

**UNIWERSYTET GDAŃSKI**  
**Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki**

**Dorian Sawa**

nr albumu: 186 445

# **System weryfikacji jakości kodu w języku Scala**

Praca magisterska na kierunku:

**INFORMATYKA**

Promotor:

**dr Wiesław Pawłowski**

Gdańsk 2014



## **Streszczenie**

Scala to język wspierający paradygmaty programowania obiektowego i funkcyjnego. Rosnąca w ostatnim czasie popularność Scali przyczyniła się do powstania wielu narzędzi pozwalających na testowanie programów napisanych właśnie w tym języku. Niniejsza praca zgłębia temat wspomnianych narzędzi oraz ich wykorzystania jako podstawy systemu pozwalającego na automatyzację kontroli jakości kodu.

## **Słowa kluczowe**

Scala, Play Framework, Simple Build Tool, ScalaTest, ScalaCheck



# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b>	7
<b>1. Idea systemu</b>	9
1.1. Język Scala	10
1.1.1. Aspekt obiektowy	11
1.1.2. Aspekt funkcyjny	14
1.1.3. Pozostałe cechy	16
1.2. Środki do osiągnięcia celu	19
1.2.1. Simple Build Tool	20
1.2.2. ScalaTest	21
1.2.3. ScalaCheck	22
<b>2. Testowanie kodu</b>	23
2.1. Mechanizm testów jednostkowych	23
2.2. ScalaTest	24
2.2.1. Style specyfikacji	25
2.2.2. Weryfikatory	27
2.2.3. Cecha GivenWhenThen	30
2.2.4. Przechwytywanie wyjątków	31
2.3. ScalaCheck	32
2.3.1. Klasa Properties	32
2.3.2. Cecha Gen	33
2.3.3. Klasa Arbitrary	34
2.3.4. Integracja ze ScalaTest	35
<b>3. System weryfikacji jakości kodu</b>	37
3.1. Użytkownicy	38
3.1.1. Administrator	38
3.1.2. Prowadzący	38
3.1.3. Uczestnik	41

3.2. Struktura . . . . .	43
3.2.1. Aktorzy . . . . .	44
3.2.2. Aplikacja zarządzająca . . . . .	47
3.2.3. Aplikacja testująca kod . . . . .	48
3.3. Zastosowane technologie . . . . .	50
3.3.1. Play Framework . . . . .	51
3.3.2. MongoDB . . . . .	51
3.3.3. RabbitMQ . . . . .	52
3.3.4. AngularJS . . . . .	53
<b>Zakończenie . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>A. Repozytoria aplikacji . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>Bibliografia . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>Spis tablic . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>Spis rysunków . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>Oświadczenie . . . . .</b>	<b>61</b>

# Wprowadzenie

Scala jest nowoczesnym językiem programowania działającym na wirtualnej maszynie Javy. Przez cały czas – od chwili opublikowania jest językiem stale rozwijanym. Powstało wiele narzędzi i bibliotek wprowadzających do Scali ciekawe rozwiązania związane z testowaniem kodu, czy programowaniem współbieżnym. Współcześnie wiele szanowanych firm korzysta z systemów napisanych w tym języku. Napisane dla celów wewnętrznych, czy też komercyjnych spełniają swoje zadania z sukcesami. Wśród firm korzystających z technologii Scali znaleźć można między innymi LinkedIn, Twitter czy Intel.

Scala jest językiem całkowicie zorientowanym obiektowo. Posiada również wszystkie elementy jakich można oczekiwać od języka funkcyjnego. Sprawnie łączy ze sobą te dwie techniki programowania. Ponadto, jest to język statycznie typowany, który zachęca do pisania czytelnego i zwięzłego kodu. Przy wielu zaletach jakie ze sobą niesie możliwość programowania w Scali, udział procentowy tego języka na tle konkurencji jest wciąż stosunkowo nieduży. Oczywiście proporcjonalnie do takiego rozkładu wygląda również sytuacja programistów Scali na rynku pracy. Jednym z impulsów do zmiany tego faktu mogłaby być specjalna platforma pozwalająca przyspieszyć proces nauki Scali. Na tym zagadnieniu skupia się niniejsza praca.

Zaprojektowany i opisywany system powstał na bazie nowoczesnych technologii oraz najważniejszych narzędzi do tworzenia testów jednostkowych. Składa się z dwóch aplikacji internetowych powstałych przy pomocy *Play Framework*. Narzędzie to pozwala na szybkie napisanie aplikacji internetowej zarówno w Scali jak i w Javie. Społeczność zgromadzona wokół tych dwóch języków doprowadziła do powstania ogromnej liczby bibliotek. Z powodzeniem mogą być one używane w aplikacji utworzonej przy użyciu *Play Framework*. Cały system jest dostosowany do pracy w architekturze rozproszonej.

Pośród bibliotek związanych z testowaniem kodu na szczególną uwagę zasługują *ScalaTest* i *ScalaCheck*. Pierwsza z nich to biblioteka do przeprowadzania testów jednostkowych. Umożliwia ona między innymi pisanie testów w wielu różnych

stylach. Decyzja o tym jak ostatecznie wyglądać będzie test zależy od preferencji użytkownika. ScalaCheck jest zaś instrumentem służącym do testowania funkcji, metod poprzez automatyczne wywoływanie ich z różnymi, losowo generowanymi, zestawami argumentów. Te dwa narzędzia stanowią esencję opisywanego systemu. Proces analizujący kod wykorzystuje bowiem mechanizm testów jednostkowych.

Weryfikacja kodu użytkowników systemu jest bezpośrednio związana z *Simple Build Tool* – SBT. Narzędzie to pozwala stworzyć szkielet projektu dla Scali. System traktuje projekt SBT jako zadanie przygotowane dla grupy osób. Wykonując serię testów jednostkowych dla danego projektu jest w stanie wystawić ocenę danemu użytkownikowi. Wszystkie informacje zgromadzone w procesie weryfikacji przechowywane są w nierelacyjnej bazie danych – *MongoDB*. Posiada ona wbudowany mechanizm do przechowywania plików. Dzięki temu, możliwe jest komfortowe zarządzanie projektami przesyłanymi do systemu.

Interfejs użytkownika powstał przy pomocy *AngularJS*. Dzieło inżynierów firmy Google, które w przyjemny dla programisty sposób potrafi stworzyć dynamiczne strony HTML. Poszczególne elementy strony mogą być powiązane dwukierunkowo z modelami aplikacji. Efekty akcji użytkownika mających wpływ na stan modeli, automatycznie jest prezentowany w odpowiednich widokach. *AngularJS* pozwala również na wzbogacanie składni HTML o nowe atrybuty i elementy. Zostają one zinterpretowane przez niego w sposób określony przez programistę.

Dla innych języków programowania już funkcjonują pewne mechanizmy edukacyjne. Scala zasługuje również na to, aby więcej osób mogło ją poznać. Kombinacja języka funkcyjnego i obiektowego oraz wiele innych aspektów jakie ze sobą niesie ten język są cechami, z którymi każdy przyszedł, a nawet już doświadczony programista powinien się zapoznać.

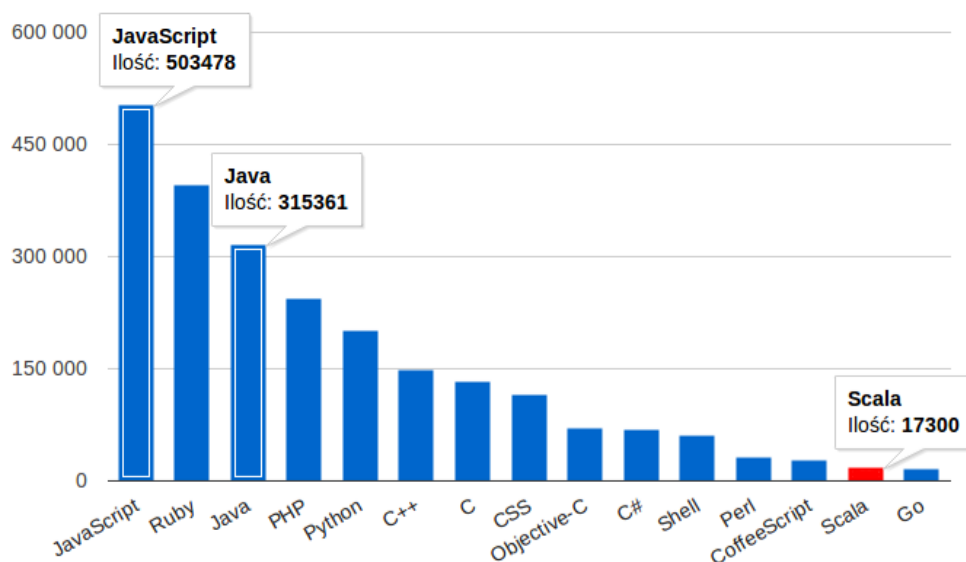
Wszystkie wspomniane wcześniej narzędzia miały wpływ na ostateczny kształt opisywanego systemu. W niniejszej pracy zostaną one szerzej przedstawione wraz z działaniem systemu weryfikacji jakości kodu Scala.



## ROZDZIAŁ 1

# Idea systemu

Wykonując odpowiednie zapytanie przy użyciu narzędzia *Google BigQuery* oraz danych z *Github Archive* można w prosty sposób sprawdzić popularność języków programowania na platformie *GitHub*. Ilość repozytoriów dla poszczególnych języków w roku 2013 przedstawia rysunek 1.1.



**Rysunek 1.1.** Ilość repozytoriów dla poszczególnych języków na platformie GitHub w roku 2013

Źródło: GitHub Archive ([www.githubarchive.org](http://www.githubarchive.org))

Powyższy wykres przedstawia pierwszych 15 języków, wśród których Scala uplasowała się na miejscu 14. Różnica w liczbie repozytoriów między Scalą, a Javą będącą na trzecim miejscu jest znaczna. Nie ma wątpliwości, że Java swoją wysoką pozycję zawdzięcza wieloletniej obecności na rynku, a także wkładowi jaki do

świata technologii informacyjnych wniosła maszyna wirtualna JVM. Na popularność JavaScript'u, czy Ruby'ego częściowo miało wpływ pojawienie się w ostatniej dekadzie narzędzi takich jak *Ruby on Rails*, *node.js*, *AngularJS* i wielu innych.

Jednak jak pokazuje przykład Ruby'ego i JavaScriptu, jednym z elementów wpływających na popularność jest aktywne środowisko programistów zgromadzonych wokół danego języka. Niejednokrotnie, taka grupa osób przekonana o zaletach swojego ulubionego języka jest w stanie wytworzyć alternatywne sposoby jego promocji. Potwierdzeniem tego może być zespół programistów zgromadzonych wokół platformy *CodeSchool*<sup>1</sup>. Opracowali oni szereg prostych kursów związanych głównie z JavaScript'em i Ruby'm, w trakcie których uczestnik rozwiązuje proste zadania programistyczne.

Żadne z obecnych rozwiązań – szczególnie dla Scali – nie posiada jednak możliwości tworzenia własnych zadań dla zamkniętych grup uczestników. Wierzę, że system, który daje sposobność definiowania własnych kursów dla języka Scala może znacząco zwiększyć jego popularność. Użycie takiego systemu w szkołach i uczelniach mogłoby przynieść również inne korzyści, jak na przykład wzrost zainteresowania programowaniem, czy podniesienie umiejętności przyszłych programistów przy jednoczesnym zmniejszeniu nakładu pracy prowadzących zajęcia.

## 1.1. Język Scala

Pomysłodawcą i głównym twórcą Scali jest niemiecki profesor Martin Odersky. Nazwa języka ma na celu sugerować, że jest on skalowalny<sup>2</sup>. Scala rośnie wraz z potrzebami jej użytkowników. Cały czas powstają kolejne narzędzia i biblioteki mające uprościć pracę z nią, czy też dodać do niej nowe mechanizmy.

Jedną z ciekawostek wprowadzonych przez Scalę jest środowisko o nazwie REPL<sup>3</sup>. Jest to interfejs do kompilatora, który można traktować jak „interpreter”. REPL potrafi między innymi podpowiedzieć ścieżki do pakietów i klas, czy możliwe do wywołania metody na danych bytach po wciśnięciu klawisza tabulacji. Jest to doskonałe narzędzie do sprawdzania małych fragmentów kodu.

---

<sup>1</sup>[www.codeschool.com](http://www.codeschool.com)

<sup>2</sup>ang. Scalable language

<sup>3</sup>ang. Read-Evaluate-Print Loop

Scala łączy ze sobą paradygmat programowania obiektowego oraz funkcyjnego. Umożliwia wykorzystanie najlepszych cech tych dwóch podejść w projektowaniu nowych systemów. Sprawdzi się zatem doskonale zarówno podczas pisania małych jak i dużych projektów.

