

UNIVERZITET U BEOGRADU
MATEMATIČKI FAKULTET



Ana Petrović

TESTIRANJE FUNKCIONALNOG KODA

master rad

Beograd, 2023.

Mentor:

dr ImePREZIME, redovan profesor
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Članovi komisije:

dr Ime PREZIME, vanredni profesor
University of Disneyland, Nedodija

dr Ime PREZIME, docent
Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet

Datum odbrane: _____

Naslov master rada: Testiranje funkcionalnog koda

Rezime: Apstrakt

Ključne reči: funkcionalno programiranje, testiranje, verifikacija softvera, programski jezik Elixir, programski jezik Elm

Sadržaj

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Uvod | 1 |
| 2 | Funkcionalna paradigma | 2 |
| 2.1 | Karakteristike funkcionalnih jezika | 2 |
| 2.2 | Testiranje uopšteno (smisliti naslov) | 5 |
| 2.3 | Testiranje funkcionalnih programa | 10 |
| 3 | Portal MSNR | 13 |
| 3.1 | Funkcionalnosti i osnovni entiteti portala | 13 |
| 3.2 | Arhitektura portala | 14 |
| 4 | Testiranje serverskog dela aplikacije | 16 |
| 4.1 | Testiranje jedinica koda | 18 |
| 4.2 | Integraciono testiranje | 19 |
| 5 | Testiranje klijentskog dela aplikacije | 20 |
| 6 | Integracija klijentske i serverske strane | 21 |
| 7 | Testiranje celokupnog sistema — End to End | 22 |
| 8 | Testiranje opterećenja | 23 |
| 9 | Zaključak | 24 |
| | Bibliografija | 25 |

Glava 1

Uvod

Ovde ide uvod

Glava 2

Funkcionalna paradigma

Funkcionalno programiranje je specifičan pristup programiranju, tj. programska paradigma, koja se zasniva na pojmu matematičke funkcije. Programi se kreiraju pomoću izraza i funkcija, bez izmena stanja i podataka [4]. Iz tog razloga, jednostavniji su za razumevanje i otporniji na greške u odnosu na imperativne programe. U slučaju funkcionalnih programskih jezika, osnovna apstrakcija je *funkcija*. Programski stil je deklarativnog tipa i umesto naredbi koriste se izrazi, tako da se izvršavanje programa svodi na evaluaciju izraza. Vrednost izraza je nezavisna od konteksta u kojem se izraz nalazi. Osnovna osobina čistih funkcionalnih jezika (eng. *pure functional programming language*) jeste transparentnost referenci, što kao posledicu ima nepostojanje propratnih efekata. Sa druge strane, nečisti funkcionalni jezici (eng. *impure functional programming language*) su manje elegantni jer dozvoljavaju bočne efekte, koji mogu izazvati suptilne greške i biti teži za razumevanje. Međutim, praktičniji su za specifične vrste zadataka, kao što je programiranje korisničkog interfejsa ili rad sa bazom podataka.

Funkcionalni jezici zasnovani su na *lambda računu* (eng. *λ -calculus*), čija je osnovna svrha da dá definiciju izračunljivosti. Pored toga što se smatra prvim funkcionalnim jezikom, lambda račun se naziva i najmanjim programskim jezikom na svetu. Sve što se može izračunati lambda računom smatra se izračunljivim. Ekspresivnost funkcionalnih jezika ekvivalentna je ekspresivnosti Turingove mašine [11].

2.1 Karakteristike funkcionalnih jezika

U nastavku su objašnjene že od najvažnijih osobina jezika funkcionalne paradigme.

Čista funkcija

Čista funkcija (eng. *pure function*) ima dve osnovne karakteristike:

- Uvek proizvodi isti izlaz za iste vrednosti argumenata
- Imutabilnost

Druga osobina podrazumeva da ne postoje bočni efekti, tj. čista funkcija ne vrši nikakve izmene nad argumentima, kao ni nad promenljivima. Jedini rezultat čiste funkcije jeste vrednost koju ona vrati. Kao posledica ovoga, funkcionalni programi su laki za debugovanje. Čiste funkcije takođe olakšavaju paralelizaciju i konkurentnost aplikacija. Na osnovu ovako napisanih programa, kompilator lako može da paralelizuje naredbe, sačeka da evaluiira rezultate kada budu potrebni, i na kraju da zapamti rezultat, s obzirom na to da se on neće promeniti sve dok ulaz ostaje isti. Kod 2.1 prikazuje primer jedne čiste funkcije u programskom jeziku Elixir.

```
defmodule Math do
  def fibonacci(0) do 0 end
  def fibonacci(1) do 1 end
  def fibonacci(n) do fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2) end
end

IO.puts Math.fibonacci(9)
```

Listing 2.1: Primer čiste funkcije

Rekurzija

Za razliku od imperativnog programiranja, kod funkcionalno napisanih programa može se primetiti odsustvo petlji. Funkcije se definišu rekurzivno — pozivaju same sebe i time postižu ponavljanje izvršavanja. U mnogim slučajevima, umesto rekurzije se koriste funkcije višeg reda.

