Ментор:

др. Милена ВУЈОШЕВИЋ ЈАНИЧИЋ, ванредни професор
Универзитет у Београду, Математички факултет

Чланови комисије:

др. Саша МАЛКОВ, ванредни професор
Универзитет у Београду, Математички факултет

др. Филип МАРИЋ, ванредни професор
Универзитет у Београду, Математички факултет

Датум одбране: 00. септембар 2022.

Мами, пати и геги

Наслов мастер рада: Аутоматстко тестирање микросервисних апликација

Резиме:

Кључне речи: анализа, геометрија, алгебра, логика, рачунарство, астрономија

Садржај

1	Увод	1
2	Микросервисна архитектура	2
2.1	Особине архитектуре	2
2.2	Интеграција микросервиса	5
2.3	Дизајн микросервиса	6
3	Аутоматско тестирање софтвера	7
3.1	Категоризација и начини тестирања	7
3.2	Типови и опсег аутоматских тестова	7
3.3	Тестирање јединица кода	8
3.4	Тестирање интеграција и сервиса	9
3.5	Системско тестирање (тестирање с краја на крај)	10
4	Имплементација и тестирање <i>Gelos</i> апликације	13
4.1	Кратак преглед коришћених технологија	13
4.2	Архитектура и дизајн апликације	18
4.3	Аутоматско тестирање апликације	23
5	Закључак	30
	Библиографија	31

Глава 1

Увод

Глава 2

Микросервисна архитектура

Усложњавањем проблема који се решавају софтверским решењима расте и комплексност апликације која тај проблем решава. Као и многи комплексни математички проблеми, комплексност у софтверским решењима превазилази се разбијањем домена проблема у више поддомена.

При коришћењу монолитне архитектуре проблем комплексности решења решава се техникама које теже ка што већој кохезивности кода. Кохезивност кода представља идеју груписања модула сличних функционалности заједно. Микросервисна архитектура такође почива на овом принципу, где је циљ комплетно раздвајање делова система уз јасно дефинисане границе.

Микросервисна архитектура представља архитектурални стил који структурира систем као скуп малих сервиса који су минимално спрегнути, оријентисани ка специфичном домену, и лаки за интеграцију и одржавање. Сваки сервис представља логичку целину која је минимално спрегнута у односу на остале делове система.

Како би се лако интегрисао, сервис дефинише јавни интерфејс преко ког може комуницирати са другим сервисима. Комуникација између сервиса најчешће се одвија путем мрежних позива, који представљају скупе операције, па је ниска спрегнутост приликом пројектовања система подразумевана.

2.1 Особине архитектуре

Предности и мане микросервисне архитектуре већински проистичу из особине ниске спрегнутости делова система. Велика сличност са дистрибуира-

ним системима подразумева сличне дилеме приликом одабира микросервисне архитектуре као софтверског решења.

Неке од особина архитектуре су композитност, отпорност на отказивање, лако скалирање, локализовање података, технолошка хетерогеност и могућност дистрибуирања послова. Ипак микросервисна архитектура не представља универзално софтверско решење, па је не треба користити у свим ситуацијама.

Због раздвојености делова система и ниског нивоа стандардизације интерфејса, детектовање грешака унутар система, представља велики изазов приликом имплементације микросервисних апликација. Тема тестирања микросервисних апликација биће детаљно обрађена у поглављу 3.

Композитност

Одвајањем логичких компоненти које су одговорне за специфичан део апликације омогућава се смањење редундантности кода и коришћење постојећих решења при имплементацији. Сличне апликације често имају заједнички подскуп функционалности. Како је путем интерфејса једноставно повезати више сервиса, већ постојећи сервиси се лако могу укомпоновати при имплементацији новог система.

За проблеме који су врло чести, попут ауторизације и аутентификације унутар апликације, постоји велики број постојећих микросервисних решења која се једноставно могу интегрисати у микросервисну апликацију. Уколико одређени сервис не задовољава захтеве апликације може се заменити уз минималне измене кода.

Дистрибуирање развоја и технолошка хетерогеност

Ниска спрегнутост омогућава паралелни развој делова система, али и могућност коришћења различитих технолошких и архитектуралних решења за сваки од микросервиса. Тимови могу паралелно радити на различитим целинама система имплементирајући унапред договорен јавни интерфејс сервиса. Сваки сервис кроз свој интерфејс дефинише који ће део система бити доступан кориснику.

Променама унутар појединачних сервиса не мења се целокупан рад система, све док су интерфејси непромењени. У односу на перформансе које

су захтеване, сваки микросервис може користити ону врсту базе података, радног оквира или програмског језика који најбоље одговара проблему који сервис решава. Експериментисање са новим технологијама има знатно мање последице по целокупан рад система јер се промене изолују само на један микросервис, за разлику од монолитних система, где промене у технолошком домену подразумевају мењање целокупног система.

Локализовање података

Како би сервис био комплетно одговоран за специфичан посао, потребно је да буде независан и на нивоу података. Сваки микросервис користи сопствену колекцију података или податке добија од других сервиса који имају специјалну намену. Независност на нивоу података омогућава преносивост и вишеструку употребљивост али и отежава пројектовање због повећане опасности од редундатности.

Скалирање

Услед повећања броја корисника апликације потребно је повећати хардверске ресурсе додељене систему. Коришћењем монолитне архитектуре ово представља велики изазов јер је овакав тип скалирања могућ само уколико се целокупан систем скалира. Монолитна архитектура омогућава повећавање хардверских ресурса само за оне делове система којима је то неопходно. Скалирање се може обављати и динамички тако што ће се сервису, на основу броја захтева, доделити одговарајући ресурси.

Отпорност на отказивање

Отказивање делова система код монолитних апликација подразумева пад комплетне апликације. Монолитне апликације превазилазе тај проблем покретањем апликације на више инстанци како би се смањила вероватноћа отказа целог система. Ова метода захтева додатне ресурсе и комплексан систем који регулише апликацију у случају пада.

Насупрот томе, пад једног од делова микросервисне апликације не утиче на рад остатка система. Уколико постоји резервна инстанца сервиса који је отказао, апликација може наставити са нормалним функционисањем. Ако то

није случај, апликација може наставити да ради са редукованим функционалностима.

2.2 Интеграција микросервиса

Начин комуникације између сервиса представља јако битан аспект пројектовања микросервисне апликације. Исправно дизајниран начин комуникације треба да омогући сервисима да кроз развој задрже своју аутономност и да се мењају независно од остатка система.

Тежећи ка једноставним и брзим начинима интеграције сервиса, микросервисна архитектура се одликује одсуством строге формализације протокола. У наставку поглавља биће речи о једном од једноставнијих и баш из тог разлога популарнијих начина интегрисања микросервиса — коришћењем обрасца архитектуре *REST* у комбинацији са *HTTP* протоколом.