W przypadku tych pierwszych, programowanie funkcyjne w większości jest dobrym wyborem. Mogą one posiadać stały zestaw komponentów, na przykład w postaci klas. Wraz z ewolucją kodu, dodawane są głównie nowe operacje na istniejących bytach. Dokonuje się tego poprzez dodawanie nowych funkcji, które wykonują obliczenia opierając się na istniejących typach danych.

Programowanie obiektowe jest dobrym wyborem kiedy dysponujemy stałym zestawem operacji na komponentach programu, a w czasie ewolucji kodu dodawane są nowe byty jak klasy. Gdy istnieje, więc potrzeba zaimplementowania dużego systemu, który będzie wymagać rozwijania i dostosowywania do nowych potrzeb, paradygmat programowania obiektowego sprawdzi się lepiej.

### 1.1.1. Aspekt obiektowy

Scala jest zorientowana obiektowo. Inaczej jednak, niż w wielu językach obiektowych, nie posiadamy tutaj wartości, które nie są obiektami jak np. typy prymitywne w Javie. Każda wartość jest obiektem, a każda operacja jest wywołaniem metody.

Ponadto zezwala ona na zdefiniowanie metod o nazwie przypominającej operator. Przykładem może być metoda `:::` konkatenująca listy, czy metoda `!` w klasie `Actor`. Tworzenie nowych obiektów w Scali jest również bardzo elastyczne. Komponent zwany cechą (ang. trait) jest czymś, czym dla Javy są interfejsy. Jednak w porównaniu do interfejsów, cechy mogą zawierać implementacje pól oraz metod.

Dzięki cechom, Scala idzie także o krok dalej w kwestii kreowania obiektów. Dobrym przykładem tego może być wielokrotne dziedziczenie, które można osiągnąć w poniższy sposób.

```
class Number(number: Int) {  
  def get: Int = number  
}  
  
trait Incrementing extends Number {  
  override def get: Int = super.get + 1  
}
```

```
}  
trait Decrementing extends Number {  
  override def get: Int = super.get - 1  
}  
trait Doubling extends Number {  
  override def get: Int = super.get * 2  
}  
class MyNumber(number: Int) extends Number(number: Int)  
  with Decrementing with Doubling with Incrementing
```

Należy w uzupełnieniu do powyższego przykładu wspomnieć jak Scala interpretuje konstrukcję `super`. Otóż będzie ona wywołana zawsze w tym miejscu, w którym się pojawia. Odpowiada za to proces linearyzacji. Podczas tworzenia instancji danej klasy, Scala układa wszystkie klasy i cechy, po których ta klasa dziedziczy w liniowej kolejności. Dowodem niech będzie wywołanie metody `get` dla wcześniej pokazanego kodu w interpreterze Scali.

```
scala> new MyNumber(5).get  
res0: Int = 9
```

Liczba 5 została tutaj najpierw zmniejszona o 1, następnie pomnożona przez 2 i ostatecznie dopiero na końcu powiększona o 1. Zmieniając jednak kolejność cech wmieszanych w klasę `MyNumber` osiągniemy inny wynik.

```
scala> class MyNumber(number: Int) extends Number(number: Int)  
  with Incrementing with Doubling with Decrementing  
defined class MyNumber  
  
scala> new MyNumber(5).get  
res1: Int = 11
```

Liczba 5 została tutaj najpierw zwiększona o 1, w następnym kroku pomnożona przez 2, by wynik tego działania pomniejszyć o 1. Metoda `get` zwraca w tym przypadku 11, wykonując działania w odwrotnej kolejności niż przedtem.

Warto wspomnieć również o klasach poprzedzonych modyfikatorem `case`. Kompilator Scali dodaje kilka udogodnień dla takich bytów.

Pierwszym z nich jest dodanie metody `apply` do tak zwanego „obektu stowarzyszonego” (ang. *companion object*) z daną klasą. Jest to specjalny obiekt o nazwie identycznej jak sama klasa. W praktyce oznacza to, że tworząc nowy obiekt takiego typu nie jest obowiązkowym podawanie instrukcji `new`.

```
scala> case class MyNumber(number: Int)
defined class MyNumber
```

```
scala> val mn = MyNumber(5)
mn: MyNumber = MyNumber(5)
```

Drugim ułatwieniem jest fakt, że wszystkie argumenty automatycznie stają się polami danej klasy. Dla porównania, w klasach bez modyfikatora `case` nie można się odwołać do nich z zewnątrz, a żeby parametr był rozpatrywany jako pole wymagany jest podanie prefiksu `val`.

```
scala> class Cat(name: String)
defined class Cat
```

```
scala> case class Dog(name: String)
defined class Dog
```

```
scala> new Cat("Nazir").name
<console>:9: error: value name is not a member of Cat
      new Cat("Nazir").name
scala> Dog("Luna").name
res7: String = Luna
```

Trzecim udogodnieniem są implementacje metod `toString`, `hashCode` oraz `equals`. Pierwsza z nich zwróci ciąg znaków w postaci nazwy klasy wraz z aktualnymi wartościami pól. Wynikiem wywołania metody `hashCode` będzie oczywiście unikalny kod mieszający obiektu. Ostatnia z wymienionych, potrafi porównać całe drzewo klas i w sposób rekursywny wszystkie argumenty obiektów. Ponieważ w Scali operator `==` zawsze odwołuje się do metody `equals` to tego typu klasy automatycznie porównywane są w sposób strukturalny.

Komponentom z modyfikatorem `case` kompilator dodaje jeszcze jedną wygodną metodę – `copy`. Zwraca ona kopię obiektu w postaci nowej instancji klasy, gdzie różne są wartości niektórych pól. Korzysta ona z parametrów opisanych nazwami. Gdy nie zostaje podana nazwa danego pola to zwracana jest stara, nie zmodyfikowana wartość.

```
scala> val d = Dog("Luna")
d: Dog = Dog(Luna)

scala> d.copy(name = "Azor")
res1: Dog = Dog(Azor)
```

Jedynym kosztem użycia modyfikatora `case` przed definicją klasy jest fakt, że obiekty staną się nieco większe. Dzieje się tak z powodu dodatkowych metod. Największą zaletą jednak jest możliwość użycia takich klas w mechanizmie dopasowywania wzorca opisanego w późniejszej części tego rozdziału.

### 1.1.2. Aspekt funkcyjny

Jak wyjaśnia Martin Odersky, „programowanie funkcyjne w głównej mierze opiera się na dwóch założeniach” [1, s.57]. Wskazane jest, aby funkcje były wartościami podstawowymi, a operacje wykonywane w czasie działania programu powinny zwracać wartości do nowych zmiennych niż modyfikować obecne. Obie te koncepcje są oczywiście obecne w Scali, w której funkcje są specjalnymi obiektami.

Możemy przekazywać funkcję jako argument do innej funkcji, po to aby w odpowiedzi otrzymać jeszcze inną funkcję. Możliwe jest także definiowanie funkcji wewnątrz innych funkcji. Funkcje mogą posiadać nazwę lub być też anonimowe. Żadna z wymienionych opcji nie jest możliwa chociażby w Javie, aż do wersji 8, która to dopiero pozwala na użycie funkcji anonimowych. Wszystkie te warianty mają bezpośredni wpływ na skalowalność programów.

Inspiracja do poniższego przykładu pochodzi z książki „Scala by Example” profesora Martina Oderskiego [2, s. 22]. Korzystając ze środowiska REPL pokazuje on w prosty sposób jak może wyglądać praca z funkcjami w Scali. Zdefiniowane zostały dwie funkcje – `sum` oraz `sumSquares`.

```
scala> def sum(f: Int => Int, a: Int, b: Int): Int = f(a) + f(b)
sum: (f: Int => Int, a: Int, b: Int)Int

scala> def sumSquares(a: Int, b: Int): Int = sum((x: Int) => x * x, a, b)
sumSquares: (a: Int, b: Int)Int

scala> sumSquares(3, 4)
res0: Int = 25
```

Pierwszym parametrem `sum` jest funkcja (`f`), która za argumenty przyjmuje liczby całkowite. Zobligowana jest także do zwrócenia wartości tego typu. W ciele funkcji `sum` widać, że na pozostałych dwóch argumentach (`a` i `b`) wywołana zostaje funkcja `f`. Dodane do siebie zostają bowiem wartości `f(a)` i `f(b)`. Zdefiniowano więc funkcję posiadającą w liście argumentów inną funkcję. W ciele funkcji `sumSquares`, `sum` zostaje wywołana poprzez podanie jako pierwszego argumentu funkcji anonimowej.

Autorzy „Programming in Scala” posłużyli się doskonałym przykładem wyjaśniającym drugie założenie. [1, s.57] Otóż należy rozpatrzyć implementację ciągu znaków w języku Ruby i Java. W Ruby’u, ciąg znaków jest niczym innym jak tablicą znaków. Możemy zatem każdy znak w danym ciągu podmieniać wewnątrz tego samego obiektu. W Javie, typ `String` jest ciągiem znaków w sensie matematycznym. Aby wykonać podobną operację konieczne jest wywołanie metody `replace`, która zwraca zupełnie nowy obiekt.

Prawdziwy język funkcyjny wymusza na programiście, aby ten korzystał z niezmiennych danych. Scala daje możliwość wyboru, ale jednocześnie zachęca do unikania imperatywnych konstrukcji. Pracując z funkcyjnym językiem programowania nie unikniemy także niezmiennych struktur danych. Scala posiada również własny zestaw niezmiennych typów jak na przykład listy, czy zbiory. Idea wykonywania operacji na nich jest zbliżona do koncepcji niezmiennych wartości.

```
scala> val list = List(1,2,3)
list: List[Int] = List(1, 2, 3)

scala> list :+ 4
res0: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
```

Dla przykładowej trzelementowej listy liczb całkowitych, wykonując operację dodawania nowego elementu do niej w wyniku zwrócony zostaje nowy obiekt reprezentujący listę czteroelementową. W imperatywnym języku programowania, taka operacja zmodyfikowałaby wcześniej utworzony obiekt.

### 1.1.3. Pozostałe cechy

Oprócz łączenia technik programowania obiektowego i funkcyjnego, Scalę definiują cechy takie jak kompatybilność z JVM, zwięzłość, wysoki poziom abstrakcji i statyczne typowanie.

#### Kompatybilność

Wydajność programów napisanych w Scali jest porównywalna z odpowiednikami napisanymi w Javie. Programy te bowiem kompilują się do pseudokodu wirtualnej maszyny Javy. Ponadto są w stanie bez przeszkód wywoływać metody klas Javy, korzystać z ich pól, a nawet przystosowywać własne komponenty poprzez dziedziczenie klas Javy, czy implementację interfejsów. Każdy z tych wariantów jest wykonywany przez programistę w sposób naturalny, gdyż nie wymaga to użycia żadnej dodatkowej składni. Jak się okaże później, system będący głównym tematem pracy również korzysta z dobrodziejstw owej kompatybilności. Korzysta on z oficjalnego klienta dla systemu kolejkowania wiadomości *RabbitMQ* dla języka Java.

Scala korzysta w pełni z typów Javy. Typ `Int` w Scali reprezentuje prymitywne liczby całkowite `int` z Javy. Podobnie ma się sytuacja z `Float`, `Double`, `Long`, czy `Boolean`. Ponadto typy zostają „opakowane” w taki sposób, aby wywołania metod związanych z nimi były bardziej przejrzyste. W efekcie tego, dla przykładu zamiast `Double.parseDouble("12.0")` wystarczy napisać `"12.0".toDouble`.

#### Zwięzłość

Scala zachęca do zwięzłego i czytelnego stylu programowania. Porównując kod Scali i Javy ze sobą, niejednokrotnie okazuje się, że kod Scali jest krótszy o ponad połowę. Pozwala to na tworzenie kodu bardziej zrozumiałego, łatwiejszego



w utrzymaniu przy jednoczesnym zmniejszeniu wysiłku programisty. Wynika to głównie ze składni języka, gdzie między innymi średniki na końcu instrukcji są opcjonalne. Pisząc funkcję, w wielu miejscach można pominąć klamry otwierające i zamykające dany blok kodu. Jednak najbardziej tą różnicę pokazuje porównanie tworzenia klas z konstruktorem.

Person.java

```
class Person {  
    private String name;  
    public Person(String name) {  
        this.name = name;  
    }  
}
```

Person.scala

```
class Person(name: String)
```

## Wysoki poziom

Język wysokiego poziomu to taki, który pozwala człowiekowi szybko zrozumieć kod programu. Scala jest typem takiego języka. Programista może przy pomocy dostępnych mu komponentów takich jak cechy, czy literały funkcyjne w dużo lepszy sposób zarządzać poziomem skomplikowania kodu. Znow warto w tym momencie porównać ze sobą Javę i Scalę. Niech problemem do rozwiązania, będzie znalezienie wszystkich liczb parzystych z przedziału od 1 do 10. W Scali to zagadnienie można rozwiązać w jednej linijce.

```
val evenNumbers = (1 to 10).toList.filter(_ % 2 == 0)
```

Natomiast w Javie, ten sam problem wymaga od programisty odpowiednio więcej pracy.

```
List<Integer> numbers = Arrays.asList(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10);  
List<Integer> evenNumbers = new ArrayList<Integer>();  
for(Integer number: numbers){  
    if(number % 2 == 0){  
        evenNumbers.add(number);  
    }  
}
```

W drugim rozwiązaniu potrzebne były dwie listy oraz pętla iterująca po wszystkich liczbach z danego zakresu. W Scali wystarczy użyć odpowiedniej metody (`filter`), która jako argument przyjmuje predykat `_ % 2 == 0`, będący przykładem literału funkcyjnego. Jest to jednoargumentowa funkcja sprawdzająca dzielenie modulo.