Funkcije kao građani prvog reda

U funkcionalnim programima, funkcije se smatraju građanima prvog reda (eng. *First Class Citizen*). To znači da u okviru jezika ne postoje restrikcije po pitanju njihovog

kreiranja i korišćenja. Građani prvog reda su entiteti u okviru programskog jezika koji mogu biti:

- deo nekog izraza
- dodeljeni nekoj promenljivoj
- prosleđeni kao argument funkcije
- povratne vrednosti funkcije

Mogućnost prosleđivanja funkcija kao argumenata drugih funkcija je ključna za funkcionalnu paradigmu.

Funkcije višeg reda

Funkcija višeg reda je funkcija koja kao argument uzima jednu ili više funkcija i/ili ima funkciju kao svoju povratnu vrednost. U funkcionalnom programiranju se intenzivno koriste ovakve funkcije, a po svojoj važnosti se posebno izdvajaju *map*, *filter* i *reduce (fold)*. Funkcija *map* kao argumente prima funkciju i listu, i zatim primeni datu funkciju na svaki element liste i kao povratnu vrednost proizvodi novu listu. Upotrebom funkcije *filter* mogu se eliminisati neželjeni elementi neke liste — na osnovu prosleđene funkcije predikata i date liste, *filter* vraća listu sa elementima koji ispunjavaju dati kriterijum. *Fold* prihvata tri argumenta: funkciju spajanja, početnu vrednost i listu. Iznova primenjuje funkciju spajanja na početnu vrednost i datu listu, sve dok se rezultat ne redukuje na jednu vrednost. Primer koda 2.2 pokazuje upotrebu funkcija višeg reda u programskom jeziku Elm. Prednost korišćenja ovih funkcija je u paralelnom izvršavanju, s obzirom da funkcionalni programi nemaju stanje. Takođe, daju jako sažet i čist kod.

```
[1, 2, 3] |> List.map (\number -> number * 2) -- [2, 4, 6]
[1, 2, 3, 4, 5] |> List.filter (\number -> number <= 3) -- [1, 2, 3]
[1, 2, 3, 4, 5] |> List.foldl (\item total -> total + item) 0 -- 15
```

Listing 2.2: Funkcije višeg reda

Transparentnost referenci

Koncept referencijalne transparentnosti se odnosi na to da je vrednost izraza jedinstveno određena. Izraz se može zameniti svojom vrednošću na bilo kom mestu

u programu, bez promene u ponašanju programa. Definicija se može proširiti i na funkcije: funkcija je referencijalno transparentna ako se pri pozivu sa istim vrednostima argumenata uvek dobije isti rezultat. Ponašanje takve funkcije je određeno njenim ulaznim vrednostima. Kao posledica, redosled naredbi u funkcionalnim programskim jezicima nije važan.

2.2 Testiranje uopšteno (smisliti naslov)

Testiranje koda je jedan od najvažnijih aspekata u procesu razvoja softvera. Cilj testiranja je pronalaženje grešaka, proverom da li su ispunjeni svi funkcionalni i nefunkcionalni zahtevi [1]. Softver koji ne radi onako kako je predviđeno može dovesti do različitih problema, kao što su gubitak novca i vremena, ili u najgorim slučajevima — povrede ili smrti. Testiranjem se osigurava kvalitet softvera i smanjuje rizik od neželjenog ponašanja. Glavna uloga testiranja jeste verifikacija softvera — proveru da li sistem zadovoljava specifikaciju, ali uključuje i validaciju — proveru da li sistem ispunjava sve potrebe korisnika.

Razvoj vođen testovima (eng. *Test-Driven Development*, *TDD*) je praksa u razvoju softvera koja nalaže da se prvo napišu testovi. Ti testovi na početku ne prolaze, s obzirom na to da kod još uvek nije implementiran, a zatim se iznova pokreću tokom pisanja samog koda, sve dok ne prođu. Ova tehnika kontinualnog testiranja tokom razvoja se često preporučuje jer se lako i veoma rano uoče greške i time sprečavaju u kasnijim fazama razvoja. Ipak, u ovom radu neće biti primenjen TDD pristup. Kako je tema testiranje, fokus nije na pisanju koda aplikacije, već testova za već napisan projekat. Aplikacija koja će biti testirana služi samo kao primer na kome će biti prikazani značajni koncepti testiranja funkcionalnih programa. Kratak opis testiranog projekta biće preciznije objašnjen u poglavlju 3.