Образац архитектуре *REST* и *HTTP* протокол

Образац архитектуре *REST* (енг. *REpresentational State Transfer*) представља скуп принципа и ограничења помоћу којих системи могу комуницирати. Принципи архитектуре који омогућавају лаку интеграцију микросервиса су:

- Клијент - сервер — архитектура је заснована на Вебу па подразумева раздвајање клијентског и серверског дела система. Све док је интерфејс стандардизован, клијентски и серверски део система се могу независно развијати. Раздвајање система на микросервисе представља уопштење овог принципа,
- Без стања — архитектура подразумева да сваки клијентски захтев ка серверу, мора садржати све потребне информације без обзира на тренутно стање сервера. Сервер не чува информације о тренутној сесији између клијента и сервера односно микросервиса,
- Ресурси — архитектура као централну аутономну јединицу поставља ресурс. Ресурси представљају податке којима сервис располаже. Начин на који сервис интерно манипулише подацима сакривен је од корисника. Репрезентација у којој се подаци шаљу кориснику зависи од захтева који се шаље и може се мењати.

Стандардизација интерфејса односно порука које се шаљу између сервиса захтева добро дефинисан протокол. При имплементацији *REST* архитектуре могуће је користити различите протоколе али се у пракси најчешће користи *HTTP*.

HTTP протокол користи скуп метода помоћу којих је могуће оперисати подацима, као што су *GET*, *POST*, *PUT* и *DELETE*. Уместо креирања посебних функција за манипулацију ресурсима, могу се користити постојеће методе које протокол пружа. Како је ресурс централна јединица архитектуре, свака од ових метода има јасно значење:

- GET — дохвата ресурс,
- POST — креира ресурс,
- PUT — ажурира ресурс,
- DELETE — брише ресурс.

2.3 Дизајн микросервиса

Микросервисна архитектура омогућава коришћење различитих архитектуралних решења приликом имплементације микросервиса. Архитектурални стил сваког микросервиса мора да подржава раздвајање одговорности од остатка апликације. Један од честих образаца архитектуре коришћених за пројектовање микросервиса јесте архитектура Модел-Поглед-Контролер (енг. *Model-View-Controller*) о којој ће бити речи у наставку поглавља.

Образац архитектуре Модел-Поглед-Контролер

Образац архитектуре Модел-Поглед-Контролер (енг. *Model-View-Controller*, *MVC*) се заснива на подели система на три целине, које имају различите функције.

- Модел — представља структуру података
- Поглед — представља приказ података у корисничком окружењу
- Контролер - представља начин управљања подацима модела

Глава 3

Аутоматско тестирање софтвера

3.1 Категоризација и начини тестирања

3.2 Типови и опсег аутоматских тестова

Појавом агилних методологија развоја софтвера, повећала се потреба за аутоматским тестирањем софтвера. Потребно је тестирати сваку испоручену итерацију кода на стабилан и поновљив начин, у кратком времену. Модел Тест Пирамида (енг. *Test Pyramid*) дефинише скуп препорука како аутоматски тестирати апликацију. На основу опсега који тестирају, модел дефинише четири врсте тестова, као и расподелу броја тих тестова у односу на врсту. Детаљан опис модела налази се на слици 3.1.

Како су јединични тестови најмањег опсега, логично су и најбржи за извршавање, па је препорука максимално тестирати јединице кода. Аутоматско тестирање интеграција делова система представља начин да поузданост система као целине буде већи, док је цена извршавања и даље мала. Самим тим тежи се да број ових тестова буде што већи. Тестови корисничког интерфејса представљају скупе операције јер захтевају рад целокупног система па је приликом одлучивања шта аутоматизовати важно одредити приоритете.

Опсег тестова у контексту микросервисне архитектуре

Имплементација микросервисне апликације представља компликован процес у ком на различитим деловима апликација често раде другачији тимови. Да би целокупна апликација била поуздана, потребно је тестирати све њене



Слика 3.1: Модел Тест Пирамида

делове у изолацији, као и интеграције тих делова. Коначно, потребно је тестирати апликацију на начин како је корисник користи односно целокупан систем истовремено.

Микросервисна архитектура, због своје грануларности, омогућава аутоматско тестирање различитих делова апликације у потпуној изолацији, што при коришћењу монолитне архитектуре није могуће. Ово омогућава бржи развој апликације, већу поузданост али и могућност да се модел пирамиде у потпуности примени на систем.

3.3 Тестирање јединица кода

Јединично тестирање представља проверу исправности појединачних логичких целина у изолацији. Циљ тестова је верификовати да се свака јединица кода понаша у складу са дефинисаним захтевима. Од свих врста тестова ови тестови су најбржи и најчешће одстрањују велики број грешака.

Тестови јединица кода се могу писати одмах након али и пре имплементације одређене функционалности уколико се користи методологија развоја вођеног тестовима (енг. *Test Driven Development* — *TDD*). Одговорност за имплементацију јединичних тестова најчешће преузимају програмери који су радили на самој функционалности, јер је за писање тестова често потребно техничко али и доменско знање. Познавање граница изоловане функционал-

ности омогућава тестирање јединице за различите улазне параметре.

Како би се тестови јединица кода исправно аутоматизовали потребно је комплетно одстранити зависност сваке јединице од остатка система приликом тестирања. Реални подаци од којих зависи функционалност јединице, замењују се „лажним” подацима (енг. *mock data*) који су претходно припремљени. Коришћење овог система има више предности. Одстрањивањем зависности омогућава се тестирање комплексних компоненти апликације које зависе од много улазних параметара, али се и омогућава независно развијање функционалности. Уколико је формат улазних зависности унапред познат, јединица система може несметано имплементирати нове функционалности користећи предефинисане податке.

Јединични тестови су неизоставан део непрекидне интеграције софтвера (енг. *continuous integration*) на основу које се након сваке нове измене покреће скуп аутоматских тестова. Пролазећи кроз итерације испоруке софтвера, јединичним тестовима се осигурава да ни једна нова измена није условила пад неке од постојећих јединица система.

3.4 Тестирање интеграција и сервиса

Поузданост да логичке целине исправно раде у изолацији доприноси укупној поузданости система али не гарантује да ће интеграција тих целина исправно функционисати. Тестови интеграције проверавају комуникацију између више јединица кода са циљем да пронађу грешке у интерфејсима интегрисаних компоненти.

Аутоматизација интеграционих тестова омогућава брзу проверу комуникације између измењених компоненти у процесу развоја софтвера. Како ова врста тестова покрива веће логичке целине, извршавање тестова је спорије у односу на јединичне тестове, па је и број тестова мањи.