Wyraźnie widać, że rozwiązanie przedstawione w Scali jest krótsze. Z własnych doświadczeń wiem, że zbyt skomplikowany kod potrafi w pracy programisty utrudnić pracę do tego stopnia, że dochodzi do potrzeby przepisania jakiegoś fragmentu systemu. Zawsze oznacza to dodatkowy koszt, w postaci czasu, pieniędzy czy zasobów ludzkich. Scala posiada wszystko, by przy relatywnie niedużym wysiłku sprawić, aby skomplikowana logika biznesowa stała się zrozumiała i czytelna.

### Typowanie statyczne

Scala jest językiem statycznie typowanym. Podstawowe zalety jakie niesie to ze sobą to możliwość wykrycia błędów związanych z typowaniem na etapie kompilacji, bezpieczny refaktoring i powstanie bardziej szczegółowej dokumentacji.

Jednym z zarzutów stawianych językom z typowaniem statycznym jest to, że są bardziej „rozgadane”. Przyczyny można szukać w konieczności deklarowania typów zmiennych, czy wartości wynikowych funkcji. W Scali obecna jest inferencja typów – mechanizm potrafiący wywnioskować typ dla danej wartości. Niech przykładem będzie zmienna `numbers` z wcześniej przedstawionego fragmentu kodu Javy. W Scali nie musimy (choć możemy) określić, że zmienna `numbers` jest listą liczb całkowitych. Poniżej kontrprzykład.

```
val numbers = List(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
```

Należy jednak pamiętać, że funkcje rekurencyjne muszą mieć zawsze określony typ wynikowy, aby nie doszło do błędu kompilacji. Rozpatrzmy funkcję obliczającą liczbę ciągu Fibonacciego.

```
def fib(n: Int): Int = n match {  
  case 0 => n  
  case 1 => n  
  case _ => fib(n - 1) + fib(n - 2)  
}
```

Gdyby nie określono tutaj typu wynikowego funkcji, to kompilator nie wiedziałby o jakiej operacji „+” myślał programista, tzn. dla jakiego typu. Przy okazji udało się tutaj zaprezentować dopasowywanie wzorca <sup>4</sup>.

Technika ta pozwala w czytelny dla człowieka sposób określić jakie powinny być następne instrukcje programu w zależności od zmiennej. Dopasowywać można nie tylko do konkretnej wartości, ale przede wszystkim typu. Ma to znaczenie w przypadku, gdy porównujemy ze sobą na przykład typy dziedziczące po wspólnej klasie w hierarchii.

```
case class Animal
case class Cat extends Animal
case class Dog extends Animal

def say(a: Animal) = a match {
  case a: Cat => println("Meow!")
  case a: Dog => println("Woof!")
  case _ => println("Animal")
}
```

Znak podkreślnika można traktować jak instrukcję else.

## 1.2. Środki do osiągnięcia celu

Do weryfikacji poprawności nadesłanego przez użytkownika rozwiązania, niezbędnym jest posłużenie się narzędziami związanymi z mechanizmem testów jednostkowych. Testy te muszą być uruchamiane automatycznie po przesłaniu rozwiązania. W osiągnięciu takiego celu pomogą narzędzia takie jak *Simple Build Tool* oraz *ScalaTest* i *ScalaCheck*. Połączenie ich ze sobą umożliwi powstanie bardzo elastycznego procesu tworzenia zadań.

Poniżej znajduje się krótkie przedstawienie tych narzędzi wraz z uzasadnieniem ich użycia.

---

<sup>4</sup>ang. Pattern matching

### 1.2.1. Simple Build Tool

SBT jest narzędziem, które tworzy stabilną platformę do rozwijania aplikacji. Do-myślnie udostępnia programiście listę komend, z których może on korzystać. Dla przykładu komendy te mogą służyć przeładowaniu definicji projektu, uruchomieniu testów, czy uruchomieniu środowiska REPL Scali z gotowymi do użycia klasami z danego projektu. Zdecydowanie sprzyjają one zwiększeniu produktywności programisty poprzez automatyzację pewnych działań.

Jednak warto przyjrzeć się bliżej, dlaczego w ogóle warto korzystać z narzędzi budujących aplikację<sup>5</sup> oraz w jaki sposób wykorzystanie SBT jest kluczowe dla systemu weryfikującego kod.

Autorzy książki „SBT in Action” już na początku podają prosty przykład, w jaki sposób tego typu narzędzia zwiększają produktywność nawet całego zespołu programistów. Wspominają o tym jak kilka lat temu w jednym z zespołów odbywało się „automatyczne” budowanie projektu. „To było 10 lub 12 okienek z plikami .batch, które budowały i instalowały aplikacje. Kompilowały pliki Java, budowały aplikacje internetową i instalowały ją na serwerze. Zajmowało to od 1,5 do 2 godzin – to była lekcja jak nie automatyzować”. [3, s.1] Jak twierdzą autorzy, po przepisaniu skryptu i użyciu narzędzia *Apache Ant* czas ten zmalał do około 8 minut.

Czas zatem odpowiedź na pytanie – dlaczego SBT? Kilka najważniejszych powodów to:

- krótki czas kompilacji – kompilowane są tylko ostatnio zmodyfikowane pliki
- automatyzacja testowania, kompilacji plików źródłowych oraz tworzenie archiwów dystrybucyjnych
- możliwość sprawdzania klas projektu przy użyciu Scala REPL
- prostota dodawania własnych poleceń mogących wykonywać specyficzne dla projektu zadania.

Dla mojego systemu to właśnie ostatni punkt ma szczególne znaczenie. System ten będzie udostępniać projekt stworzony przy użyciu SBT, na którym docelowo

---

<sup>5</sup>ang. Build tool

będą uruchamiane testy. Projekt SBT może być potraktowany w całości lub tylko częściowo jako zadanie do rozwiązania. Aby system mógł sprawdzić rozwiązanie, użytkownik musi je w jakiś sposób przesłać. Dzięki SBT, w sposób wygodny może odbyć się to poprzez napisaną przeze mnie komendę `sendSolution`, która jako argumenty bierze adres e-mail i hasło użytkownika. Pomysł na takie rozwiązanie został zaczerpnięty z kursów edukacyjnych organizowanych przez profesora Oderskiego na platformie *Coursera*<sup>6</sup>. Jest ono wygodne, ponieważ polecenie jest wywoływane z poziomu projektu, a także pozwala zaoszczędzić czas, który użytkownik normalnie spędziłby na przykład na pakowaniu plików do archiwum, logowaniu się na pocztę elektroniczną i tworzeniu wiadomości z załącznikiem.

### 1.2.2. ScalaTest

ScalaTest to popularne narzędzie do testowania programów, którego autorem jest Bill Venners. Podobnie jak w przypadku języka Scala, jednym z założeń ScalaTestu jest skalowalność. Dzięki temu obecna wersja<sup>7</sup> to nie jedno narzędzie, lecz cały zestaw. Jest on zintegrowany z listą instrumentów związanych z pisanem testów dla Scali i Javy. Instalując więc ScalaTest w swoim projekcie, możemy korzystać również między innymi z *JUnit*, *JMock*, *EasyMock*, *Mockito*, *ScalaMock*, czy *Selenium*. Ponadto ScalaTest z łatwością współpracuje z najpopularniejszymi zintegrowanymi środowiskami programistycznymi – *Eclipse*, *IntelliJ* oraz *NetBeans*.

Szczególnie ważnym argumentem przemawiającym za ScalaTest jest możliwość wybrania przez użytkownika stylu specyfikacji. Z punktu widzenia mojego systemu, ta sposobność wyboru wraz ze wspomnianą wcześniej szeroką gamą narzędzi gwarantuje dużą uniwersalność z punktu widzenia użytkowników układających zadania. Chociaż szczegółowa charakterystyka systemu znajduje się w późniejszej części pracy to już teraz można wyobrazić sobie sytuację, w której z systemu korzysta kilka osób odpowiedzialnych za układanie projektów-zadań. Każda z nich może posiadać nie tylko różne doświadczenia w Scali, ale także różne preferencje w kwestii przywoływanych narzędzi, czy pisania specyfikacji.

Podobnie sytuacja ma się w stosunku do użytkowników rozwiązujących zada-

---

<sup>6</sup>[www.coursera.org](http://www.coursera.org)

<sup>7</sup>W chwili pisania pracy – najnowsza dostępna wersja ScalaTest to 2.2.0

nia. Wyobrażam sobie ich jako przyszłych programistów, a zatem dobrą praktyką byłoby, aby przed wysłaniem rozwiązania potrafili je przetestować, przy okazji poznając różne techniki testowania w Scali.

### 1.2.3. ScalaCheck

Biblioteka *QuickCheck* dla języka Haskell, była inspiracją, dzięki której powstał ScalaCheck. Jego zadaniem jest w pełni zautomatyzować testy w taki sposób, aby nie było potrzeby wprowadzania danych testowych do sprawdzanych metod własnoręcznie. Generuje pseudolosowe dane jako argumenty, co pozwala zaoszczędzić czas, który normalnie programista spędza chociażby na wymyślaniu danych testowych. Ponadto sprawia, że kod jest bardziej odporny na błędy ponieważ, zwiększa zakres sprawdzanych wartości, które program może otrzymać w trakcie działania.

Powyższy fakt oraz to, że ScalaCheck integruje się z ScalaTest może zagwarantować wysoką jakość podczas weryfikacji kodu w rozwiązaniach użytkowników. Użytkownik odpowiedzialny za tworzenie projektów-zadań poprzez stosowanie reguł ScalaCheck powinien być w stanie wytworzyć kompletny zestaw testów. Dzięki nim system będzie potrafił w sposób dużo bardziej rzetelny wystawić noty za rozwiązanie.

# Testowanie kodu

Projekty, niezależnie od tego w jakim języku programowania powstały, muszą być przetestowane. Nie inaczej jest, gdy programy te napisane są w Scali. Podczas wszystkich lat rozwoju branży IT pojawiło się wiele metodologii, narzędzi oraz rodzajów testów. Wyróżnić można testy akceptacyjne, funkcjonalne, jednostkowe, czy integracyjne. Z punktu widzenia aplikacji będącej tematem pracy to testy jednostkowe są najważniejszym elementem gwarantującym jej poprawne działanie.

## 2.1. Mechanizm testów jednostkowych

Czym jest test jednostkowy? Andy Hunt i Dave Thomas napisali kiedyś, że „test jednostkowy to kawałek kodu napisanego przez programistę, który sprawdza bardzo małą, specyficzną część funkcjonalności testowanego kodu.”[4, s.3] Im, większe pokrycie kodu testami, tym większa pewność, że program spełni stawiane przed nim wymagania bez efektów ubocznych. Roy Osherove natomiast określił cechy dobrego testu jednostkowego [5, s. 6]

- Szybki, automatyczny i powtarzalny
- Łatwy do zaimplementowania
- Napisany raz, powinien pozostać w takim stanie w przyszłości
- Każdy powinien być w stanie go uruchomić
- Uruchamiany „wciśnięciem guzika”

Testy jednostkowe są esencją systemu weryfikującego kod. To od nich w dużej mierze zależna jest ocena jakości kodu. Muszą one, więc sprawdzać nie tylko poprawność wyników generowanych przez funkcje i metody, ale także odporność na błędy.

Obecnie istnieje wiele narzędzi zajmujących się zagadnieniem testów jednostkowych w Scali. Najbardziej popularne z nich to *ScalaTest*, *JUnit* i *Specs2*.

Pierwszy z nich po krótko przedstawiłem w podrozdziale 1.2.2 w kontekście zastosowania do systemu weryfikującego kod. W tym rozdziale *ScalaTest* zostanie omówiony bardziej szczegółowo.

JUnit to narzędzie znane wszystkim programistom Javy. Kompatybilność z wirtualną maszyną JVM powoduje, że może bez przeszkód mieć zastosowanie również w Scalowych projektach. Warto przypomnieć, że narzędzie to integruje się z *ScalaTest*.

O ostatnim z wymienionych – *Specs2* – można myśleć jak o konkurencji *ScalaTestu*. Narzędzie to może również działać z SBT. Posiada inny zestaw instrukcji dokonujących porównań oraz sposób konstruowania testów. To, co szczególnie wyróżnia *Specs2* to fakt, że testy są uruchamiane równolegle, każdy w osobnym wątku.