Organizacija testova

Model piramide testiranja (prikazan na slici 2.2) je koncept koji pomaže u razmišljanju o tome kako testirati softver [10]. Uloga piramide je da vizuelno predstavi logičku organizaciju standarda u testiranju. Sastoji se od tri sloja: bazu piramide predstavljaju jedinični testovi (eng. *Unit Test*). Njih bi trebalo da bude najviše — kako su najmanji, samim tim su i najbrži, a izvršavaju se u potpunoj izolaciji. Na sledećem nivou, u sredini piramide, nalaze se integracioni testovi (ili testovi servisa).

Integracija podrazumeva način na koji različite komponente sistema rade zajedno. Nisu potrebne interakcije sa korisničkim interfejsom, s obzirom na to da ovi testovi pozivaju kôd preko interfejsa. Vrh piramide čine sistemski testovi. Oni se ne fokusiraju na individualne komponente, već testiraju čitav sistem kao celinu i time utvrđuju da on radi očekivano i ispunjava sve funkcionalne i nefunkcionalne zahteve. Takvi testovi su prilično skupi, pa je potrebno doneti odluku koliko, i koje od njih se isplati sprovesti. Jedna vrsta sistemskih testova su takozvani E2E testovi¹, koji simuliraju korisničko iskustvo kako bi osigurali da sistem funkcioniše kako treba, od korisničkog interfejsa pa sve do bekenda. Testovi korisničkog interfejsa (eng. *User Interface tests*, *UI tests*) se staraju o tome da se korisnički interfejs ponaša na očekivan način. Obično su automatski i simuliraju interakcije pravih korisnika sa aplikacijom, kao što su pritiskanje dugmića, unos teksta i slično. S obzirom na to da oni proveravaju da sistem, zajedno sa svojim korisničkim interfejsom, radi kako treba — mogu se u određenom kontekstu smatrati sistemskim testovima, ali su ipak specifičniji i mogu se testirati nezavisno od celokupnog sistema.

U opštem slučaju, testiranje projekta koji se sastoji od više slojeva podrazumeva kombinaciju jediničnih, integracionih i sistemskih testova kako bi se osigurala ukupna funkcionalnost, pouzdanost i performanse sistema.



Slika 2.1: Model piramide testiranja

¹E2E je skraćenica za testove sa kraja na kraj (eng. *End-to-End*)

Testovi jedinica koda

Jedinica je mala logička celina koda: može biti funkcija, klasa, metod klase, modul i slično. Jedinični test proverava samo da li se data jedinica ponaša prema svojoj specifikaciji. Ovi testovi se mogu pisati u potpunoj izolaciji, i ne zavise ni od jedne druge komponente, servisa, ni korisničkog interfejsa. Dakle, izdvajaju se najmanji testabilni delovi aplikacije i proverava se da li rade ono za šta su namenjeni. Ovi testovi su najjednostavniji za pisanje jer se bave malim delom aplikacije, te je kod koji se testira najčešće vrlo jednostavan.

Pri dizajniranju jediničnih testova, neophodno je razmišljati o sledećim ciljevima:

1. Dokazati da kod radi ono za šta je namenjen
2. Sprečiti greške — izmena jednog dela koda može izazvati grešku u nekom drugom delu
3. Utvrditi lokaciju dela koda koji izaziva grešku
4. Napisati najmanju moguću količinu koda za testiranje

Anatomija jediničnih testova

Kako bi kôd jediničnog testa bio čitljiv i jednostavan za razumevanje, obrazac četvorofaznog testa (eng. *Four-Phase Test*) predlaže strukturu testa koja podrazumeva ne više od četiri faze [13]. Svaki test jedinice koda se može podeliti na četiri jasno odvojive celine:

1. Priprema (eng. *Setup*) — sređivanje podataka koji će se prosledivati pred samu proveru, često nije neophodna u testiranju čisto funkcionalnih programa.
2. Delovanje (eng. *Exercise*) — pozivanje koda koji se testira, ključni deo svakog testa.
3. Verifikacija (eng. *Verify*) — često deo prethodne faze, u ovom delu testovi proveravaju ponašanje koda.
4. Rušenje (eng. *Teardown*) — vraćanje podataka na prvobitno stanje, npr. ako se u prvoj fazi koriste neka deljena stanja, kao što je baza podataka. Često implicitno.