При коришћењу микросервисне архитектуре, више јединица кода интегрише се у један сервис. Ова интеграција тестира се тестовима сервиса, где је циљ проверити исправност јавног интерфејса који сервис пружа.

Микросервисна архитектура подразумева велику грануларност система и самим тим захтева јасан начин комуникације између свих делова система. Како се комуникација одвија између више сервиса, повећава се значај интеграционих тестова. Тестови појединачних сервиса као и тестови интеграција

између различитих сервиса представљају додатни ниво поузданости који монолитна архитектура не обезбеђује. Пронађена грешка тачно указује која интеграција тј који интерфејс унутар система не даје очекиване резултате, што значајно олакшава процес елиминације грешке.

3.5 Системско тестирање (тестирање с краја на крај)

Тестови с краја на крај (енг. *End to end — E2E*) или тестови корисничког интерфејса представљају најкомплекснију врсту тестова јер посматрају систем као униформну целину. Пре самог тестирања с краја на крај потребно је тестирати јединице кода као и интеграције тих јединица. Упркос великој поузданости у квалитет софтвера коју пружају интеграциони и јединични тестови, коришћењем свих делова система истовремено могу се пронаћи проблеми који другачије нису могли бити уочени.

Посматрањем система из угла крајњег корисника дообија се реална слика о томе како се систем као целина понаша. Тестови с краја на крај се често извршавају мануелно јер захтевају корисничко развојно окружење и низ комплексних акција које описују случај употребе система. Алатима који симулирају корисничко понашање могуће је аутоматизовати процес тестирања с краја на крај. Услед комплексности ових тестова, време извршавања је знатно веће од осталих па их самим тим и нема превише. Приликом писања тестова треба осигурати да су изабрани случајеви употребе репрезентативни, односно да осликавају реалну употребу апликације. Слично као и код јединичних тестова дефинисање случајева употребе који ће се аутоматизовати може се одвијати после али и пре имплементације функционалности.

Системски тестови имају значајну улогу у методологији агилног развоја софтвера. Покретањем аутоматских системских тестова пре сваке испоруке се обезбеђује сигурност у то да сви покривени случајеви употребе и даље раде. Уколико то није случај најчешће се генерише извештај који садржи слику или скуп корака који описује како је до грешке дошло.

Како се систем пројектован коришћењем микросервисне архитектуре састоји од много делова који се често не развијају истовремено, системски тестови представљају врло важан корак у развоју апликације. Како би системски тест био исправно извршен, велики број независних делова мора синхронизовати

да функционише. У пракси се дешава да тест падне због разлога који нису нужно везани за функционалност која је тестирана нпр. због привременог кашњења одговора сервиса. Тестови који се некад пријављују грешку а некад не, без детерминистичког правила, називају се нестабилни тестови (енг. *flaky tests*). Приликом паралелног извршавања већег броја сличних тестова често долази до нестабилности тестова, услед проблема који се јављају приликом коришћења дељених ресурса.

Нестабилни тестови представљају велики проблем и циљ их је у што већој мери елиминисати. Информација да нестабилан тест пријављује грешку у систему, не доприноси поузданости, јер су разлози због којег тест пада неvezани за тестирану функционалност. Уколико се у скупу тестова који се извршавају налази много нестабилних тестова, губи се поверење у валидност резултата тестова. Овај феномен назива се нормализација одступања.

Технике тестирања корисничког интерфејса

Како би се симулирало корисничко понашање при извршавању тестова користе се алати попут развојних оквира *Playwright* [11] и *Selenium* [22]. Могуће је аутоматизовати тестове с краја на крај у различитим системима али у склопу овог рада фокус ће бити на веб апликацијама.

Покретање претраживача у ком се извршавају тестови регулише коришћени развојни оквир о чему ће бити више речи у поглављу 4.1. Развојни оквир пружа функције за дохватање елемената са странице помоћу кориснички дефинисаних селектора. Селектори представљају шаблоне помоћу којих се одређени елемент може лоцирати на страници апликације односно унутар *DOM* стабла које претраживач приказује. Специфични развојни оквири подржавају различите типове селектора. Неки од њих су:

- *CSS* селектори — дохватају елементе странице на основу скупа правила која се користе за стилизовање *HTML* елемената,
- *xpath* селектори — дохватају елементе странице на основу путање која дефинише пут кроз *XML* односно *HTML* страну,
- Текстуални селектори — дохватају елемент на основу текста који се налази у склопу елемента

Након што је елемент на страници пронађен, помоћу функција које дефинише изабрани алат извршава се случај употребе апликације. Коришћењем библиотеке за верификацију, проверава се да ли је случај употребе испунио предефинисане захтеве.

Многи случајеви употребе имају преклапајуће скупове корака. Како би се елиминисала редуваност при писању системских тестова, при пројектовању оквира за тестирање користи се **модел странице као објекта**.

Модел странице као објекта

Модел странице као објекта користи постулате објектно-оријентисаних методологија, конкретно особине интерфејса и енкапсулације како би раздвојио начин тестирања од самог теста. За сваку страницу апликације или неки смислен функционалан део, прави се класа која представља интерфејс за управљање том страницом. Класа садржи дефиниције селектора који се налазе на датој страници као и методе помоћу којих се манипулише самом страницом. На овај начин се све информације о страници апликације налазе на једном месту, па су измене при ажурирању тестова минималне.

Тестови користе дефинисане класе као интерфејсе за извршавање корисничких акција и јасно осликавају случај употребе. Детаљи имплементације сваког корака случаја употребе су сакривени, па је структура теста концизна и јасна. Графички приказ овог архитектуралног модела може се видети на слици 4.3

Визуелни тестови

Глава 4

Имплементација и тестирање *Gelos* апликације

Практични део рада представља имплементацију микросервисне апликације, као и система за тестирање те апликације. Циљ апликације је претраживање и помоћ при избору филма односно књиге за читање. Посебна пажња при изради апликације посвећена је системима за тестирање апликације како на јединичном, тако и на интеграционом и системском нивоу. Архитектурално решење за сваки део овог система је обрађен у склопу овог поглавља. Изворни кôд апликације и система за тестирање може се видети на *GitHub* страници пројекта [5].

4.1 Кратак преглед коришћених технологија

За израду микросервиса коришћен је развојни оквир *Express.js* [18] писан за извршно окружење *Node.js* [7]. За складиштење података коришћен је систем за управљање базом података *SQLite* [16] у комбинацији са алатом за објектно-релационо мапирање *Sequelize* [4].

За израду клијентске апликације коришћена је библиотека *React* [15]. За стилизовање корисничког интерфејса коришћен развојни оквир *Tailwind* [9].