## 2.2. ScalaTest

Testy w *ScalaTest* tworzy się, poprzez napisanie klasy testującej dziedziczącej po jednej z wybranych cech determinujących styl testów. Końcowym efektem są specyfikacje będące ważnym elementem w metodologii *Behavior-driven development* (BDD). Polega ona na definiowaniu testów w sposób opisowy, tak jakby fragmenty testowanego kodu były elementami pewnych historii. Schemat, w który wpisują się wszystkie poprawnie opisane testy, wygląda następująco: „Posiadając.., jeśli.., wtedy.”<sup>1</sup>. Słowo „test” natomiast zastąpione zostaje słowem „zachowanie” (ang. behavior). Ideą BDD jest, aby poprzez tak skonstruowane specyfikacje zespół programistów potrafił w pełni zrozumieć potrzeby i intencje klienta. Dostarczone oprogramowanie ma wtedy spełniać wszystkie założenia i wymagać mniej poprawek po wdrożeniu produkcyjnym.

*ScalaTest* poza stylem specyfikacji daje programiście wybrać, także detale takie jak sposób weryfikacji rezultatów w teście. Oferuje ona klasyczne asercje poprzedzane instrukcją `assert`, ale także weryfikatory, które zasługują na szczególną

---

<sup>1</sup>ang Given, When, Then



uwagę. Są to specjalne asercje pozwalające na czytanie testu, jak zwykłego zdania. W przypadku niepowodzenia testu, rzucający jest wyjątek `TestFailedException`. `ScalaTest` przechwytuje go i zaznacza dany test jako nie zaliczony.

### 2.2.1. Style specyfikacji

`ScalaTest` pozwala programiście wybrać jeden z wielu stylów dla swoich specyfikacji. Twórcy zaznaczają jednak, aby podczas rozwijania projektu przez dany zespół nie doszło do sytuacji, w której każdy programista pisałby w inny sposób. Zalecanym jest, aby testy jednostkowe powstawały przy użyciu jednego głównego stylu, a na przykład testy integracji, czy akceptacyjne w innym. Ma to pomóc poszczególnym członkom zespołu „przełączać się” pomiędzy testami niskiego i wysokiego poziomu.

W podrozdziale 1.2.2 można było przeczytać jak tą elastyczność `ScalaTestu` można wykorzystać w systemie sprawdzającym kod Scali. Poszczególne style specyfikacji różnią się jedynie instrukcjami deklarującymi testy. Pozostałe rzeczy takie jak asercje, instrukcje dopasowywania (ang. *Matchers*) określane przeze mnie weryfikatorami są wykorzystywane w ten sam sposób.

Poniżej znajduje się zestawienie kilku wybranych stylów oferowanych przez `ScalaTest`. Przykłady pochodzą z oficjalnej strony projektu<sup>2</sup>.

#### FunSuite

Charakteryzuje się opisowymi nazwami testów i jest najprostszym ze wszystkich stylów, które oferuje `ScalaTest`. Testy deklarujemy poprzez instrukcję `test`, jako argument podając opis testu.

```
import org.scalatest.FunSuite
class SetSuite extends FunSuite {
  test("An empty Set should have size 0") {
    assert(Set.empty.size == 0)
  }
}
```

---

<sup>2</sup>[http://www.scalatest.org/user\\_guide/selecting\\_a\\_style](http://www.scalatest.org/user_guide/selecting_a_style)

## FlatSpec

Jest pierwszym przystankiem dla programistów, którzy zaczynają swoją przygodę z BDD. Nazwy testów tworzy się w stylu charakterystycznym dla specyfikacji, tzn. używając słów takich jak `should`, `must`.

```
import org.scalatest.FlatSpec
class SetSpec extends FlatSpec {
  "An empty Set" should "have size 0" in {
    assert(Set.empty.size == 0)
  }
}
```

## FunSpec

Doświadczeni programiści Rubiego próbujący swoich sił w Scali prawdopodobnie wybiorą ten styl. Przypomina on bardzo *RSpec* – popularne narzędzie testowania kodu Rubiego. Testy można tutaj konstruować głównie przy pomocy `describe` oraz `it`. Instrukcja `describe` pozwala na zagnieżdżanie i grupowanie testów według danego „zachowania” testowanych fragmentów kodu. Jest to dobry wybór dla zespołów pracujących w BDD.

```
import org.scalatest.FunSpec
class SetSpec extends FunSpec {
  describe("A Set") {
    describe("when empty") {
      it("should have size 0") {
        assert(Set.empty.size == 0)
      }
    }
  }
}
```

## WordSpec

Sposób konstrukcji testów jest bardzo ścisły i przypomina konkurencyjny *Specs2*. Gdyby zatem w projekcie doszło do potrzeby przejścia ze *Specs2* na *ScalaTest*, to

ten styl staje się naturalnym wyborem. Słowami kluczowymi są tutaj `when` oraz `should`.

```
import org.scalatest.WordSpec
class SetSpec extends WordSpec {
  "A Set" when {
    "empty" should {
      "have size 0" in {
        assert(Set.empty.size == 0)
      }
    }
  }
}
```

### FreeSpec

Wskazany dla doświadczonych programistów piszących specyfikacje, ponieważ nie istnieją żadne wytyczne jak powinien powstawać test przy użyciu tego stylu. Testy można w dowolny sposób zagnieżdzać i nazywać.

```
import org.scalatest.FreeSpec
class SetSpec extends FreeSpec {
  "A Set" - {
    "when empty" - {
      "should have size 0" in {
        assert(Set.empty.size == 0)
      }
    }
  }
}
```

### 2.2.2. Weryfikatory

Bez względu na to jaki wybierzemy styl dla specyfikacji to rezultaty testowanych metod i funkcji muszą być w jakiś sposób sprawdzane. *ScalaTest* dostarcza specjalny język dziedzinowy dla asercji. Po dodaniu do klasy specyfikacji cechy `Matchers`

otrzymujemy weryfikatory. Dzięki nim można przystąpić do tworzenia czytelnych asercji. Poniżej przykład.

```
val list = List(2, 4, 5)
list.size should be (3)
list.size should equal(3)
list.size should be < (10)
list.size should not be >= (20)
list should contain (4)
```

Wartość, która jest oczekiwana od testowanej metody dopasowana została do jej faktycznego wyniku przy użyciu słowa `should`. Całość można przeczytać płynnie jak zdanie w języku angielskim. Chcąc sprawdzić, czy zwrócona wartość równa się temu czemu powinna należy użyć instrukcji `equal` lub `be`. Drugą z nich można łączyć dodatkowo ze znakami większości i mniejszości. Pod koniec tego przykładu zaprezentowałem również w jak prosty sposób można sprawdzić, czy lista zawiera dany element.

Istnieje wiele wariantów testowania ciągów znaków. Można sprawdzić, czy dany ciąg znaków zawiera inny lub zaczyna się, czy kończy w określony sposób. Oczywiście w przypadku bardziej skomplikowanych wymogów, nie ma przeszkód, aby dopasować i porównać wynik przy pomocy wyrażeń regularnych.

```
val sentence = "I love Scala!"
sentence should startWith ("I love")
sentence should not endWith ("Java")
sentence should include ("love")
sentence should endWith regex ("Sca.*!")
sentence should fullyMatch regex ("I.*S.*!+")
```

Ponownie dzięki weryfikatorom, osoba czytająca przedstawiony w ten sposób test ma wrażenie, że czyta zwykłe zdanie. Pierwsza asercja sprawdza, czy dany ciąg znaków zaczyna się na „I love”. Druga poprzez wstawienie instrukcji `not` dodaje zaprzeczenie, aby mieć pewność, że ciąg znaków nie kończy się słowem „Java”. Chcąc dopasować wartość z użyciem wyrażenia regularnego, wystarczy do poznanej już

konstrukcji dodać regex. Ostatnia z pokazanych asercji dopasowuje wyrażenie do całego ciągu znaków.

Ciekawą rzeczą jest porównywanie ze sobą liczb zmiennoprzecinkowych. Można określić tolerowany zakres błędu w wyniku działania poprzez postawienie obok siebie znaku dodawania i odejmowania.

```
(1.5 - 0.5) should be (1.1 +- 0.9)
```

Powyższa asercja sprawdza, czy wynik działania tj. 1.0 jest mniejszy niż 1.1 oraz większy od 0.9.

Zweryfikowanie, czy referencje odnoszą się do tych samych obiektów następuje przy użyciu `theSameInstanceAs`.

```
val cat1 = new Cat
val cat2 = cat1
val cat3 = new Cat
cat1 should be theSameInstanceAs (cat2)
cat3 should not be theSameInstanceAs (cat1)
```

Instancje `cat1` oraz `cat2` odwołują się do tego samego obiektu i jest to zbadane w pierwszej asercji. Natomiast ponownie dodając słowo `not` uzyskuje się zaprzeczenie.

`ScalaTest` dostarcza również metody pozwalające łączyć ze sobą asercje w jedną całość. Służą do tego instrukcje `and`, `or`. Dla kontrastu, przykład z weryfikatorami w liście można przedstawić w następujący sposób.

```
list.size should (equal(3) or (be < (10) and (be >= 20)))
```

Zyskuje się w ten sposób oszczędność zajętych linii kodu. Należy jednak uważać na składnię. Każda następna asercja musi być zagnieżdżona w kolejną parę nawiasów.

Na zakończenie tej prezentacji weryfikatorów, przykład w jak prosty sposób można przetestować atrybuty obiektów.

```
class Dog(val name: String)
dog should have (
  'name ("Luna")
)
```

Słowem kluczowym jest `have`, następnie jako symbole podaje się nazwy atrybutów oraz wartość oczekiwaną.

To nie wszystkie weryfikatory, chociaż wierzę, że udało mi się przedstawić te najciekawsze i najważniejsze. `ScalaTest` daje również możliwość użycia `MustMatchers`. W praktyce różnica w użyciu tych weryfikatorów sprowadza się do zamiany słowa `should` na `must`. Jest to zatem po raz kolejny przykład elastyczności jaką daje to narzędzie.

```
list.size must be (3)
```

### 2.2.3. Cecha `GivenWhenThen`

Dodając do klasy zawierającej zestaw testów cechę `GivenWhenThen` otrzymujemy kilka użytecznych metod. Ich jedynym zadaniem jest ułatwienie zrozumienia, jak przebiega dana specyfikacja. Są to metody `Given`, `When`, `Then` oraz `And`. Na przykładzie poniżej znajduje się prosty test sprawdzający dodawanie do bazy danych.

```
describe("Group.create method") {  
  it("should save new group in database") {  
    Given("new group instance")  
    val newTestGroup = Group(new ObjectId, "New test group")  
    When("group is being inserted in database")  
    Group.create(newTestGroup)  
    Then("collection count increases")  
    collection.count() should equal(beforeCount + 1)  
    And("We can find that group in database")  
    val optionGroup = Group.findOneById(newTestGroup.id)  
  }  
}
```

Całość sprowadza się do powstania czytelnej historyjki. „Metoda `create` obiektu `Group`, powinna zapisać nową grupę w bazie danych. Kiedy grupa jest dodana do bazy danych, wtedy licznik wzrasta i możemy znaleźć tę grupę w bazie danych”. Po uruchomieniu testu, podobny opis otrzymujemy w raporcie końcowym.

```
[info] Group.create method
[info] - should save new group in database
[info]   + Given new group instance
[info]   + When Group is being inserted in database
[info]   + Then collection count increases
[info]   + And We can find that group in database
```

#### 2.2.4. Przechwytywanie wyjątków

Istnieją dwa sposoby na przetestowanie, czy dany wyjątek został rzucony. Pierwszym z nich jest umieszczenie testowanego fragmentu w bloku `intercept`. Jeśli ten fragment kodu nie rzuci spodziewanego wyjątku to test się nie powiedzie. W poniższym przykładzie, zdjęcie kolejnego elementu z pustego stosu spowoduje rzucenie wyjątku `NoSuchElementException`.

```
import org.scalatest.FunSpec
class SetSpec extends FunSpec {
  describe("A Set") {
    describe("when empty") {
      it("should produce NoSuchElementException when head is invoked") {
        intercept[NoSuchElementException] {
          Set.empty.head
        }
      }
    }
  }
}
```

Drugi ze sposobów polega na użyciu wcześniej opisywanych weryfikatorów. Testowany fragment kodu należy wstawić w blok `thrownBy`. Jego przewagą jest to, że rzucony wyjątek można poddać w następnych krokach dodatkowej weryfikacji.

```
val exc = the [NoSuchElementException] thrownBy { Set.empty.head }
exc.getMessage should include ("empty")
```

## 2.3. ScalaCheck

Wspominany już w podrozdziale 1.2.3 ScalaCheck zajmuje się automatyzacją testów poprzez generowanie pseudolosowych danych testowych. Składa się z trzech głównych komponentów. Klasa `Properties` definiuje testy i uruchamia je. Obiekt `Gen` ma za zadanie generować przykładowe dane i konkretyzować jakiego rodzaju mają one być. Na przykład, jeśli do testowanej metody chcemy przekazać tylko liczby naturalne, przy pomocy `Gen` można wykluczyć liczby ujemne. Trzecim komponentem jest klasa `Arbitrary` podejmująca temat specyficznych typów dla programu.