Konkretni primer ovako organizovanog testa u programskom jeziku Elm dat je u primeru 2.3. Definisan je jednostavan test, koji proverava funkciju koja uvećava broj za jedan. U fazi pripreme se broj inicijalizuje na nulu. U fazi delovanja poziva se funkcija `testIncrement`, zatim se proverava da li je rezultat jednak očekivanom u fazi verifikacije. Faza rušenja u ovom slučaju ne treba da uradi ništa, te jednostavno vraća `()`.

```
import Json.Decode as Decode exposing (Int)
import Test exposing (..)

-- Setup
setup : Int
setup =
    0

-- Exercise
testIncrement : Int -> Test
testIncrement n =
    let
        result = n + 1
    in
        --Verify
        Expect.equal result 1

-- Teardown
teardown : Int -> ()
teardown _ =
    ()
```

Listing 2.3: Četiri faze jediničnog testa

Integracioni testovi

Jedan od ključnih koraka u razvoju softvera jeste pisanje integracionih testova. Oni utvrđuju da li različite komponente sistema rade zajedno na predviđen način. Pojedinačni moduli i komponente se kombinuju i testiraju kao jedna celina. Cilj integracionog testiranja jeste identifikacija i rešavanje problema koji mogu nastati nakon što se komponente softverskog sistema integrišu i krenu da međusobno ko-

municiraju. Svaka od njih pojedinačno možda radi kako treba, ali nakon što se to utvrdi jediničnim testovima, potrebno je proveriti da li će njihova interakcija izazvati neželjeno ponašanje.

Integraciono testiranje se može izvoditi na različitim nivoima procesa razvoja — mogu biti i testovi jedinica koda, sistemski testovi, ili testovi prihvatljivosti² (eng. *Acceptance testing*).

U zavisnosti od potreba konkretnog sistema, postoje različiti pristupi integracionom testiranju. Ako su komponente viših nivoa kritične za funkcionalnost sistema, ili od njih zavisi mnogo drugih komponenti, ima smisla prvo testirati njih, pa kasnije postepeno preći na komponente nižih nivoa. Ovakav pristup se naziva testiranje od ozgo nadole (eng. *Top-down integration testing*). U suprotnom, ako su komponente nižih slojeva arhitekture kritičnije za celokupan sistem, predlaže se testiranje odozdo nagore (eng. *Bottom-up integration testing*). Hibridno integraciono testiranje (eng. *Hybrid integration testing*) podrazumeva kombinaciju prethodna dva — započinje sa testovima komponenti najvišeg sloja, zatim se prelazi na testiranje najnižeg sloja, sve dok se postepeno ne stigne do središnjih. Kada je sistem relativno jednostavan i ne postoji veliki broj komponenti, može se primeniti pristup po principu "velikog praska" (eng. *Big-bang integration testing*), koji podrazumeva testiranje svih komponenti odjednom, kao jedne celine.

Ako se komponente nalaze u okviru istog sistema, gde postoji kontrola i neko očekivano ponašanje — integracioni testovi su prilično jednostavni. Međutim, kada su u pitanju spoljašnje komponente i testiranje interakcije sistema sa njima, pisanje integracionih testova postaje malo komplikovanije. Mnoge aplikacije koriste baze podataka, druge servise ili API-je, sa kojima se testovi moraju uskladiti. U testovima se mogu koristiti pravi podaci, ili se umesto njih ubaciti takozvani dubleri (eng. *Test doubles*).

Integraciono testiranje je neophodno da bi se obezbedio kvalitetan i pouzdan softver, i zahvaljujući njemu rano se uočavaju različiti problemi do kojih može doći i time značajno redukuje vreme i cena celokupnog razvoja.

²Vrsta testiranja korisničkog iskustva — koliko je softver razumljiv i udoban za korišćenje od strane korisnika.

2.3 Testiranje funkcionalnih programa

Čiste funkcije samo uzimaju argumente i proizvode izlaz, ne prave nikakve izmene niti imaju skrivene izlaze. Koriste imutabilne vrednosti, i time olakšavaju pronalaženje određenih problema u programima. Testiranje i debagovanje ovako napisanih programa postaje mnogo jednostavnije. Najvažnija stvar kod testiranja u funkcionalnoj paradigmi jeste pisanje čistih funkcija i njihovo testiranje u izolaciji, kako bi se obezbedila ispravnost i robustnost. Takođe je važno da se ne testira samo uspešan scenario, već i granični slučajevi, kao i slučajevi greške.

