

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
WYDZIAŁ INFORMATYKI I  
TELEKOMUNIKACJI

---

KIERUNEK: INFORMATYKA (TECHICZNA?)  
SPECJALNOŚĆ: INŻYNIERIA SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

PRACA DYPLOMOWA  
INŻYNIERSKA

Projekt aplikacji webowej służącej do  
muzycznego samokształcenia

Design of a web application for musical  
self-education

AUTOR:

Jacek Kozicki

PROWADZĄCY PRACĘ:

dr inż. Tomasz Kubik, Katedra Informatyki Tech-  
nicznej

Opracował: Tomasz Kubik <tomasz.kubik@pwr.edu.pl>  
Data: maj 2021



Tekst zawarty w niniejszym szablonie jest udostępniany na licencji Creative Commons: *Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne – Na tych samych warunkach, 3.0 Polska*, Wrocław 2021. Oznacza to, że wszystkie przekazane treści można kopiować i wykorzystywać do celów niekomercyjnych, a także tworzyć na ich podstawie utwory zależne pod warunkiem podania autora i nazwy licencjodawcy oraz udzielania na utwory zależne takiej samej licencji. Tekst licencji jest dostępny pod adresem: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/pl/>. Podczas redakcji pracy dyplomowej stronę tę można usunąć. Licencja dotyczy bowiem zredagowanego opisu, a nie samego latexowego szablonu. Latexowy szablon można wykorzystywać bez wzmiankowania o jego autorze.

## Streszczenie

Streszczenie w języku polskim powinno zmieścić się na połowie strony (drugą połowę powinien zająć abstract w języku angielskim).

Lorem ipsum dolor sit amet eleifend et, congue arcu. Morbi tellus sit amet, massa. Vivamus est id risus. Sed sit amet, libero. Aenean ac ipsum. Mauris vel lectus.

Nam id nulla a adipiscing tortor, dictum ut, lobortis urna. Donec non dui. Cras tempus orci ipsum, molestie quis, lacinia varius nunc, rhoncus purus, consectetur congue risus.

**Słowa kluczowe:** raz, dwa, trzy, cztery

## Abstract

Streszczenie in Polish should fit on the half of the page (the other half should be covered by the abstract in English).

Lorem ipsum dolor sit amet eleifend et, congue arcu. Morbi tellus sit amet, massa. Vivamus est id risus. Sed sit amet, libero. Aenean ac ipsum. Mauris vel lectus.

Nam id nulla a adipiscing tortor, dictum ut, lobortis urna. Donec non dui. Cras tempus orci ipsum, molestie quis, lacinia varius nunc, rhoncus purus, consectetur congue risus.

**Keywords:** one, two, three, four

# Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	<b>9</b>
1.1. Wprowadzenie	9
1.2. Cel i zakres pracy	9
1.2.1. Cel pracy	9
1.2.2. Zakres pracy	10
1.3. Układ pracy	10
<b>2. Użyte technologie</b>	<b>11</b>
2.1. Technologie frontendowe	11
2.1.1. Wybór technologii	11
2.1.2. Opis wybranej technologii	13
2.2. technologie backendowe	13
2.2.1. Wybór technologii	13
2.2.2. Opis wybranej technologii	13
2.3. Wersjonowanie oraz pozostałe narzędzia	13
2.3.1. Wersjonowanie	13
2.3.2. Środowiska programistyczne	14
<b>3. Analiza wymagań</b>	<b>15</b>
3.1. Wymagania funkcjonalne	15
3.2. Wymagania niefunkcjonalne	15
3.3. Omówienie przypadków użycia	16
3.3.1. Diagram przypadków użycia	16
3.3.2. Scenariusze wybranych przypadków użycia	16
<b>4. Projekt aplikacji</b>	<b>18</b>
4.1. Architektura systemu	18
4.2. Architektura aplikacji klienta	19
<b>5. Implementacja aplikacji</b>	<b>21</b>
5.1. Implementacja Backendu	21
5.1.1. Endpointy	21
5.1.2. Obliczanie dźwięków	22
5.2. Obserwacje i uwagi	23
5.3. Implementacja Frontendu	23
5.3.1. Strona główna	25
5.3.2. Nawigacja	25
5.3.3. Komunikacja z API	26
5.3.4. Podstrony z wirtualnymi instrumentami	27
5.3.5. Trening słuchu	29
5.3.6. Quiz	30
5.4. Testowanie aplikacji	31
5.4.1. Lighthouse	31

---

<b>6. Podsumowanie . . . . .</b>	<b>33</b>
6.1. Zrealizowane cele i założenia . . . . .	33
6.2. Dalszy rozwój aplikacji . . . . .	33
6.2.1. Konta użytkowników . . . . .	33
6.2.2. Dodatkowe instrumenty . . . . .	34
6.2.3. Dodatkowe ćwiczenia . . . . .	34
6.2.4. Wykorzystanie mikrofonu . . . . .	34
6.2.5. Lekcje . . . . .	34
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>A. Instrukcja wdrożeniowa . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>B. Opis załączonej płyty CD/DVD . . . . .</b>	<b>37</b>