ScalaCheck integruje się również z opisywanym w poprzednim rozdziale `ScalaTest`.

### 2.3.1. Klasa `Properties`

Aby rozpocząć pracę ze ScalaCheck należy zaimportować klasę `Properties` i rozszerzyć ją przez singleton zawierający zestaw testów. W Scali stworzenie singletonu odbywa się przy pomocy słowa kluczowego `object`. Najważniejszą i najczęściej używaną metodą jest `forAll` umieszczona w cesze `Prop`.

```
import org.scalacheck.{Prop, Properties}
import org.scalacheck.Prop._
class Calc {
    def add(x: Int, y: Int) = x + y
}
object CalcTest extends Properties("Calc") {
    property("add returns number greater than given elements") = forAll {
        (a: Int, b: Int) =>
            val result = new Calc().add(a, b)
            result >= a && result >= b
    }
}
```

Rozpatrując powyższy przykład można szybko zauważyć, że test nie zakończy się sukcesem. Testowi poddana zostaje właściwość klasy `Calc` wyrażona w postaci



metody `add` dodającej liczby całkowite. Oczekuje się, że wartość zwrócona przez tę metodę będzie większa lub równa jej dwóm argumentom. Instrukcja `property` jako argument bierze ciąg znaków będący opisem sprawdzanej właściwości. Powyższy test zakończy się porażką, ponieważ w bloku metody `forAll` *ScalaCheck* domyślnie wygeneruje w pewnym momencie takie argumenty, w których co najmniej jeden z nich będzie liczbą ujemną. W raporcie końcowym można będzie przeczytać o niepowodzeniu oraz dla jakich argumentów ono zaszło.

Zakładając, że argumenty metody `add` w założeniach projektowych są zawsze liczbami naturalnymi, test ten da się poprawić przy użyciu cechy `Gen`.

### 2.3.2. Cecha `Gen`

Cecha ta posiada metody, dzięki którym możliwe jest skonkretyzowanie zakresu lub rodzaju danych testowych. Przykładowo testując metodę z parametrami typu `String` domyślny generator dostarczy ciągi znaków oparte na różnych kodowaniach. Odpowiednie użycie `Gen` zagwarantuje, więc testowe zmienne składające się ze znaków zwykłego alfabetu lub w przypadku liczb wartości z sugerowanego zakresu. Poniżej znajduje się poprawiony przykład testu przedstawionego w poprzednim podrozdziale 2.3.1.

```
import org.scalacheck.{Gen, Prop, Properties}
import org.scalacheck.Prop._
object CalcTest extends Properties("Calc") {
  property("add returns number greater than given elements") =
    forAll(Gen.choose(0,1000), Gen.choose(0,1000)) {
      (a: Int, b: Int) =>
        val result = new Calc().add(a,b)
        result >= a && result >= b
    }
}
```

Zmienił się sposób wywołania metody `forAll` poprzez wprowadzenie generatorów dla dwóch zmiennych. Gwarantują one, że argumenty, które trafią do metody `add` będą zawsze pseudolosowymi liczbami naturalnymi z zakresu od 0 do 1000. *ScalaCheck* przetestuje daną właściwość dla 100 różnych danych testowych.

W sytuacji, gdy oczekiwane parametry są typu innego niż podstawowego konieczne jest zdefiniowanie własnego generatora. Zazwyczaj tworzy się je przy pomocy pętli. Poniżej przykład generatora zajmującego się tworzeniem map, gdzie pod kluczem będącym ciągiem znaków, kryje się wartość logiczna `true` lub `false`.

```
val generator = for {  
  a <- Gen.alphaStr  
  b <- Gen.oneOf(true, false)  
} yield Map(a -> b)  
forAll(generator) { ... }
```

Pętla `for` tworzy zmienną `a` oraz `b`. Na końcu każdej iteracji te dwie zmienne zostają ustawione w pożądanym sposobie w `Map` i umieszczone w cieszce `Gen`. W podobny sposób można również wygenerować instancje innych obiektów.

### 2.3.3. Klasa `Arbitrary`

Twórcy `ScalaCheck` zalecają, aby generowanie instancji obiektów specyficznych dla aplikacji odbywało się z użyciem klasy `Arbitrary`. Używa ona niejawnych konwersji `Scali` oznaczanych przez *implicit*. Konstruując obiekty w ten sposób, ponownie należy skorzystać z pętli `for`. Dodatkowo własne zdefiniowane generatory dla specjalnych typów, można trzymać w osobnym obiekcie. Następnie wystarczy je tylko zaimportować do pliku z testami.

```
import org.scalacheck.{Gen, Arbitrary, Prop, Properties}  
import org.scalacheck.Prop._  
class Cat(val name: String)  
object CatTest extends Properties("Cat") {  
  property("length and size methods on string returns same value") = {  
    implicit val album: Arbitrary[Cat] = Arbitrary {  
      for { a <- Gen.alphaStr } yield (new Cat(a))  
    }  
    forAll { cat: Cat => cat.name.size == cat.name.length }  
  }  
}
```

Zmienna `cat` jest typu `Arbitrary[Cat]`, jednak w funkcji znajdującej się w metodzie `forAll` podawany jest typ `Cat`. Niejawna konwersja zadeklarowana przez `implicit` dostarcza bez dodatkowych linii kodu do tej funkcji argument odpowiedniego typu. Zaletą takiego rozwiązania jest bardziej czytelny kod testu, gdzie nie ma potrzeby sprecyzowania jakiego, generatora użyć.

#### 2.3.4. Integracja ze `ScalaTest`

Testowanie właściwości z użyciem `ScalaCheck` zapewnia cecha `GeneratorDrivenPropertyChecks` dostarczana przez `ScalaTest`. Wraz z weryfikatorami narzędzie to staje się bardzo wygodne. Kontynuacja przykładu klasy `Calc` znajdująca się poniżej przedstawia jak wygląda w pełni poprawny zintegrowany test właściwości.

```
import org.scalatest.{FunSpec, Matchers}
import org.scalatest.prop.GeneratorDrivenPropertyChecks
import org.scalacheck.Gen

class CalcTest extends FunSpec with Matchers
  with GeneratorDrivenPropertyChecks {
  describe("Calc") {
    describe("when adding numbers") {
      it("should have result greater than added elements") {
        forAll(Gen.choose(0, 1000), Gen.choose(0, 1000)) {
          (a: Int, b: Int) =>
            new Calc().add(a,b) should (be >= a and (be >= b))
        }
      }
    }
  }
}
```

Na pierwszy rzut oka nie widać większej różnicy pomiędzy tym kodem napisanym w `ScalaTest`, a standardowym testem `ScalaCheck`. Po chwili jednak zaobserwować można, że specyfikacje nie są już umieszczone w singletonie, a w zwykłej klasie. Dodatkowo teraz weryfikacja dokonuje się przy pomocy instrukcji `should`

sprawiając, że test staje się bardziej czytelny. Zaimportowane cechy zdradzają również, że metoda `forAll` nie pochodzi już ze `ScalaCheck`, a cechy `GeneratorDrivenPropertyChecks`. W powyższym przykładzie, ze `ScalaCheck` użyto jedynie cechy `Gen` zajmującej się generowaniem pseudolosowych danych testowych.

Dołączanie własnych generatorów odbywa się tak samo jak w przypadku zwykłych testów `ScalaCheck`. `ScalaTest` oddaje jednak do dyspozycji jeszcze jedną możliwość. Do generatorów można dołączyć nazwę, która pojawi się w raporcie po zakończeniu testów.

```
forAll((Gen.choose(0, 100), "firstName"), (Gen.choose(0, 100), "secondName"))
```

Oczywiście po zintegrowaniu tych dwóch narzędzi, także do wykorzystania jest klasa `Arbitrary`.

## ROZDZIAŁ 3

# System weryfikacji jakości kodu

Jak już to zostało wspomniane w poprzednich rozdziałach celem systemu jest sprawdzenie rozwiązań pewnych zagadnień programistycznych nadesłanych przez użytkowników. Dzieje się to poprzez uruchomienie na nich serii testów jednostkowych. Użytkownicy są przydzieleni do różnych grup, a w każdej z tych grup znajdują się inne zadania do wykonania. Są one z kolei przygotowywane przez jeszcze innego użytkownika. Ze względu na tę specyfikę wyróżnić można już dwie role – prowadzącego grupę oraz jej uczestnika. Oczywiście istnieje również administrator, którego głównym obowiązkiem jest zarządzanie osobami korzystającymi z systemu.

Narzędzie zostało zaprojektowane w taki sposób, aby manipulowanie rolami użytkowników było jak najbardziej elastyczne. To znaczy, że chociaż początkowo dana osoba figuruje w systemie jako prowadząca, to może zostać przypisana do innej grupy jako jej uczestnik. Możliwa jest również sytuacja odwrotna, gdzie uczestnik może stać się jednym z prowadzących grupę. Nadal jednak czynnik będący rolą systemową sprawi, że elementy wyświetlane przez interfejs użytkownika oraz możliwe akcje do wykonania będą się nieznacznie różnić.

System dostosowany jest do pracy w architekturze rozproszonej. Proces weryfikacji rozwiązania składa się z wielu elementów komunikujących się ze sobą zarówno bezpośrednio poprzez sieć jak i mechanizm kolejkowania wiadomości. Dzięki lekkim komponentom pracującym równolegle tj. *aktorom* testowanych może być kilka rozwiązań jednocześnie. Wszystko to wpływa pozytywnie na wydajność i czas oczekiwania na ocenę w przypadku, gdy rozwiązania napływają do aplikacji jedno po drugim. Całość została napisana oczywiście w Scali.

Interfejs użytkownika dostarcza pozytywnych wrażeń. Dynamicznie zmieniają się kolejne elementy strony internetowej. Wykorzystana została również technologia dwukierunkowej komunikacji pomiędzy klientem, a serwerem – *WebSockets*.

### 3.1. Użytkownicy

We wstępie tego rozdziału zostało powiedziane, że w systemie istnieją trzy rodzaje użytkowników – administrator, prowadzący oraz uczestnik. Dla pełnego zrozumienia czym się charakteryzują najlepiej będzie prześledzić w jaki sposób działa system. Każda z tych ról ma bowiem inne cele, które wzajemnie się uzupełniają. Dodatkowo role prowadzącego i uczestnika nie są na sztywno przypisane do grupy zadań.

#### 3.1.1. Administrator

Po pierwszym uruchomieniu aplikacji internetowej zajmującej się zarządzaniem zadaniami oraz użytkownikami należy się zalogować. Domyślnie utworzone zostaje pierwsze konto administratora. Po zalogowaniu ukaże się lista użytkowników, na której oczywiście widać będzie jeden wpis dotyczący domyślnego użytkownika. Jeśli standardowe dane logowania nie odpowiadają naszym potrzebom można je w tym panelu również swobodnie zmienić. Tu także zawarte są akcje tworzenia i usuwania użytkowników. Administrator ma także prawo zaktualizować dane każdej osoby korzystającej z systemu wliczając w to zmianę hasła i uprawnień systemowych.

#### 3.1.2. Prowadzący

Gdy już zostanie utworzonych kilku użytkowników, a wśród nich ci z uprawnieniami prowadzących to można przystąpić do części właściwej aplikacji. Po zalogowaniu osoby z nadanymi prawami prowadzącego wyświetlony zostaje widok listy grup powiązanych z tym użytkownikiem. Są to grupy, do których został on przydzielony jako jeden z prowadzących, grupy utworzone przez tego użytkownika oraz te, do których został przypisany jako uczestnik.

O grupach można myśleć jak o kursach składających się z zestawu zadań. Prowadzący tworzy grupę nadając jej nazwę. Otrzymuje tym samym w niej uprawnienia założyciela. Pozwala mu to zmienić nazwę grupy oraz zdecydować o jej usunięciu. Grupa może składać się z wielu prowadzących i oczywiście z wielu uczestników. Są oni dodawani przez założyciela lub innego prowadzącego grupy. Istnieje

również możliwość sprawdzenia prostych statystyk grupy. Można z nich odczytać ogólne informacje o liczbie członków oraz zadań w grupie. Ponadto wyświetlony zostaje spis zadań, z którego można się dowiedzieć, które z nich sprawiło najwięcej trudności uczestnikom. Wniosek ten można wyciągnąć z zaprezentowanej średniej lub sumarycznej oceny wszystkich rozwiązań.