Testiranje čistih funkcija

Najjednostavniji kod za testiranje jeste čista funkcija. Ako postoji bilo kakva izmena u podacima, takva funkcija nije čista. Pri testiranju čiste funkcije, s obzirom da ne postoje propratni efekti, test može da se fokusira samo na dve stvari: ulazne podatke i na sam izlaz funkcije.

Kada je u pitanju čista funkcija, jedina priprema koja je potrebna jesu podaci koji će se proslediti kao parametri. Drugi korak jeste poziv funkcije, sa prosleđenim argumentima. Faza verifikacije su samo provere nad rezultatom, i samo nad rezultatom. Testovi su veoma jednostavni jer ne moraju da brinu o bočnim efektima i njihovim neželjenim posledicama, i uvek će dobijati isti odgovor od testiranog koda, ma koliko puta bili pokrenuti.

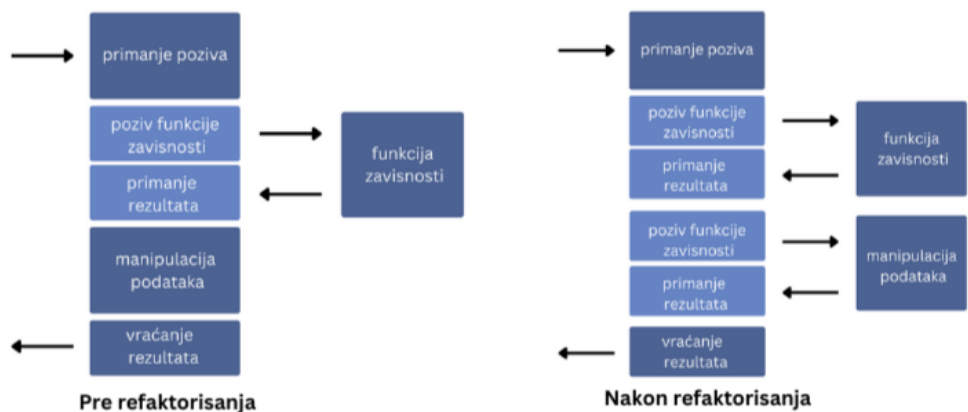
Aplikacije se u većini slučajeva neće sastojati od isključivo čistih funkcija, i u vezi sa tim postoje dve strategije [12]. Prva je izdvojiti logiku u čiste funkcije, a druga dizajnirati funkcije tako da koriste neku od metoda ubrizgavanja zavisnosti (eng. *Dependency injection*)³, što omogućava izolaciju koda.

Refaktorisanje ka čistim funkcijama

Ako je neki deo koda komplikovan za testiranje, najlakši način da se pojednostavi jeste refaktorisati ga u čistu funkciju, ukoliko je to moguće. Deo koda koji zavisi od nekog drugog dela iz spoljašnjosti će u većini slučajeva pozivati tu spoljašnju zavisnost i onda manipulirati rezultatom pre nego što vrati svoj rezultat. Što više takve manipulacije ima, to je taj deo koda bolji kandidat za premeštanje logike

³Ubrizgavanje zavisnosti je obrazac u kom objekat ili funkcija prihvata druge objekte ili funkcije od kojih zavisi. Jedan od oblika inverzije kontrole, za cilj ima da razdvoji konstrukciju i upotrebu objekata i time smanjuje spregnutost programa.

unutar čiste funkcije. Na slici 2.3 su date vizuelne reprezentacije kako ovaj proces izgleda pre i posle izmeštanja koda u čistu funkciju. Na početku, funkcija može biti komplikovana za testiranje. Svaki test, za svaki mogući način ponašanja bi nekako morao da garantuje da druga funkcija (ona od koje zavisi prva) vraća neki očekivani odgovor. Ideja je da se deo logike (na slici označen sa “manipulacija podataka”) izvuče van — u novu, čistu funkciju. Tako postaje zasebna komponenta, koja se može odvojeno lako testirati. Kada je taj deo logike dobro istestiran, može se smatrati sigurnim da se ponovo pozove u originalnoj funkciji. Zna se da će taj čisti kod uvek vraćati isti rezultat, i može se značajno redukovati broj testova neophodnih za testiranje originalne funkcije. U primeru koda... TODO primer



Slika 2.2: Izmeštanje koda u čistu funkciju

U nekim slučajevima, nije lako odrediti šta se može izdvojiti u zasebnu funkciju. Tada postoji druga opcija za kreiranje kontrolisanog okruženja: napraviti zamenu za funkciju zavisnosti, i time izolovati kod.