За израду оквира за интеграционо и функционално тестирање система коришћен је развојни оквир *Playwright* [11] док је за генерисање лажних података за тестирање коришћена библиотека *MSW* (енг. *Mock Service Worker*) [25]. У склопу израде компонентних и јединичних тестова коришћена је би-

библиотека *React Testing Library* [6] у комбинацији са развојним оквиrom *Jest* [20].

Окружење *Node.js*

Node.js представља извршно окружење који омогућава извршавање *JavaScript* кода ван оквира претраживача односно на самом северу. Могућност да се и клијентска и серверска страна апликације пишу истим програмским језиком и самим тим убрза процес развоја апликације, допринела је великој популарности језика. Ипак, главну особину овог развојног оквира представља могућност да извршава неблокирајући, асинхрон код и тако елиминише потребу за чекањем [24].

У склопу овог пројекта коришћен је и *npm* (енг. *node package manager*) који омогућава једноставну контролу инсталација и верзија коришћених библиотека [14]. Како се пројекат састоји из више независних целина коришћена је „*monorepo*” стратегија за контролу верзија. Ова стратегија омогућава да се из изворне датотеке покрећу различити делови система [13].

Развојни оквир *Express.js*

Инспирисан развојним оквиrom *Sinatra* [12], *Express.js* се одликује својом једноставношћу, уз могућност да кроз различите библиотеке испуни специфичне захтеве апликације. *Express.js* пружа минималан скуп функционалности које омогућавају једноставну обраду *HTTP* захтева, рутирање и интеграцију са системом за управљање базама података [18].

Како *Express.js* представља веома ниску апстракцију *HTTP* протокола, има врло добре перформансе, па је због те особине и своје једноставности постао стандардан алат за креирање веб сервера и програмских интерфејса апликације унутар *Node.js* окружења [3].

Систем за управљање базама података *SQLite* и библиотека *Sequelize*

SQLite је систем за управљање базама података написан у програмском језику *C*. Дизајниран је тако да буде стабилан, брз и компатибилан са различитим платформама. Насупрот другим *SQL* системима за управљање базама

података, нема засебан серверски процес већ комплетну базу података чува унутар једне датотеке [16, 23]

Објектно-релационо мапирање представља технику која омогућава да се подацима из базе података приступа користећи парадигму објектно оријентисаног програмирања. Ова техника омогућава да се подацима приступа кроз објекте односно методе тих објеката па се компликовани *SQL* упити апстрахују у интуитивне позиве функција. У потпуности се елиминише потреба за употребом *SQL* језика па то додатно убрзава процес развоја софтвера [10]. *Sequelize* је библиотека за објектно релационо мапирање која је заснована на технологији *Node.js* и подржава велики број система за управљање базама података попут *Postgres*, *MySQL*, *MariaDB*, *Microsoft SQL Server* и *SQLite* [4].

Библиотека *React*

Библиотека *React* представља једну од најпопуларнијих *JavaScript* библиотека за израду корисничког интерфејса. Почива на идеји да се свака апликација састоји од скупа компоненти које представљају енкапсулиране целине. Свака компонента представља вид шаблона па се може употребити више пута са различитим параметрима што смањује редундантност написаног кода. Како су компоненте јединичне целине оне у себи садрже и приказ саме компоненте у виду *HTML* елемената и *CSS* правила, као и начин на који се те компоненте мењају, у виду *JavaScript* кода [15].

React прави виртуелно *DOM* (енг. *Document Object Model*) стабло које ажурира право *DOM* стабло само за компоненте које су промењене при некој акцији на корисничком интерфејсу. Ово омогућава да се промене дешавају брже и без ажурирања целе веб странице што омогућава креирање такозваних једностраничних апликација [15].

Сама библиотека имплементира само основне функционалности потребне за креирање корисничког интерфејса док се за функционалности попут рутирања морају инсталирати додатне библиотеке. Једна од таквих је библиотека *React router* која је коришћена у склопу овог пројекта [17].

Развојни оквир *Tailwind*

Стилизовање модерних веб страница које се приказују другачије у односу на величину екрана уређаја представља велики изазов у процесу развоја

веб апликације. Појава *CSS* развојних оквира који садрже већ стилизоване шаблоне омогућила је једноставно имплементирање модерног корисничког интерфејса. Коришћењем већ постојећих шаблона губи се могућност за прављењем јединственог корисничког интерфејса па се и поред развојних оквира као што је *Bootstrap* користе и стандардна *CSS* правила [19].

Tailwind представља *CSS* развојни оквир који решава проблем на мање рестриктиван начин, задржава брзину и једноставност развоја коју пружају горе поменути развојни оквири, а дозвољава флексибилност коју пружа коришћење *CSS* правила. То се постиже коришћењем предефинисаних класа које у себи садрже велики број функционалности које омогућавају кориснику да лако имплементира комплексне промене на корисничком интерфејсу [9].

Развојни оквир *Playwright*

Playwright је развојни оквир направљен за аутоматизацију системских (*end to end*) тестова од стране *Microsoft* тима. Оквир подржава више програмских језика као што су *Java*, *Python*, *C#* и *JavaScript* [11].

Сваки претраживач садржи погонски део који је одговоран за трансформисање *HTML* текста у веб страницу која се приказује на самом уређају. *Playwright* користи протокол *DevTools* који омогућава директну комуникацију са погонским делом претраживача у циљу извршавања тестова у претраживачу [8]. Ова особина чини оквир знатно бржим и стабилнијим од конкуретних технологија које користе протокол *WebDriver*. [22, 2]. Оквир подржава извршавање на претраживачима као што су *Chromium*, *Firefox* и *Webkit* [11, 21, 1].

Једна од главних особина оквира је аутоматско чекање. Пре сваке акције над елементом на веб страници, проверава се да ли је елемент видљив и активан па се тек онда наставља са извршавањем теста. Ово елиминише потребу за имплицитним чекањима у аутоматским тестовима. Имплицитна чекања, односно заустављање теста на предефинисан број секунди како би се одређен елемент учитао, представљају чест узрок нестабилних тестова. Аутоматско чекање такође смањује потребу за експлицитним чекањима, која заустављају тест док одређен услов није испуњен, јер се већина стандардно коришћених услова аутоматски проверава пред интеракцију са елементом. Смањен број експлицитних чекања у тесту доприноси томе да тест буде концизан и јасан.

Конкурентно извршавање тестова је подржано и једноставно се имплементира услед асинхроне природе *Node.js* оквира. Оквир не подржава тестирање на реалним мобилним уређајима али подржава емулацију претраживача за мобилне телефоне.

Уз алате за тестирање корисничког интерфејса, *Playwright* такође пружа алате за визуелно тестирање, компонентно тестирање, и тестирање програмских интерфејса апликације [11]. Неки од тих алата биће приказани у даљем тексту.