### Zadania

Proces tworzenia zadania przez prowadzącego grupę składa się z trzech etapów:

1. Pobranie i dostosowanie szablonu projektu SBT
2. Wypełnienie formularza z informacjami o zadaniu
3. Wgranie pliku z testami i projektem SBT

Pierwszy etap jest jednocześnie najważniejszym. Formularz dodawania nowego zadania pozwala pobrać przygotowany szablon projektu SBT. Dostosowany przez prowadzącego projekt jest w istocie zadaniem, które będzie udostępnione dla uczestników grupy. Nowe zagadnienie może być przykładowo zestawem klas, w których część metod nie jest zaimplementowana. Ich uzupełnienie będzie obowiązkiem uczestników. Przygotowując w ten sposób zadanie prowadzący zobligowany jest do napisania testów dla tych metod. Im bardziej szczegółowe są testy, tym bardziej dokładna będzie weryfikacja kodu z rozwiązaniami przesyłanymi przez pozostałych użytkowników. Polecenie `test:packageSrc` dostarczane przez SBT pozwala wyodrębnić pliki z testami. Tworzy ono gotowy do wgrania w trzecim etapie plik `.jar` zawierający pliki źródłowe ze specyfikacjami.

Przygotowując zadanie w postaci gotowego projektu SBT prowadzący musi podać najpierw podstawowe informacje o nim przed dodaniem do systemu. Są to tytuł mówiący o temacie, na którym skupia się dane zagadnienie, wprowadzenie do zadania oraz opis poszczególnych ćwiczeń. Po zapisaniu w bazie danych wyświetlony zostaje identyfikator zadania. Musi on się znaleźć w pliku konfiguracyjnym projektu SBT. Na jego podstawie rozwiązanie wysyłane przez uczestnika zostanie automatycznie, poprawnie dopasowane do zagadnienia. To pole konfiguracyjne znajduje się na początku treści pliku `build.sbt` w postaci przedstawionej poniżej.

```
assignmentId := "identyfikatorZadaniaWSystemie"
```

Projekt-zadanie jest w tym momencie gotowe do kompresji do na przykład pliku .zip. Ważne jest, aby nie dodawać do utworzonego archiwum plików z testami, aby nie ułatwiać uczestnikom zadania.

Prowadzący grupę dysponując plikami archiwów z projektem i testami może je nareszcie wgrać do systemu przez aplikację internetową na stronie, na której uprzednio wypełniał formularz dodawania zadania. Tuż po zapisaniu do bazy oprócz wyświetlenia identyfikatora zadania pojawia się, bowiem dalsza część formularza zawierająca odpowiednie pola do przesłania omawianych plików.

Gdy utworzone zadanie zostanie już powiązane z wymaganymi plikami to nie jest jeszcze widoczne dla uczestników grupy. Domyślnie oznaczone będzie ono jako nieaktywne. Ostatnim krokiem do podjęcia przez prowadzącego będzie zatem upewnienie się, że zadanie zostało skonstruowane poprawnie i aktywowanie go w odpowiedniej chwili.

## Rozwiązania

Prowadzący grupę ma oczywiście również wgląd do rozwiązań nadsyłanych przez uczestników. Może je obejrzeć w postaci ogólnej przechodząc do widoku listy rozwiązań wybranego członka grupy. W przypadku, gdy rola prowadzącego została nadana przez administratora systemu, może on również obejrzeć szczegóły rozwiązania. Są to prezentacja raportu z przeprowadzonych testów oraz szczegółowa statystyka informująca między innymi o tym ile testów zostało zakończonych sukcesem, porażką, ile było pominiętych, anulowanych czy wreszcie ile procentowo testów zostało zaliczonych. Ta ostatnia liczba może służyć jako sugestia oceny dla uczestnika z danego zagadnienia. Prowadzący może również pobrać plik z rozwiązaniem na swój dysk.

Chociaż dana osoba mogła zostać dodana do systemu jako prowadząca kursy to nie jest wykluczona z opcji bycia uczestnikiem w innych grupach. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest jednak brak możliwości sprawdzenia wyników pozostałych uczestników w obrębie takich grup. Może natomiast wyświetlić szczegółowe informacje o swoim rozwiązaniu.



### 3.1.3. Uczestnik

Uczestnik grupy jest ostatnim typem użytkownika wymagającym przedstawienia. Jak nietrudno się domyślić jego głównym celem jest rozwiązywanie zagadnień wprowadzanych przez prowadzących kurs. Po zalogowaniu wyświetlona zostaje lista grup powiązanych z użytkownikiem. Aplikacja daje takiej osobie możliwość wyświetlenia jedynie listy aktywnych zadań w wybranej grupie. W kolejnym kroku może przeczytać informacje o zadaniu, opis ćwiczeń oraz oczywiście pobrać przygotowany projekt SBT.

Rozwiązując zadanie uczestnik powinien również napisać własne testy, aby upewnić się co do swojego rozwiązania. Nie będą one jednak brane pod uwagę przy wysyłaniu kodu do analizy. Wysłanie rozwiązania odbywa się przy pomocy dwuargumentowego polecenia SBT: `sendSolution loginUzytkownika hasloUzytkownika`. W pierwszym kroku wyodrębni ono kod źródłowy, który zostanie zarchiwizowany w pliku `.jar`. Następnie zostanie on wysłany do aplikacji zarządzającej.

Po skończonej weryfikacji kodu przez system użytkownik zostanie poinformowany o tym, że może sprawdzić swoją ocenę. Dowie się także przez ile testów zostało zaakceptowane jego rozwiązanie.

Uczestnik może zostać mianowany prowadzącym w innej grupie. W jej obrębie będzie posiadał niemal takie same uprawnienia jak inni prowadzący. To znaczy, że oprócz sprawdzenia swoich wyników będzie posiadał możliwość odczytania ogólnych informacji o ocenach innych uczestników kursu. Poza tym będzie miał realny wpływ na kształt zadań poprzez ich edycję. Udostępnione zostaną mu także widoki statystyki grupy oraz zarządzania jej członkami. Nie jest jednak możliwe usunięcie założyciela grupy.

Wszystkie możliwe uprawnienia zależne od roli użytkownika przedstawia tabela 3.1.

Rola systemowa	Uprawnienia systemowe	Rola w grupie	Uprawnienia w grupie
Administrator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dodawanie, edytowanie, usuwanie użytkowników</li> <li>• Zmiana haseł i uprawnień użytkowników</li> </ul>		
Prowadzący	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tworzenie i edycja grup</li> <li>• Lista powiązanych grup</li> <li>• Wyświetlenie użytkowników z powiązanych grup</li> <li>• Zmiana danych logowania członków z powiązanych grup</li> <li>• Lista zadań z powiązanych grup</li> </ul>	Założyciel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zmiana nazwy grupy</li> <li>• Usuwanie grupy</li> </ul>
		Prowadzący	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Przydzielanie uczestników i prowadzących</li> <li>• Tworzenie, edytowanie, usuwanie i aktywowanie zadań</li> <li>• Podgląd statystyki grupy</li> <li>• Lista rozwiązań danego uczestnika</li> <li>• Pobieranie rozwiązań uczestników</li> <li>• Wyświetlenie szczegółów dotyczących rozwiązań uczestników</li> </ul>
		Uczestnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista swoich rozwiązań</li> <li>• Wyświetlenie szczegółów dotyczących swoich rozwiązań</li> </ul>
Uczestnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wyświetlenie listy z powiązanymi grupami</li> <li>• Wyświetlenie listy zadań z wybranej grupy</li> <li>• Wyświetlenie opisu wybranego zadania</li> </ul>	Prowadzący	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Przydzielanie uczestników i prowadzących</li> <li>• Tworzenie, edytowanie, usuwanie i aktywowanie zadań</li> <li>• Wyświetlenie statystyki danej grupy</li> <li>• Lista wyników i rozwiązań pozostałych uczestników</li> </ul>
		Uczestnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wyświetlenie listy swoich rozwiązań</li> <li>• Odczytanie oceny danego rozwiązania</li> </ul>

**Tablica 3.1.** Uprawnienia użytkowników w aplikacji zarządzającej

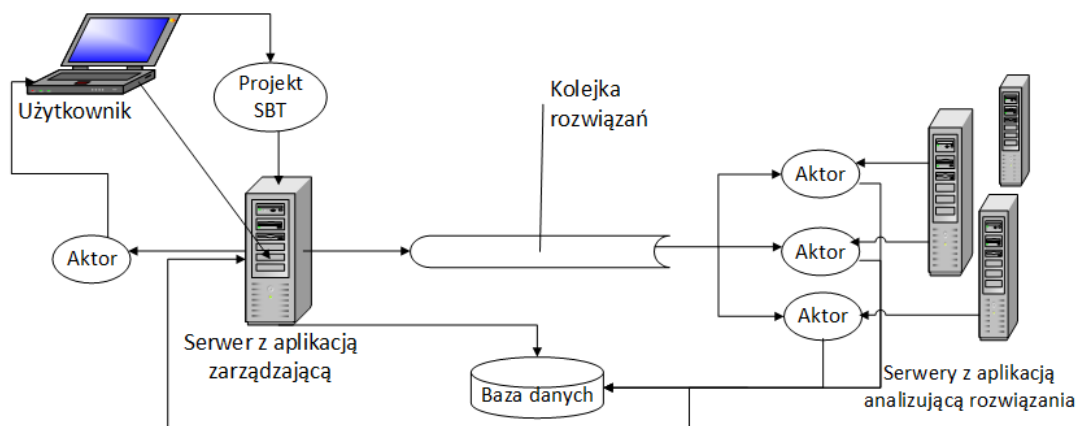
Źródło: Opracowanie własne

## 3.2. Struktura

System będący tematem pracy składa się z dwóch aplikacji. Celem pierwszej z nich jest udostępnienie interfejsu i usług pozwalających na zarządzanie użytkownikami, grupami i zadaniami. Zadaniem drugiej jest natomiast analizowanie przesyłanego kodu i zapisywanie wyników. Rozdzielenie tych logik biznesowych niesie ze sobą wymierne korzyści. Przede wszystkim utrzymując system składający się z mniejszych elementów możliwe jest szybsze namierzenie i naprawienie problemu, gdyby ten wystąpił. Gdy zawodzi jakaś część systemu to również nie jesteśmy zmuszeni do całkowitego zaprzestania pracy.

Podział na dwie aplikacje wymaga również inteligentnego zarządzania zasobami. Aplikacja zarządzająca nie będzie potrzebowała dużej liczby serwerów jak może to być w przypadku aplikacji testującej kod. To na tej drugiej bowiem uruchamiane będą procesy sprawdzające przesyłane przez użytkowników rozwiązania.

Strukturę całego systemu oraz drogi komunikacji pokazuje schemat 3.1.



**Rysunek 3.1.** Schemat komunikacji pomiędzy różnymi elementami systemu

Źródło: Opracowanie własne

Zanim jednak zostanie przedstawiona charakterystyka obu aplikacji i metod komunikacji między nimi, należy odpowiedzieć na pytanie czym są *Akka* i aktorzy.

### 3.2.1. Aktorzy

Akka to zestaw narzędzi do tworzenia aplikacji działających na maszynie wirtualnej JVM, które potrafią obsługiwać wiele żądań równolegle, wchodzą w kontakt z klientem w sposób asynchroniczny i wspierają zdarzeniowy model programowania. W jej skład wchodzi specjalne komponenty – aktorzy. Dają one szansę programistom w pełni skupić się na tym jak zaimplementować w aplikacji założone cele poprzez zdjęcie z nich odpowiedzialności za skalowalność kodu i zarządzanie zasobami.

Moduły Akki to tak naprawdę pliki archiwów *.jar*. Można z nich korzystać jak z każdej innej biblioteki w tej postaci. Zaletą każdego z komponentów jest to, że posiada zminimalizowaną listę zależności. Moduł aktorów nie wymaga niczego innego ponad standardową biblioteką Scali. W rzeczywistości od wersji 2.10 Scali moduł ten zawarty jest jako część standardowej biblioteki języka.

Wykorzystanie aktorów ma na celu uruchamianie procesów działających równolegle i rozwiązujących wspólnie pewne zadania, komunikując się przy tym ze sobą w sposób asynchroniczny. Autorzy książki „Akka in Action” [6, s. 9] jako przykład zastosowania aktorów podają system sprzedający bilety. Załóżmy, że istnieje jedna pula biletów na koncert oraz cztery kasy. Typowa implementacja takiego systemu w Akce oparta będzie na aktorach komunikujących się ze sobą niemutowalnymi wiadomościami. Każdy z nich posiada informację o adresie innych aktorów. Pierwszym aktorem niech będzie dystrybutor biletów, a kolejnymi agenci odpowiadający za sprzedaż.

Dystrybutor posiada informację, że na dany koncert dostępnych jest na przykład 100 biletów. Najprostszym sposobem powiadomienia o tym agentów jest wysłanie tej informacji w sposób łańcuchowy. Aktor dystrybutora przesyła zatem tę wiadomość do pierwszego aktora kasy. Ten odejmuje z puli wszystkich biletów swoją część i przekazuje nową wiadomość do drugiego aktora kasy. Wiadomość ta również zawiera informacje o tym ile biletów zostało wziętych z puli oraz ile zostało. Sytuacja powtarza się, aż każda z kas będzie posiadać dokładnie 25 biletów.