Izolovanje koda

Ubrizgavanjem zavisnosti i kreiranjem dublera moguće je eliminisati spoljašnje promenljive, i time kontrolisati situaciju u kojoj kod koji se testira mora da se nađe. Tako se omogućava očekivanje nekog konkretnog rezultata.

Zavisnost je bilo koji kod na koji se originalni kod oslanja. Korišćenjem DI (skraćénica za Dependency Injection) u testovima se kreiraju zamene zavisnosti koje se ponašaju na predvidljiv način, pa testovi mogu da se fokusiraju na logiku unutar

koda koji se testira. U jediničnim testovima, najčešće se ubrizgava zavisnost tako što se prosledi kao parametar. Taj parametar može biti funkcija ili modul. Ubrizgavanje zavisnosti kroz API⁴ obezbeđuje čist kod i jednostavne i kontrolisane jedinične testove. Sa druge strane, integracioni testovi zahtevaju drugačije metode ubrizgavanja zavisnosti. TODO nastavak...

TODO ovde ide jos....

⁴skraćenica za aplikacioni veb interfejs (eng. *Web Applicatoin Programming Interface*)

Glava 3

Portal MSNR

Kôd aplikacije pod nazivom *portal MSNR* koja će biti testirana javno je dostupan na *GitHub-u* [2]. Portal MSNR je veb aplikacija namenjena praćenju i upravljanju aktivnostima kursa *Metodologija stručnog i naučnog rada* [14]. Studenti na ovom kursu treba da steknu različite veštine koje se tiču pravilnog pisanja i recenziranja naučnih radova, pisanja CV-a, držanja prezentacija, i komunikacije u radu na timskim projektima.

3.1 Funkcionalnosti i osnovni entiteti portala

Različite aktivnosti na kursu *Metodologija stručnog i naučnog rada* implementirane su kao funkcionalnosti aplikacije. Korisnik portala može imati jednu od dve uloge: *student* ili *profesor*. Student na početku mora da podnese zahtev za registraciju, koju nakon toga odobrava profesor, i zatim student ima mogućnost da se prijavi na portal. Jedna od obaveza studenata na kursu jeste pisanje seminarskog rada — profesor vrši odabir tema za tekuću godinu, a studenti treba da prijave svoju grupu za izradu seminarskog rada. Student ima i opciju da se prijavi za recenziranje radova drugih studenata, ukoliko to želi. Drugi zadatak koji se očekuje od studenata jeste pisanje CV-a. U okviru portala, student može priložiti tri različite vrste dokumenata — prvu verziju seminarskog rada, recenzije, i svoju prvu verziju CV-a. Profesor, pored toga što vrši pregled zahteva za registraciju i odabir tema, ima mogućnost dodavanja svih aktivnosti tokom godine, i na kraju — njihovo ocenjivanje.

Entiteti

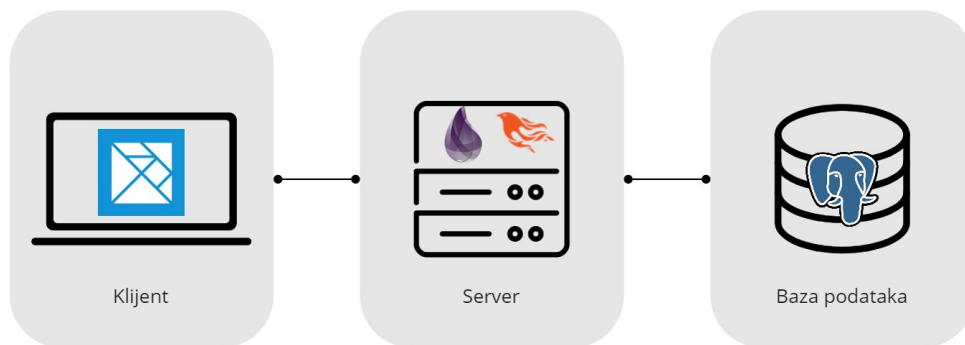
Osnovni entiteti aplikacije predstavljeni su tabelama u bazi podataka i relacijama između njih. Svaki od entiteta će detaljnije biti objašnjen kasnije, pri njihovom pojedinačnom testiranju, a njihovi nazivi dati su sledećom listom:

- **Zahtev za registraciju studenata** — tabela *student_registrations*
- **Korisnik** — tabela *users*
- **Semestar** — tabela *semester*
- **Student** — tabele *students* i *student_semester*
- **Grupa** — tabela *groups*
- **Tema seminarskog rada** — tabela *topics*
- **Aktivnost i tip aktivnosti** — tabele *activities* i *activity_types*
- **Dodeljene aktivnosti** — tabela *assignments*
- **Dokument** — tabele *documents* i *assignments_documents*

3.2 Arhitektura portala

MSNR portal je primer klijent/server aplikacije koja se sastoji od tri sloja. Klijentski sloj implementiran je u programskom jeziku *Elm*, kao jednostranična aplikacija (eng. *Single Page Application* — *SPA*) koja predstavlja korisnički interfejs. U sredini se nalazi aplikacioni veb interfejs koji je implementiran u *Elixir* programskom jeziku pomoću razvojnog okvira *Phoenix*, u stilu arhitekture *REST* (eng. *Representational State Transfer*) [5]. Treći sloj predstavlja relaciona baza podataka, i sistem za upravljanje bazom *PostgreSQL* [7]. Slika 3.2 prikazuje navedenu arhitekturu.

Testiranje različitih slojeva aplikacije MSNR portal će biti sprovedeno u narednim poglavljima. Na početku će se testirati individualne funkcije i upravljači koji barataju zahtevima i odgovorima u okviru koda za serverski deo aplikacije. Jedinični testovi koji će to raditi prikazani su u delu 4.1. Nakon toga, potrebno je testirati komunikaciju aplikacionog interfejsa sa bazom podataka — u sekciji 4.2 prikazani su integracioni testovi koji simuliraju zahteve API-ju i verifikuju odgovore od baze.



Slika 3.1: Arhitektura portala MSNR
slika preuzeta iz: MasterRadNemanjaSubotic.pdf

Poglavlje 5 se odnosi na testove Elm koda, koji se fokusiraju na pojedinačne komponente i funkcije korisničkog interfejsa. Sledeća vrsta testova, prikazana u poglavlju 6, su integracioni testovi koji proveraju kako korisnički interfejs funkcioniše zajedno sa API-jem. U poglavlju 7 testira se celokupan sistem. Testovi proveravaju da li sve komponente, od korisničkog interfejsa do baze podataka, funkcionišu na ispravan način. Na samom kraju, testirane su performanse sistema. Testiranje opterećenja (eng. *Load testing*) — provera kako API podnosi velike količine korisnika i zahteva, prikazano je u poglavlju 8.

Glava 4

Testiranje serverskog dela aplikacije

Razvojni okvir *Phoenix* koristi se za razvoj veb aplikacija u programskom jeziku Elixir [9]. Zasnovan je na obrascu *model-pogled-upravljач* (eng. *Model-View-Controller pattern, MVC*). Serverski deo aplikacija MSNR portal implementiran je kao *Phoenix* projekat. Preciznije, projekat je u osnovi *Mix* projekat, sa *Phoenix* proširenjima. Pored konfiguracione datoteke *mix.exs*, i direktorijuma *lib* koji sadrži osnovni kôd aplikacije, kreira se i direktorijum *test*. Unutar ovog direktorijuma će biti smešteni svi testovi vezani za serversku stranu aplikacije.

TODO...

Kôd napisan u Elixir-u zavisi od nekoliko Erlang biblioteka. Međutim, kada je testiranje koda u pitanju, alati i biblioteke koji se koriste su jedinstveni za svaki od ova dva jezika. Ovde će se govoriti o testiranju isključivo Elixir koda.

Zajedno sa ovim jezikom dolazi njegov razvojni okvir za testiranje, ExUnit [3]. U ovom poglavlju biće predstavljeni različiti koncepti testiranja u programskom jeziku Elixir, kroz pisanje testova za serverski deo aplikacije MSNR portal. Na primeru ove aplikacije, objašnjeni su načini pisanja testova za funkcionalni kod. U narednim sekcijama, prikazano je testiranje v

4.1 Testiranje jedinica koda

ExUnit je Elixir-ov ugrađeni razvojni okvir koji ima sve što je neophodno za iscrpno testiranje koda i biće osnova za sve testove kroz ovo poglavlje. S obzirom na to da je Elixir funkcionalni jezik, može se diskutovati o tome šta se smatra

„jedinicom”. Uobičajeno je da se jedinični testovi fokusiraju na pojedinačnu funkciju i njenu logiku, kako bi se opseg testa održavao što užim, radi bržeg pronalaženja grešaka. Međutim, nekada ima smisla da se u opseg testa uključi više modula ili procesa, i time se proširi definicija jedinice koda. Znati kada treba proširiti taj opseg može mnogo uticati na smanjivanje kompleksnosti i održavanje samih testova.