Библиотека за тестирање *React* апликација и библиотека *Jest*

Тестирање појединачних јединица и компоненти система који користи библиотеку *React* може се постићи коришћењем библиотеке за тестирање *React* апликација (енг. *React testing library*) [6]. Библиотека омогућава тестирање појединачних чворова *DOM* стабла из угла корисника. Свака *React* компонента се претвара у *DOM* чвор и помоћу *JavaScript* библиотеке за тестирање — *Jest*, проверавају се очекиване вредности унутар чвора. Ова библиотека пружа сигурност да се подаци приказују на очекиван начин без обзира на друге делове система, као и да различите јединице функционишу унутар компоненти којима припадају [6, 20].

Библиотека *MSW*

Како би тестови били поуздани и подаци који се користе унутар тестова морају бити поуздани. Такође потребно је тестирати клијентски део апликације независно од серверског дела.

MSW (енг. *Mock Service Worker*) представља библиотеку која омогућава да се *API* позиви који су упућени ка серверској страни апликације пресретну и уместо правих, клијентској апликацији врате предефинисани „лажни” одговори. Ово омогућава како тестирање клијентског дела апликације у изолацији, тако и могућност независног развоја клијентског и серверског дела апликације [25]. Да би одговарајући *API* позиви били пресретнути потребно је дефинисати тачке јавног интерфејса и предефинисане податке који се шаљу клијентској страни апликације.

4.2 Архитектура и дизајн апликације

Развијена апликација подељена је у две целине, на серверски и клијентски део. Серверски део апликације организован је у међусобно независне микросервисе. Сваки микросервис има јасно дефинисан јавни интерфејс помоћу ког клијентска страна апликације приступа ресурсима и функционалностима које микросервис пружа. Подаци које микросервиси користе организовани су тако да сваки микросервис има своју базу података. Комуникација између микросервиса и клијентског дела апликације извршава се коришћењем *HTTP* протокола. У наставку ове секције биће детаљније приказани имплементациони детаљи као и архитектурална решења за сваки од делова апликације.

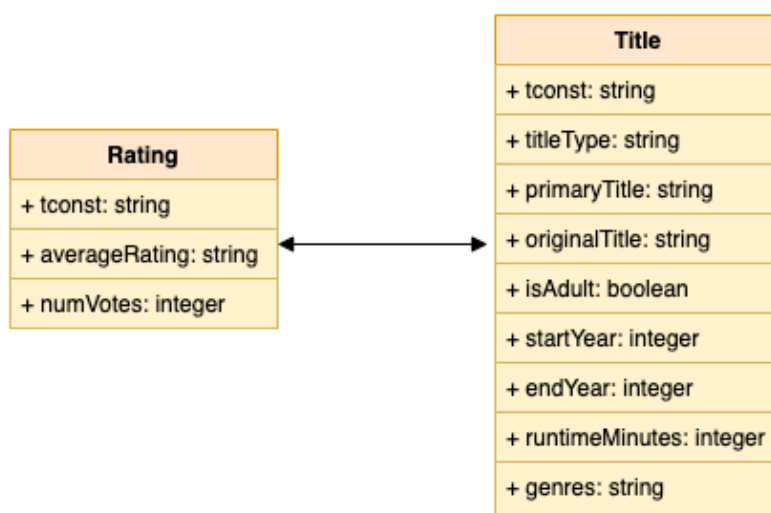
Микросервиси

Серверски део апликације састоји се од два независна микросервиса *Movies* и *Books*. Архитектура коришћена при имплементацији оба микросервиса је *MVC* (енг. *Model View Controller*) па је структура пројекта подељена у одговарајуће целине:

1. Датотека *index.js* — покреће претходно дефинисан сервер на одговарајућем порту. Дефинисање јавног интерфејса микросервиса дешава се унутар датотеке *server.js*
2. Рутери (у директоријуму *routers*) — повезују добијене *HTTP* захтеве са компонентама које су одговорне за обраду тих захтева.
3. Контролери (у директоријуму *controllers*) — имплементирају бизнис логику микросервиса тако што обрађују захтеве и делегирају операције доменским моделима.
4. Описи и методе за иницијализацију модела (у директоријуму *models*) — дефинишу поља модела и имплементирају методе које учитавају и парсирају податке из базе података.
5. Конфигурација система за управљање базом података (у директоријуму *services*) — конфигурише објектно-релационо мапирање и путању до фајла у ком се налази база података.

Сервис *Movies*

Сервис *Movies*, односно сервис филмова, је сервис задужен за управљање подацима о филмовима и оценама за те филмове. Доменски модел овог сервиса налази се на слици 4.1. Ентитет *Title* садржи податке о филму као што су име, година снимања, број минута и жанр филма, док ентитет *Rating* садржи информације о просечној оцени као и о броју корисника који су дали оцену за филм на сајту *IMDB*.



Слика 4.1: Доменски модел сервиса *Movies*

Сервис пружа јавни интерфејс помоћу ког је могуће добити информације о свим филмовима, о специфичном филму на основу његовог идентификатора као и добити листу филмова на основу упита. Детаљнији опис интерфејса приказан је у табели 4.1.

ГЛАВА 4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И ТЕСТИРАЊЕ GELOS АПЛИКАЦИЈЕ

Табела 4.1: Опис јавног интерфејса сервиса *Movies*

Опис	Параметри	Одговор при успешној обради
GET api/v1/version		
Дохватање актуелне верзије интерфејса		<i>version</i> — тренутна верзија интерфејса
GET api/v1/movies		
Дохватање информација о свим доступним филмовима	<i>page</i> — број странице резултата (опционо) <i>size</i> — број филмова на страници (опционо)	<i>data</i> — објекат који садржи листу филмова са оценама <i>meta</i> — објекат који садржи мета податке о листи
GET api/v1/movies/:id		
Дохватање информација о специфичном филму	<i>id</i> — идентификатор филма (обавезно)	<i>data</i> — објекат који садржи информације о специфичном филму
GET api/v1/movies/search		
Претрага филмова на основу имена филма	<i>page</i> — број странице резултата (опционо) <i>size</i> — број филмова на страници (опционо) <i>query</i> — кључна реч за претрагу (обавезно)	<i>data</i> — објекат који садржи листу филмова <i>meta</i> — објекат који садржи мета податке о листи
GET api/v1/ratings		
Дохватање свих оцена филмова	<i>page</i> — број странице резултата (опционо) <i>size</i> — број филмова на страници (опционо)	<i>data</i> — објекат који садржи листу о оцена филмова са њиховим насловом <i>meta</i> — објекат који садржи мета податке о листи

Сервис *Books*

Сервис *Books*, односно сервис књига, је сервис задужен за управљање подацима о популарним књигама. Сервис омогућава претрагу популарних наслова, као и добијање информација о аутору, оцени наслова и других информација о књигама. Доменски модел овог сервиса налази се на слици 4.2. Сервис пружа програмски дефинисан интерфејс који омогућава излиставање целокупне листе књига које се налазе у бази података, као и претрагу по насловима.