Mocną stroną takiego rozwiązania jest to, że aktorzy kas mogą sprzedawać równolegle bilety bez blokowania siebie nawzajem. Każdy z nich posiada przecież własną pulę wejściówek. Innym plusem jest to, że aktorzy nie muszą czekać na

odpowiedź dystrybutora. W sytuacji, gdy dystrybutor ulegnie awarii to kasy nadal mogą pracować aż do momentu wyprzedania puli biletów. Dodatkowo, gdy agent wyśle wiadomość do zepsutego dystrybutora to nie ulegnie on awarii, ani nie będzie czekać na odpowiedź. Jego praca nie zostanie przerwana, a jego żądanie może zostać obsłużone przez inny obiekt.

Podsumowując, aktorzy w powyższym przykładzie nie współdzielą danych, a komunikują się przez niemutowalne wiadomości. Unika się zatem problemów spotykanych w klasycznych wielowątkowych implementacjach. Są to blokady związane z dostępem do danych, czy zakleszczanie wątków<sup>1</sup>. Akka wyklucza większość tego typu problemów uwalniając programistę od dodatkowego ciężaru.

Zaimplementowany w Scali system aktorów Akki dba o to, by poszczególni aktorzy potrafili komunikować się ze sobą oraz dostarcza wymagane komponenty do pracy z nimi. Możliwe jest korzystanie z niego także w programach Javowych. Akka dla Scali dostarcza cechę `Actor` na podstawie, której możliwe jest skonstruowanie własnego aktora. Stworzenie wspomnianego agenta kasy ograniczyłoby się zatem do skonstruowania klasy rozszerzającej tę cechę i zawierającą liczbę wolnych biletów na dany koncert. Akka nie pozwoli jednak na powołanie go do życia przy użyciu konstruktora, ponieważ dałoby to bezpośredni dostęp do jego metod. To z kolei byłoby niezgodne z ideą równoległej pracy poprzez przesyłanie wiadomości. System aktorów sam tworzy referencje aktorów<sup>2</sup>. Pozwala na ich podstawie zlokalizować żadanego aktora.

Aktora Akki najprościej jednak można scharakteryzować przez pryzmat czterech głównych operacji jakie wykonuje:

1. Tworzenie – każdy aktor może tworzyć nowych aktorów. W systemie Akki istnieje więc aktor będący na szczycie w hierchii.
2. Wysyłanie – model programowania przy użyciu aktorów polega na przesyłaniu między aktorami asynchronicznych wiadomości.
3. Odbieranie – aktor odbiera wiadomości, od których uzależnione jest jego „zachowanie”. Występuje tutaj mechanizm dopasowywania wzorca.

---

<sup>1</sup>Sytuacja, w której co najmniej dwa różne wątki czekają na siebie wzajemnie.

<sup>2</sup>W Scali jest to obiekt typu `ActorRef`

4. Kontrolowanie – aktor może monitorować potomnych aktorów poprzez odbieranie wiadomości i reagować w ten sposób na ewentualne błędy, czy niepowodzenia operacji przez nich wykonywanych.

Prosty przykład kodu uruchamiającego aktora oraz wysyłającego mu wiadomości znajduje się poniżej. Jest to wariacja przykładu z dopasowywaniem wzorca z pierwszego rozdziału 1.1.3.

```
import akka.actor.{Actor, ActorSystem, Props}
case class Cat(name: String)
case class Dog(name: String)
object AnimalActor {
  def props = Props(new AnimalActor)
}
class AnimalActor extends Actor {
  def receive = {
    case c: Cat => println("Meow!")
    case d: Dog => println("Woof!")
    case _ => println("Animal")
  }
}

scala> val system = ActorSystem("animals")
system: akka.actor.ActorSystem = akka://animals

scala> val actor = system.actorOf(AnimalActor.props)
actor: akka.actor.ActorRef = Actor[akka://animals/user/\$#\b359028552]

scala> actor ! Cat("Tom")
Meow!

scala> actor ! Dog("Reksio")
Woof!
```

### 3.2.2. Aplikacja zarządzająca

Aplikacja ta zajmuje się wszystkimi operacjami związanymi z tworzeniem zadań, grup, czy zarządzaniem użytkownikami. Tym ostatnim udostępniony zostaje interfejs w postaci strony internetowej. Jej poszczególne elementy są wyświetlane lub ukrywane w zależności od roli osoby aktualnie korzystającej z aplikacji. Każda ścieżka adresu prowadząca do widoku jest dodatkowo zabezpieczona. To znaczy, że nawet jeśli użytkownik odgadłby URL, pod którym znajduje się formularz dodawania grupy, a nie posiadałby odpowiednich uprawnień to zostanie mu wyświetlony widok błędu z odpowiednim komunikatem. Aplikacja składa się w rzeczywistości jedynie z dwóch stron - strony logowania oraz strony właściwej interfejsu. Dlatego też wyświetlenie tego komunikatu nie byłoby klasycznym przekierowaniem URL. Panele dostępne użytkownikowi generowane są dynamicznie, a potrzebne dane pobierane od serwera w sposób asynchroniczny. Poza stroną logowania całość zbudowana została w oparciu o narzędzie *AngularJS*, który umożliwia w szybki sposób osiągnąć taki efekt.

Aby w pełni zrozumieć komunikację przedstawioną na rysunku 3.1 w tej części systemu należy poczynić najpierw kilka założeń. Załóżmy, że w systemie funkcjonują już grupy, które posiadają aktywne zadania stworzone przez prowadzących.

Uczestnik loguje się do systemu by rozwiązać zadanie z wybranej grupy. W tym momencie *WebSocket* zostaje powiązany z jego identyfikatorem poprzez żądanie *Ajax* zrealizowane przez napisany dla *AngularJS* serwis. Po stronie serwera zostaje wysłana wiadomość do aktora, który zajmować się będzie wiązaniem *WebSockets* z identyfikatorami użytkownika. Następnie do przeglądarki zostaje wysłana odpowiedź ze statusem HTTP OK. Głównym zadaniem uruchomionego aktora jest powiadamianie później użytkownika o skończonej analizie jego rozwiązania. Reaguje on zatem na jeszcze dwie inne wiadomości – zamykającą dwukierunkowe połączenie oraz zlecenie poinformowania użytkownika. Zaimplementowane rozwiązanie posiada tę zaletę, że jeśli użytkownik posiada więcej niż jedno okno otwarte, to wszystkie otrzymają tę samą informację.

Po zapoznaniu się z opisem zadania i poleceniami do wykonania, użytkownik pobiera projekt SBT na swój dysk. Chcąc wysłać swoje rozwiązanie wykonuje polecenie `sendSolution` z poziomu projektu. Zostaje wówczas wysłane żądanie

do aplikacji zarządzającej, która zweryfikuje dane użytkownika oraz zidentyfikuje zadanie, do którego odnosi się przesłane rozwiązanie. Gdy wszystkie wymagania zostaną spełnione, utworzony zostanie nowy wpis w bazie danych. Następnie identyfikator rozwiązania zostanie umieszczony w kolejce rozwiązań. Jest to server *RabbitMQ*<sup>3</sup>, dzięki któremu obie aplikacje w sposób asynchroniczny mogą współpracować ze sobą.

Do ukończenia procesu weryfikacji pozostaje już tylko powiadomienie odpowiedniego użytkownika. Może to zrobić odbierając od aplikacji testującej żądanie HTTP po skończonej analizie. W ten sposób aktor zarządzający połączeniami WebSockets otrzyma wiadomość *Notify* zawierającą obiekt rozwiązania. Na podstawie umieszczonego w nim identyfikatora użytkownika serwer wyśle informację do właściwego klienta o skończonej operacji. Oczywiście jest to możliwe jeśli wcześniej aktor nie otrzymał wiadomości *SocketClosed* usuwającej z pamięci powiązanie z WebSoketem. Zamierzonym końcowym efektem jest jednak wyświetlenie użytkownikowi stosownego komunikatu oraz umieszczenie informacji o ocenie na liście ostatnio oddanych rozwiązań.

### 3.2.3. Aplikacja testująca kod

Każda instancja aplikacji sprawdzającej kod startując uruchamia dowolną liczbę aktorów. Liczba aktorów jest zdefiniowana w pliku konfiguracyjnym podobnie jak ustawienia dotyczące połączenia z serwerem *RabbitMQ*. Uruchomiony aktor staje się odbiorcą odpowiadających za ściąganie wiadomości z kolejki rozwiązań.

Powodem takiej implementacji jest potrzeba uniknięcia natychmiastowego testowania rozwiązań. Operacja taka może zająć zbyt dużą ilość czasu, aby oczekiwać wyniku przez zwykłe żądanie HTTP. Dodatkowym problemem są również ograniczone zasoby serwerów. Jednoczesne sprawdzanie ogromnej ilości rozwiązań może doprowadzić do błędów z tym związanych. Zamiast tego możliwe jest ustalenie ile rozwiązań ma być testowanych jednocześnie. Pozostałe będą oczekiwać w kolejce i zostaną sprawdzone, gdy tylko będzie to możliwe. *RabbitMQ* domyślnie wysyła do swoich odbiorców wiadomości, gdy tylko są w stanie gotowości.

System został tak skonfigurowany, aby w przypadku, gdy jeden z aktorów ule-

---

<sup>3</sup><http://www.rabbitmq.com/>



gnie awarii lub zostanie wyłączony w trakcie przetwarzania wiadomości z kolejki to nie zostaną utracone żadne dane. RabbitMQ oczekuje potwierdzenia wykonania od swoich odbiorców. Jeśli utraci z którymś kontakt to wiadomość zostanie zinterpretowana jako nie przetworzona i przesłana do innego aktora. Przewidziana została także sytuacja, w której awarii może ulec serwer RabbitMQ. Kolejka i wiadomości przesyłane do niej posiadają ustawienia, które w takim przypadku zostaną zapisane na dysku. Uruchomiony ponownie serwer odczyta je.

Po odebraniu wiadomości z kolejki zostaje uruchomiony proces odbudowy projektu SBT i testowania. Każde rozwiązanie jest sprawdzane w osobnym i tymczasowym katalogu. Pobrane z bazy danych zostają wgrane przez prowadzącego grupę pliki z testami oraz projektem dla sprawdzanego zadania. Oczywiście w bazie danych znajdują się także zmodyfikowane przez uczestnika pliki i one również zostają odzyskane. Wszystkie te elementy odpowiednio połączone ze sobą tworzą nowy projekt SBT.

ScalaTest pozwala na uruchamianie testów w projekcie przy pomocy tak zwanego *reportera*. Jest to specjalny obiekt przechwytyjący szczegółowe informacje o testach. Napisany na potrzeby systemu reporter reaguje na zdarzenia wyzwalane przez ScalaTest i zapisuje dane do pliku *.json*.

Gdy proces testowania zostanie zakończony następuje odczytanie wyników i odzwierciedlenie ich w postaci obiektu typu *Result*. Klasa *Result* zawiera pola informujące między innymi o liczbie spodziewanych, ukończonych, anulowanych, czy wszystkich testów. Dopełnieniem jest pole *mark*, z którego odczytać można jaki procent testów zakończonych zostało sukcesem w stosunku do liczby wszystkich testów w projekcie.

Wpis o danym rozwiązaniu zostaje zmodyfikowany w bazie danych o zwrócone przez reportera szczegóły. Dodatkowo, informacja o rozwiązaniu jest uzupełniona o domyślny raport końcowy zwracany przez ScalaTest, a także o szczegóły uruchomionego przez aplikację procesu. Ostatnim krokiem jest powiadomienie aplikacji zarządzającej o zakończonej analizie wysyłając żądanie HTTP. Aktor staje się gotowy do odebrania kolejnej wiadomości z kolejki po wykonaniu wszystkich opisanych wyżej akcji.

### 3.3. Zastosowane technologie

Na ostateczny kształt systemu miało wpływ wiele technologii. Część z nich została już opisana w poprzednich rozdziałach. Są to między innymi SBT, ScalaTest, ScalaCheck, czy Akka. Warto jednak przyrzeć się pokrótce w jaki sposób zaimplementowana zostały pozostałe elementy systemu.

Pierwszy przedstawiony zostanie *Play Framework*. To właśnie przy jego pomocy powstały dwie aplikacje, na które składa się całość systemu. Narzędzie to pozwala stworzyć aplikację internetową w oparciu o wzorzec Model-Widok-Kontroler w języku Java lub Scala. Składa się między innymi z wydajnego serwera HTTP i kompilatora. Zmiany wprowadzane do aplikacji mogą być widoczne bez potrzeby przebudowania całego projektu. Aplikacja jest bowiem automatycznie rekompilowana w trakcie działania. Play wspiera podejście REST oraz pozwala na wygodną integrację z bazą danych<sup>4</sup>.