Pisanje testova u programskom jeziku Elixir je moguće bez potrebe za drugim bibliotekama, jer razvojni okvir ExUnit je razvijan zajedno sa samim jezikom od početka. U ovom delu, biće prikazani jednostavni jedinični testovi, koji će prikazati neke osnovne koncepte koje nudi ExUnit.

Svita testova (eng. *Test suite*) je kolekcija testova slučajeva upotrebe, koji imaju isti posao, ali različite scenarije. Ona može služiti kao dokumentacija, sa opisima o očekivanom ponašanju koda, tako da treba voditi računa da bude dobro organizovana. ExUnit dolazi sa veoma korisnim funkcijama i makroima koji omogućavaju tu organizaciju u jednu čitljivu i održivu datoteku. Alat *describe* omogućava davanje opisa grupe testova, kao i dodeljivanja zajedničke pripreme podataka za celu grupu. Preporuka je za početak grupisati testove po funkciji, kao što je prikazano u primeru koda 4.1, ali odluka o načinu grupisanja je na pojedincu. Svrha je čitljivost i lakše razumevanje.

```
defmodule MyApp.ModuleTest do
  use ExUnit.Case

  describe "thing_to_do/1" do
    test "it returns :ok, calls the function if the key is
    correct"
    test "it does not call the function if the key is wrong"
  end
end
```

Listing 4.1: Opisivanje testova unutar jedne grupe

Testovi u Elixir projektima se uglavnom čuvaju u direktorijumu projekta */test*, i organizuju se u module i test slučajeve. U prethodnom primeru koda, modul pod nazivom ModuleTest se sastoji od dva test slučaja.

Pisanje ExUnit testova

Za svaku funkciju ili upravljač potrebno je napisati test slučajeve. Jedan test slučaj se sastoji iz funkcije testa koja poziva funkciju ili upravljač i proverava očekivani rezultat.

ovde jos ... , primeri , ...

4.2 Integraciono testiranje

Nakon dobro istestiranih pojedinačnih funkcija i modula, potrebno je proveriti da li komponente funkcionišu ispravno kao celina. U ovom poglavlju biće prikazani testovi koji proveravaju da li različiti delovi sistema koji komuniciraju međusobno, kao i sa nekim eksternim sistemima, rade to na ispravan način.

Test dubleri

Neki podnaslov

U aplikaciji MSNR portal — TODO konkretni primeri ...

Glava 5

Testiranje klijentskog dela aplikacije

Glava 6

Integracija klijentske i serverske strane

Glava 7

Testiranje celokupnog sistema — End to End

Glava 8

Testiranje opterećenja

Glava 9

Zaključak

Bibliografija

- [1] on-line at: https://istqb-main-web-prod.s3.amazonaws.com/media/documents/ISTQB-CTFL_Syllabus_2018_v3.1.1.pdf.
- [2] Adresa sa implementacijom portala msnr. on-line at: <https://github.com/NemanjaSubotic/master-rad/tree/master/portal>.
- [3] ExUnit. on-line at: https://hexdocs.pm/ex_unit/ExUnit.html.
- [4] Functional programming paradigm. on-line at: <https://www.geeksforgeeks.org/functional-programming-paradigm/>.
- [5] Rest architectural style. on-line at: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm.
- [6] Zvanična dokumentacija biblioteke ecto. on-line at: <https://hexdocs.pm/ecto/Ecto.html>.
- [7] Zvanična stranica baze podataka postgresql. on-line at: <https://www.postgresql.org>.
- [8] Zvanična stranica programskog jezika Elixir. on-line at: <https://elixir-lang.org/>.
- [9] Zvanična stranica razvojnog okruženja phoenix. on-line at: <https://www.phoenixframework.org>.
- [10] M. Cohn. *Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum*. A Mike Cohen signature book. Addison-Wesley, 2010.
- [11] Liesbeth De Mol. Turing Machines. In Edward N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University, Winter 2021 edition, 2021.

BIBLIOGRAFIJA

- [12] Andrea Leopardi and Jeffrey Matthias. *Testing Elixir - Effective and Robust Testing for Elixir and its Ecosystem*. Pragmatic Bookshelf, 2021.
- [13] Gerard Meszaros. *xUnit Test Patterns: Refactoring Test Code*. Addison-Wesley, 2007.
- [14] Nemanja Subotić. Programski jezici elm i elixir u razvoju studentskog veb portala, 2022. on-line at: <http://elibrary.matf.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/5482/MasterRadNemanjaSubotic.pdf?sequence=1>.