ГЛАВА 4. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И ТЕСТИРАЊЕ GELOS АПЛИКАЦИЈЕ

Табела 4.2: Опис јавног интерфејса сервиса *Books*

Опис	Параметри	Одговор при успешној обради
GET api/v1/version		
Дохватање актуелне верзије интерфејса		<i>version</i> — тренутна верзија интерфејса
GET api/v1/books/		
Дохватање информација о свим доступним књигама	<i>page</i> — број странице резултата (опционо) <i>size</i> — број књига на страници (опционо)	<i>data</i> — објекат који садржи листу књига <i>meta</i> — објекат који садржи мета податке о листи
GET api/v1/books/search		
Претрага књига на основу наслова књиге	<i>page</i> — број странице резултата (опционо) <i>size</i> — број књига на страници (опционо) <i>query</i> — кључна реч за претрагу (обавезно)	<i>data</i> — објекат који садржи листу књига <i>meta</i> — објекат који садржи мета податке о листи

Сервис књига има врло сличан јавни интерфејс као и сервис филмова, али због разлика у доменима и количини података са којима располажу, овај сервис у склопу исте табеле садржи информације о књигама и информације о оценама тих књига. Детаљан опис функционалности које микросервис пружа може се видети у табели 4.2.



Слика 4.2: Доменски модел сервиса *Books*

Клијентска апликација

У склопу пројекта направљена је клијентска апликација која користи функционалности које имплементирани микросервиси пружају. За имплементацију коришћена је библиотека *React* као и помоћна библиотека *React router* [17]. Апликација је подељена на компоненте које представљају изоловане целине система и у себи садрже логику и визуелни приказ дела апликације.

Централни део хијерархијске структуре апликације имплементиран је у компоненти *App*. Она сваку компоненту приказује унутар компоненте *Layout* која дефинише распоред компоненти на страници, и изнад и испод сваке странице приказује компоненту *Header* и *Footer* респективно. *Header* имплементира заглавље које садржи мени за навигацију, док *Footer* представља подножје странице. Коришћењем библиотеке *React router*, компонента *App* приказује одговарајућу страницу у зависности од *URL* путање. Уколико је путања неисправна биће приказана компонента *Page404* која корисника обавештава о неисправно унешеној путањи.

Странице интегришу више компоненти и имплементирају комуникацију са серверским делом апликације. Страница *Homepage* представља полазну тачку клијентске апликације и садржи се од више презентационих картица које користе податке дефинисане у *contents* директоријуму. Навигацијом кроз презентационе картице или кроз горњи мени за навигацију корисник се преусмерава на неку од страница.

Страница *MoviesPage* омогућава кориснику презентацију као и претрагу оцењених филмова. Компонента *MoviesPage* користи јавни интерфејс *Movies* сервиса и у складу са корисничким уносом података приказује листу филмова односно компоненти *Movie*. У склопу ове странице имплементирано је и приказивање вишестраничних резултата упита кроз компоненту *Pagination*. Аналогно, страница *BooksPage* приказује листу књига и омогућава претрагу књига по њиховом наслову користећи јавни интерфејс *Books* сервиса. Обе компоненте користе компоненту *SearchBar* која регулише унос наслова за претрагу. Празан унос у поље за претрагу кориснику враћа иницијалан скуп података.

Структура директоријума клијентске апликације осликава функционалност сваке од компоненти апликације. Компоненте које представљају странице апликације налазе се у директоријуму *pages* док се компоненте које представљају делове страница налазе у директоријуму *components*. Искључу-

чиво презентационе компоненте попут *Loading* или *Icons* компоненти налазе се у директоријуму *ui*. Поред конфигурационих датотека у склопу апликације се налазе и систем за тестирање апликације као и систем за пресретање *API* позива о којима ће бити речи у наредном поглављу.

4.3 Аутоматско тестирање апликације

Систем за тестирање апликације имплементиран је на више нивоа, па су у склопу пројекта дефинисани јединични, интеграциони и системски тестови. Свака врста тестова доприноси поузданости целокупне апликације и омогућава лако налажење проблема при развоју нових или изменама постојећих функционалности.

Јединичним тестовима проверена је исправност сваке функционалне компоненте клијентске апликације у изолацији, уз помоћ система за пресретање *API* позива. Странице апликације као и мање компоненте које чине те странице покривене су тестовима па је укупно имплементирано 12 јединичних тестова.

Интеграција клијентске апликације и микросервиса проверава се тестовима дефинисаним у директоријуму *integration*. Тестови су груписани у два скупа у зависности од интеграције коју тестирају, а свака група се састоји од 8 различитих тестова, па је укупно имплементирано 16 тестова.

Како је потребно тестирати апликацију на начин како је корисник користи, имплементирани су тестови који тестирају целокупан систем. Тестови су дефинисани у директоријуму *e2e* и покривају најчешће случајеве употребе. Имплементирано је 22 теста који се извршавају на три различита претраживача. Тестови су подељени у пет група у зависности од функционалности коју проверавају.

У наставку ове секције биће детаљно приказани имплементациони детаљи аутоматских тестова на различитим нивоима, док ће на крају поглавља бити речи о временским оквирима извршавања тестова.

Јединично тестирање апликације

Како јединично тестирање апликације представља проверу исправности појединачних логичких целина у изолацији потребно је дефинисати те целине

и окружење у којем их је могуће тестирати. Свака од *React* компоненти може се посматрати као изолован део клијентске апликације. Тестирање ових компоненти у изолацији могуће је само уз одстрањивање зависности од остатка система. То се постиже коришћењем библиотеке за тестирање *React* апликација и библиотеке *MSW*.

Тестирање сваке компоненте састоји се од генерисања *DOM* стабла за ту компоненту, и провере да ли се компонента приказује и мења у складу са предефинисаним очекивањима. Тестови су ради прегледности названи идентично као и компоненте које тестирају уз наставак *.test*.