System weryfikacji kodu musi przechowywać, gdzieś pliki projektów i testów. *MongoDB* to nierelacyjna baza danych z mechanizmem gotowym do przechowywania plików o rozmiarach przekraczających nawet 16 MB. Wszystkie oficjalne sterowniki wspierają ten mechanizm, w tym oczywiście również te, przeznaczone dla Scali. Ponadto do pobierania statystyk grupy wykorzystana została technika agregacji. To znaczy, że kolejne instrukcje bazy danych są wykonywane łańcuchowo w oparciu o kolejne wyniki poprzednich operacji.

RabbitMQ oraz jego zastosowanie w systemie zostało w skrócie przedstawione w podrozdziale 3.2. Warto jednak przyrzeć się temu narzędziu jeszcze bliżej. W tym rozdziale zostanie przedstawione w jaki sposób skonfigurować połączenie z nim od strony aplikacji. Ponieważ aplikacje korzystają z oficjalnego klienta tego serwera dla Javy, będzie to także kolejny dowód na kompatybilność Scali.

Na zakończenie omówiony zostanie interfejs użytkownika, który niemal w całości powstał przy użyciu biblioteki języka JavaScript - *AngularJS*. Również ona korzysta ze wzorca Model-Widok-Kontroler.

---

<sup>4</sup>Domyślnie jest to H2

### 3.3.1. Play Framework

Play Framework można w pewnym sensie porównać do *Ruby on Rails*. Oba te narzędzia korzystając z architektury Model-Widok-Kontroler, dostarczają szkielet aplikacji internetowych, który doskonale sprawdza się w małych i średnich projektach. W obu przypadkach mamy również do czynienia ze wsparciem wzorca REST.

Podobieństw do idei proponowanych przez Ruby on Rails jest więcej. Wszelkie ustawienia aplikacji umieszczone są w specjalnych plikach konfiguracyjnych. Zdefiniowane w nich biblioteki i zależności pobierane są automatycznie. Samo wygenerowanie szkieletu sprowadza się do wpisania jednego polecenia. W przypadku Play jest to `play new nazwaAplikacji`.

Podczas tworzenia aplikacji możliwe jest uruchomienie jej w środowisku deweloperskim i utrzymywanie w stanie działania. Wszystkie wprowadzane do kodu zmiany są na bieżąco aktualizowane i widoczne. Jest to zdecydowana oszczędność czasu, gdyż nie ma potrzeby przebudowywania aplikacji i uruchamiania ponownie serwera. Innym atutem z tym związanym jest fakt, że gdy dojdzie do pojawienia się błędów kompilacji kodu, to zostaną one wyświetlone przez przeglądarkę. Wyszczególniony zostanie również plik oraz numer linii, w której do błędu doszło.

Warto też dodać, że Play Framework posiada wtyczki do popularnych zintegrowanych środowisk programistycznych jak IntelliJ IDEA, czy Eclipse. Obie aplikacje oraz szablon projektu SBT udostępniany przez część zarządzającą systemem mają dołączone zależności umożliwiające wygenerowanie danych konfiguracyjnych niezbędnych do zaimportowania projektu do tych narzędzi.

### 3.3.2. MongoDB

MongoDB to wydajna baza przechowująca dane w postaci dokumentów. Jeden serwer MongoDB może obsługiwać wiele baz danych. Pojedyncza baza zawiera kolekcje, które są zbiorami dokumentów. Dokumenty mogą być dynamicznie modyfikowane i nie są ograniczone przez żaden schemat nakładany na kolekcje. Oznacza to w praktyce, że dokumenty w obrębie kolekcji mogą mieć różne zestawy pól.

Oficjalny sterownik dla języka Scala nosi nazwę *Casbah*. Jest to tak naprawdę „opakowanie” sterownika dla Javy. Społeczność Scali wytworzyła również wie-

le dodatkowych narzędzi do współpracy z MongoDB. Jedno z najbardziej popularnych to biblioteka *Salat* służąca do przekształcania klas definiujących modele aplikacji do dokumentów MongoDB i odwrotnie. Udostępnia również pomocnicze metody, pozwalające w wygodny sposób skonstruować zapytania do bazy. System weryfikacji kodu Scala korzysta z zarówno z Casbah jak i Salat.

MongoDB oferuje również mechanizm pozwalający na przechowywanie plików w bazie, o nazwie *GridFS*. Pliki umieszczane w bazie przy użyciu tej techniki są dzielone na mniejsze fragmenty i przechowywane jako osobne dokumenty. Po dodaniu pierwszego pliku, tworzone są dwie kolekcje. Jedna z nich przechowuje fragmenty plików, a druga – metadane na ich temat. Są to między innymi nazwa, rozmiar oraz typ pliku. Sterownik automatycznie odnajduje potrzebne fragmenty pliku i łączy je w całość.

### 3.3.3. RabbitMQ

Wymiana informacji na temat zadań i ich rozwiązań pomiędzy aplikacjami wchodzącymi w skład systemu, oparta jest na protokole AMQP<sup>5</sup>. Pozwala on na asynchroniczne przekazywanie wiadomości oraz ogólne zarządzanie komunikacją wykorzystując do tego celu mechanizm kolejkowania.

Konfiguracja kolejki w systemie jest bardzo prosta. Ustawienia mogą być różne w zależności od środowiska uruchomieniowego aplikacji. Odpowiadają za to oddzielne pliki.

- `application.conf` – najbardziej ogólne ustawienia. Będą stosowane we wszystkich środowiskach.
- `application.dev.conf` – ustawienia środowiska deweloperskiego.
- `application.prod.conf` – ustawienia środowiska produkcyjnego.
- `application.test.conf` – ustawienia środowiska testowego.

W konfiguracji aplikacji zarządzającej wymagane jest zdefiniowanie dwóch pól – nazwy maszyny, na której działa serwer RabbitMQ oraz nazwy kolejki służącej do obsługi rozwiązań.

---

<sup>5</sup>AMQP - jest to skrót od Advanced Message Queuing Protocol

```
rabbitmq.host=localhost  
rabbitmq.solutions.queue=solutions_queue
```

Aplikacja testująca kod wykorzystuje dodatkowe pole konfiguracyjne określające liczbę uruchamianych aktorów analizujących rozwiązania. Aby uniknąć problemów wydajnościowych, jego wartość powinna uwzględniać konfigurację maszyny.

```
rabbitmq.solutions.analyzers.number=2
```

W obu przypadkach ustawienia są wczytywane przy starcie aplikacji.

RabbitMQ jest narzędziem sprawdzonym i powszechnie wykorzystywanym. To dlatego znalazł zastosowanie w systemie weryfikacji pomimo, że możliwe było również zaimplementowanie podobnego rozwiązania przy pomocy Akki.

### 3.3.4. AngularJS

Interfejs aplikacji zarządzającej składa się jedynie z dwóch stron. Pierwsza z nich to strona logowania. Zbudowana została przy pomocy metod do tworzenia formularzy w widokach dostarczanych przez Play Framework.

Obsługa interfejsu „strony głównej” zorganizowana została z wykorzystaniem biblioteki AngularJS. Jej głównym przeznaczeniem jest wsparcie dla szybkiego budowania dynamicznych aplikacji internetowych. Cel ten udało się osiągnąć dzięki dwukierunkowemu wiązaniu danych oraz stworzeniu modułu nazywanego „kompilatorem HTML”.

Dwukierunkowe wiązanie danych powoduje, że wszelkie zmiany w widoku są odzwierciedlane w modelu danych i na odwrót. Za dostarczenie odpowiednich informacji do konkretnego fragmentu strony odpowiada za tzw. *kontroler*. Tworzy on i modyfikuje dane, które są przechowywane w specjalnym obiekcie `$scope`. To dzięki niemu realizowane jest dwukierunkowe wiązanie danych. Modyfikowanie danych przechowywanych w `$scope` sprawia, że zmiany są automatycznie zauważalne w widoku, bez potrzeby samodzielnego manipulowania elementami strony.

Moduł „kompilatora HTML”, pozwala programiście zdefiniować kod strony w zupełnie nowy sposób. Istnieje możliwość tworzenia własnych atrybutów, a na-

wet znaczników. W ten sposób można dodać specyficzne dla potrzeb aplikacji „zachowanie” poszczególnych elementów strony. Programista dokonuje tego za pomocą definiowania własnych dyrektyw. Część zarządzająca omawianego systemu potrzebowała dyrektyw decydujących o tym, które z elementów strony powinny być widoczne, bądź ukryte w zależności od roli zalogowanego użytkownika. Dzięki temu modułowi udało się stworzyć czytelne dla każdego atrybuty HTML.

```
<div data-has-permission="Educator" class="pull-right">  
...  
</div>
```

Fragment strony zawarty pomiędzy znacznikami `div` w powyższym przykładzie będzie pokazany jedynie prowadzącemu. Jego rola w kodzie systemu określona jest jako `Educator` (ang. dydaktyk). Stworzona dyrektywa pozwala zdefiniować wyświetlaną zawartość dzięki dodaniu czytelnego atrybutu `data-has-permission`.

Sama biblioteka AngularJS, jak i stworzona z jej pomocą aplikacja zarządzająca mają budowę modułarną. Każdy model w ramach aplikacji posiada też własny, specyficzny zestaw serwisów i kontrolerów.

## Zakończenie

Scala to język wartý szczególnej uwagi. Oferowane przez nią połączenie paradygmatu programowania obiektowego i funkcyjnego oraz kompatybilność z językiem Java stwarzają ogromne możliwości. W wielu miejscach już teraz Scala mogłaby swobodnie zastąpić Javę. System weryfikacji jakości kodu pozwala przy użyciu dojrzałych narzędzi testowania nie tylko zweryfikować kod, ale również przyczynić się do wzrostu popularności języka Scala. Zawiera w sobie element dydaktyczny, pozwalający na definiowanie własnych kursów i zadań. Użyty w ośrodkach edukacyjnych, ma szansę przyczynić się do wzrostu zainteresowania programowaniem i podniesienia umiejętności przyszłych programistów. Z powodzeniem może też być wykorzystywany w firmach chcących sprawdzić kwalifikacje kandydatów w procesie rekrutacyjnym. System powstał przy użyciu wielu nowoczesnych technologii i jest dostosowany do pracy w architekturze rozproszonej.

## DODATEK A

# Repozytoria aplikacji

Poniżej znajdują się odsyłacze prowadzące do repozytoriów kodu aplikacji. W każdym z nich znajduje się krótka dokumentacja opisująca sposób ich konfiguracji i uruchamiania.

- Aplikacja zarządzająca – <https://github.com/dsawa/scaxerciser>
- Aplikacja testująca – [https://github.com/dsawa/scaxerciser\\_analyze](https://github.com/dsawa/scaxerciser_analyze)
- Szablon projektów SBT – <https://github.com/dsawa/project-template>

Dostęp do repozytoriów jest ograniczony. Aby obejrzeć ich zawartość należy zalogować się na specjalnie utworzone konto:

- użytkownik – `scaxerciser`
- hasło – `t3Gh1oBc`



# Bibliografia

- [1] Martin Odersky with Lex Spoon and Bill Venners. *Programming in Scala*. Artima, Inc., P.O. Box 305, Walnut Creek, CA 94597, USA, second edition, 2010.
- [2] Martin Odersky. *Scala by Example*. École polytechnique fédérale de Lausanne, Programming Methods Laboratory EPFL, Route Cantonale, 1015 Lausanne, Switzerland, 2014.
- [3] Joshua Suereth and Matthew Farwell. *SBT in Action*. Manning in Action. Manning Publications Co., 20 Baldwin Road, PO Box 261, Shelter Island, NY 11964, USA, meap edition, 2014.
- [4] Andy Hunt and Dave Thomas. *Pragmatic Unit Testing in Java with JUnit*. The Pragmatic Programmers, LLC, 9650 Strickland Rd Ste 103 255, Raleigh, NC 27615, USA, first edition, 2003.
- [5] Roy Osherove. *The Art of Unit Testing with Examples in .NET*. Manning Publications Co., 20 Baldwin Road, PO Box 261, Shelter Island, NY 11964, USA, second edition, 2009.
- [6] Rob Bakker Raymond Roestenburg and Rob Williams. *Akka in Action*. Manning Publications Co., 20 Baldwin Road, PO Box 261, Shelter Island, NY 11964, USA, first edition, 2012.

## Spis tablic

3.1. Uprawnienia użytkowników w aplikacji zarządzającej . . . . .	42
---	----

## Spis rysunków

1.1. Ilość repozytoriów dla poszczególnych języków na platformie GitHub w roku 2013 . . . . .	9
3.1. Schemat komunikacji pomiędzy różnymi elementami systemu . .	43



# Oświadczenie

Ja, niżej podpisany(a) oświadczam, iż przedłożona praca dyplomowa została wykonana przeze mnie samodzielnie, nie narusza praw autorskich, interesów prawnych i materialnych innych osób.

.....

data

.....

podpis