У наставку је представљен код који тестира компоненту *SearchBar* односно поље за претрагу филмова или књига. Након генерисања *DOM* стабла компоненте (линија 5), проверава се да ли се поље за унос и дугме за претрагу налазе унутар стабла (линије 9 и 10). После уноса текста у поље проверава се да ли је вредност исправно унешена у поље (линија 13). На овај начин се тестира функционалност поља за унос без обзира на резултате претраге или друге компоненте које се користе у комбинацији са *SearchBar* компонентом.

```

1 import { fireEvent, render, screen } from "@testing-library/react";
2 import SearchBar from "../components/SearchBar.jsx";
3
4 test("Search bar unit test", async () => {
5   render(<SearchBar></SearchBar>);
6   let searchField = screen.getByPlaceholderText("Search by title");
7   let searchButton = screen.getByRole('button');
8
9   expect(searchField).toBeInTheDocument();
10  expect(searchButton).toBeInTheDocument();
11
12  fireEvent.change(searchField, { target: { value: "Some random query" } });
13  expect(searchField.value).toBe("Some random query");
14 });
15 }

```

Listing 4.1: Јединично тестирање *SearchBar* компоненте

Аналогно за сваку од јединичних компоненти које има смисла тестирати попут компоненти *Movie* и *Book* покреће се тест који проверава исправно генерисање *DOM* стабла за предефинисане податаке. Покретањем ових тестова смањује се могућност неисправног приказа компоненти како за исправне тако и за неисправне уносе.

„Лажни” подаци

Неке од *React* компоненти при покретању користе више мањих компоненти као и податке које пружају микросервиси. Циљ је тестирати овакве компоненте независно од *backend* система.

Приликом покретања јединичних тестова заустављају се *API* позиви упућени ка микросервисима и враћају се „лажни” одговори који се користе при проверама унутар самог теста. Коришћењем овог система, странице *BookPage* и *MoviePage* се тестирају у изолацији без обзира на то да ли микросервиси исправно функционишу јер користе предефинисан скуп података.

Уколико приликом покретања клијентског дела апликације променљива окружења *MOCK_DATA* има позитивну вредност, сви позиви ка микросервисима биће пресретнути од стране поменутог система и користиће се подаци дефинисани у датотеци *mockData.json*. У склопу директоријума *mocks* налазе се следеће датотеке:

- *server.js* — иницијализује систем за пресретање позива у тестовима,
- *handlers.js* — дефинише који „лажни” подаци ће се вратити за сваку од дефинисаних путања,
- *mockData.json* — скуп „лажних” података,
- *browser.js* — иницијализује систем за пресретање позива при покретању клијентске апликације.

Тестирање интеграција апликације

Интеграција између микросервиса и клијентске апликације одвија се коришћењем *HTTP* протокола. Помоћу библиотеке *Playwright* имплементирани су тестови који шаљу *API* позиве ка јавним интерфејсима микросервиса и проверавају да ли су добијени резултати у складу са очекивањима клијентског дела апликације. У зависности од прослеђених параметара тестирају се различити очекивани резултати.

У наставку је представљен један тест који тестира интеграцију између клијентске апликације и сервиса *Movies*, тако што проверава да ли приликом узимања скупа филмова без прослеђених параметара клијент добија податке

у очекиваном формату. Након слања *API* позива сервису (линија 2), проверава се статус самог одговора (линија 3) и очекиване вредности за мета параметре (линија 5). Затим се проверавају типови добијених вредности за сваки од филмова, као и да ли су подаци исправни (линија 10) , односно у очекиваном опсегу вредности (линије 11 и 12). Овим проверама се значајно повећава сигурност да ће подаци који су добијени од стране микросервиса бити исправно приказани на клијентској страни апликације.

```

1 test("Get movies test - no parameters", async ({ request }) => {
2   const response = await request.get(`${baseUrl}/api/v1/movies`);
3   expect(response.status()).toBe(200);
4   const responseBody = JSON.parse(await response.text());
5   verifyMetaValues(responseBody.meta, defaultPage, defaultItemsPerPage);
6
7   let movies = responseBody.data.movies;
8   expect(movies.length).toBe(defaultItemsPerPage);
9   movies.forEach((movie) => {
10    verifyMovieTypes(movie);
11    verifyMovieLimits(movie);
12    verifyMovieRatingLimits(movie.Rating);
13  });
14 });

```

Listing 4.2: Тест интеграције сервиса *Movies* и клијентске апликације

Тестови су груписани у складу са интеграцијом коју тестирају, па се тестови који проверавају конекцију између клијентске апликације и сервиса *Movies* односно *Books* налазе у датотеци *moviesTests* и *booksTests* респективно. Сваки скуп тестова се може независно покретати, што је корисно у случају да је потребно тестирати утицај промена на само једну интеграцију. Директоријум *helpers* садржи помоћне функције за верификацију типова и вредности података који се тестирају.

Након извршавања тестова интеграције генерише се веб страница са извештајем који приказује колико је тестова успешно или неуспешно извршено. За сваки од тестова могуће је видети на ком је кораку пао, па се јасно може утврдити место у систему у ком се налази грешка. Пример извештаја након извршавања интеграционих тестова може се видети на слици .

Тестови система

Комплексност микросервисне архитектуре лежи у чињеници да се систем састоји од много независних компоненти које треба кохезивно да функцио-

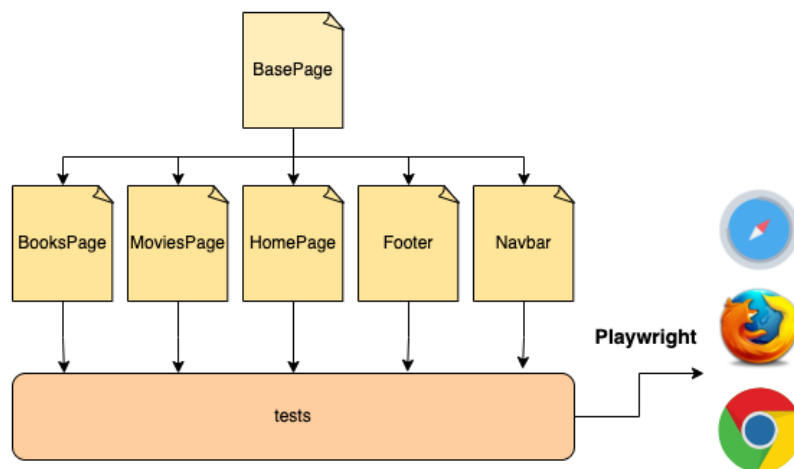
нишу. Системско тестирање микросервисне апликације подразумева проверу да ли целокупан систем испуњава претходно дефинисане захтеве.

Развојни оквир *Playwright* омогућава аутоматско покретање претраживача и тестирање апликације из угла корисника. На овај начин могуће је тестирати различите случајеве употребе система на брз и поновљив начин. Случајеви употребе који нису међусобно зависни могу се извршавати паралелно и на тај начин додатно убрзати процес тестирања с краја на крај, које важи за најспорију врсту тестирања.

Архитектурално решење коришћено за имплементацију системских тестова је модел странице као објекта. Класе које дефинишу елементе и методе на свакој од страница налазе се у директоријуму *pages*.

Страница *BasePage* представља базну класу за све друге странице и садржи опис елемената који се налазе на свакој страници апликације као и методе које управљају тим елементима. Свака од страница у конструктору садржи селекторе који описују елементе странице апликације. Странице *BookPage*, *MoviePage* и *HomePage* имплементирају интерфејсе за управљање главним страницама апликације, док су странице *Navbar* и *Footer* одговорне за управљање доњим и горњим менијем апликације респективно.

Тестови се налазе у директоријуму *e2e* и користећи интерфејс који пружају описане странице апликације тестирају функционалности система. Група тестова имплементирана је у једној датотеци. Тестови из исте групе извршавају се секвенцијално док се тестови из различитих група извршавају паралелно. Максималан број паралелних процеса као и друге конфигурационе променљиве дефинисане су у датотеци *playwright.config*. Детаљан приказ архитектуре коришћене за имплементацију налази се на слици 4.3.



Слика 4.3: Архитектурално решење системских тестова

У наставку је представљен тест који проверава случај употребе претраге књига где је очекиван резултат претраге цела страница резултата. Коришћењем дефинисаних интерфејса страница проверава се очекиван број резултата на страници као и укупан очекиван број резултата.

```

1  test("Valid search query - full page result", async ({ page }) => {
2      const booksPage = new BooksPage(page);
3      let numOfMovies = await booksPage.getNumOfBooksOnPage();
4      let totalNumOfResults = await booksPage.getTotalNumOfBooks();
5      await booksPage.search("Harry");
6      await booksPage.verifyNumOfBooksOnPageEquals(numOfMovies);
7      await booksPage.verifyTotalNumOfBooksLessThan(totalNumOfResults);
8  });

```

Listing 4.3: Тест случаја употребе — претрага књига

Системским тестовима покривени су најчешћи случајеви употребе апликације из угла корисника. Тестови су подељени у следеће групе:

- *footerTests* — група тестова за проверу функционалности заглавља странице,
- *navigationTests* — група тестова за проверу функционалности горњег навигационог менија,
- *paginationTest* — група тестова за проверу функционалности страничења на свим страницама које приказују више података,

- *searchBookTests* — група тестова за проверу функционалности претраге књига,
- *searchMovieTests* — група тестова за проверу функционалности претраге филмова.

Након извршавања групе системских тестова генерише се извештај у форми веб странице где је приказан проценат успешности тестова. Навигацијом кроз извештај могуће је видети који случај употребе и из ког разлога није успешно извршен. Извештај такође садржи и снимак екрана у оном тренутку када је тест неуспешно завршен.

Глава 5

Закључак

Библиографија

- [1] Apple. Webkit, 2021. on-line at: <https://webkit.org/>.
- [2] Pablo Calvo. WebDriver vs Chrome DevTools (Speed Test), 2021. on-line at: <https://dev.to/pjcalvo/webdriver-vs-chrome-devtools-speed-test-441h>.
- [3] MDN Contributors. Express/Node introduction, 2022. on-line at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs/Introduction.
- [4] Sequelize Contributors. Sequelize.js. on-line at: <https://sequelize.org/docs/v6/>.
- [5] Nikola Dimić. Gelos test project, 2022. on-line at: <https://github.com/d1mic/gelosTestProject>.
- [6] Kent C. Dodds. React testing library introduction, 2022. on-line at: <https://testing-library.com/docs/react-testing-library/intro/>.
- [7] OpenJS Foundation. About Node.js. on-line at: <https://nodejs.org/en/about/>.
- [8] Ganesh Hegde. Playwright Framework Tutorial: Learn Basics and Setup, 2022. on-line at: <https://www.browserstack.com/guide/playwright-tutorial>.
- [9] Tailwind Labs. Tailwind - Utility-First Fundamentals, 2022. on-line at: <https://tailwindcss.com/docs/utility-first>.
- [10] Mia Liang. Object - Relational Mapping, 2021. on-line at: <https://www.altexsoft.com/blog/object-relational-mapping/>.

- [11] Microsoft. Playwright - Getting started, 2022. on-line at: <https://playwright.dev/>.
- [12] Blake Mizerany. About Sinatra. on-line at: <http://sinatrarb.com/about.html/>.
- [13] Alexander Noel. Guide to monorepos. on-line at: <https://www.toptal.com/front-end/guide-to-monorepos>.
- [14] Node package manager team. About npm. on-line at: <https://docs.npmjs.com/about-npm>.
- [15] Meta Platforms. React - A JavaScript library for building user interfaces, 2022. on-line at: <https://reactjs.org/>.
- [16] SQLite project. About SQLite. on-line at: <https://www.sqlite.org/about.html>.
- [17] Remix. React router - main concepts, 2022. on-line at: <https://reactrouter.com/docs/en/v6/getting-started/concepts>.
- [18] IBM StrongLoop. Express.js. on-line at: <https://expressjs.com/>.
- [19] Bootstrap team. Bootstrap, 2022. on-line at: <https://getbootstrap.com/>.
- [20] Facebook Open Source team. Jest, 2022. on-line at: <https://jestjs.io/>.
- [21] Google Chrome team. Chromium, 2021. on-line at: <https://www.chromium.org/Home/>.
- [22] Garima Tiwari. Playwright vs Selenium: A Comparison, 2021. on-line at: <https://www.browserstack.com/guide/playwright-vs-selenium>.
- [23] SQLite tutorial team. What Is SQLite, 2022. on-line at: <https://www.sqlitetutorial.net/what-is-sqlite/>.
- [24] W3Schools. Node.js intro. on-line at: https://www.w3schools.com/nodejs/nodejs_intro.asp.
- [25] Artem Zakharchenko. Mock Service Worker - API mocking of the next generation, 2022. on-line at: <https://mswjs.io/docs/>.

Биографија аутора

Вук Стефановић Караџић (*Тршић, 26. октобар/6. новембар 1787. — Беч, 7. фебруар 1864.*) био је српски филолог, реформатор српског језика, сакупљач народних умотворина и писац првог речника српског језика. Вук је најзначајнија личност српске књижевности прве половине XIX века. Стекао је и неколико почасних доктората. Учествовао је у Првом српском устанку као писар и чиновник у Неготинској крајини, а након слома устанка преселио се у Беч, 1813. године. Ту је упознао Јернеја Копитара, цензора словенских књига, на чији је подстицај кренуо у прикупљање српских народних песама, реформу ћирилице и борбу за увођење народног језика у српску књижевност. Вуковим реформама у српски језик је уведен фонетски правопис, а српски језик је потиснуо славеносрпски језик који је у то време био језик образованих људи. Тако се као најважније године Вукове реформе истичу 1818., 1836., 1839., 1847. и 1852.