# Spis rysunków

2.1. Statystyki wykorzystania frameworka Angular na stronach generujących największy ruch[2] . . . . .	12
2.2. Statystyki wykorzystania frameworka React na stronach generujących największy ruch[6] . . . . .	12
3.1. Diagram przypadków użycia aplikacji . . . . .	16
4.1. Architektura komunikacji w systemie opartym na REST API[7] . . . . .	18
4.2. Diagram podstrony z wirtualnym instrumentem z wyróżnieniem komponentów i zależności między nimi . . . . .	19
5.1. Schemat projektu aplikacji Frontendowej . . . . .	21
5.2. Schemat projektu aplikacji Frontendowej . . . . .	24
5.3. Katalogi audio-player oraz guitar-page pokazują schemat plików odpowiednio serwisu i komponentu . . . . .	25
5.4. Katalogi audio-player oraz guitar-page pokazują schemat plików odpowiednio serwisu i komponentu . . . . .	25
5.5. Widok strony z gitarą basową przed wykonaniem zapytania . . . . .	27
5.6. Widok strony z gitarą basową po wykonaniu zapytania . . . . .	28
5.7. Widok strony z gitarą basową po wykonaniu zapytania i przełączeniu opcji hover . . . . .	29
5.8. Widok strony z gitarą akustyczną po wykonaniu zapytania . . . . .	29
5.9. Początkowy stan komponentu treningu słuchu . . . . .	30
5.10. Stan komponentu treningu słuchu po udzieleniu poprawnej odpowiedzi . . . . .	30
5.11. Początkowy stan komponentu treningu słuchu . . . . .	31
5.12. Stan komponentu treningu słuchu po udzieleniu poprawnej odpowiedzi . . . . .	31
5.13. Wyniki testu Lighthouse . . . . .	32

# Spis tabel

# Spis listingów

5.1. Główny endpoint stworzonego API . . . . .	22
5.2. Wzorce opisujące przykładowe akordy . . . . .	22
5.3. Funkcja obliczająca dźwięki w skali . . . . .	23
5.4. Funkcja obliczająca dźwięki w akordzie . . . . .	23
5.5. Ścieżki zdefiniowane w aplikacji . . . . .	26
5.6. Klasa Scale wykorzystywana do zapytań i przechowywania danych o skalach . . . . .	26
5.7. Metoda klasy TheoryApiService wysyłająca zapytanie o dźwięki akordu do API . . . . .	26
5.8. Wstrzykiwanie zależności do komponentu GuitarPageComponent . . . . .	27
5.9. Metoda odtwarzająca zadany dźwięk . . . . .	28
5.10. Metoda generująca losowy akord . . . . .	30



# Skróty

**OGC** (ang. *Open Geospatial Consortium*)  
**XML** (ang. *eXtensible Markup Language*)  
**SOAP** (ang. *Simple Object Access Protocol*)  
**WSDL** (ang. *Web Services Description Language*)  
**UDDI** (ang. *Universal Description Discovery and Integration*)  
**GIS** (ang. *Geographical Information System*)  
**SDI** (ang. *Spatial Data Infrastructure*)  
**ISO** (ang. *International Standards Organization*)  
**WMS** (ang. *Web Map Service*)  
**WFS** (ang. *Web Feature Service*)  
**WPS** (ang. *Web Processing Service*)  
**GML** (ang. *Geography Markup Language*)  
**SRG** (ang. *Seeded Region Growing*)  
**SOA** (ang. *Service Oriented Architecture* )  
**IT** (ang. *Information Technology* )

# Rozdział 1

## Wstęp

### 1.1. Wprowadzenie

Wraz ze wzrostem dostępu do internetu, wzrosła również pula darmowych zasobów do nauki. Wg danych na rok 2021[10] ponad 66% ludności na świecie ma dostęp do internetu. W Polsce natomiast, szacuje się że jest to ponad 90% gospodarstw domowych[11]. Aktualne możliwości samorozwoju są więc bardzo duże, szczególnie w krajach takich jak Polska, gdzie dostęp do internetu jest powszechny.

Niestety, nie wszystkie materiały dostępne za darmo są wysokiej jakości, często trafiają się w nich błędy, są nieprzyjazne dla użytkownika lub niekompletne.

Aplikacja stworzona w ramach tej pracy również ma posłużyć jako darmowy zasób edukacyjny. Projekt skupiał się będzie w szczególności na gitarze basowej, ale docelowo, będzie łatwy do rozbudowania o inny rodzaj gitary oraz kolejne instrumenty, takie jak np. pianino. Niniejsza praca porusza więc dwa istotne zagadnienia: teorię muzyki oraz projektowanie aplikacji webowych.

Teoria muzyki jest często pomijana przez muzyków amatorów, którzy edukują się sami - oprócz tego, że same materiały mogą być słabej jakości, trudno jest zacząć przekładać teorię na praktykę. Na przeciw tym temu problemowi starają się wyjść aplikacje takie jak Rocksmith czy musicca, które są inspiracją dla niniejszej pracy. Rocksmith to gra pozwalająca na granie piosenek, do których tabulatura jest wyświetlana na ekranie w czasie rzeczywistym. Jako kontroler wykorzystuje się gitarę elektryczną lub basową ze specjalnym złączem. Oprócz tego, Rocksmith posiada również wiele przydatnych narzędzi, m.in. stroik czy efekty modyfikujące brzmienie gitary. Istotnymi wadami są natomiast: cena, wymaganie specjalnego złącza oraz duże obciążenie komputera. Aplikacja musicca jest dużą bliższą inspiracją - posiada interaktywny gryf i możliwość wyszukiwania akordów czy interwałów. W tej aplikacji za minus można uznać interfejs użytkownika - przejście z wyszukiwania interwałów do akordów wymaga zmiany widoku, a w kolejnym widoku trzeba ponownie wybrać instrument.

Aplikacja stworzona w ramach tej pracy to próba stworzenia przyjaznego użytkownikowi środowiska do nauki teorii muzyki, która wolna będzie od wyżej wymienionych problemów.

### 1.2. Cel i zakres pracy

#### 1.2.1. Cel pracy

Celem pracy jest stworzenie aplikacji, która wspomaga muzyków w nauce teorii muzyki poprzez wizualizację oraz interaktywne ćwiczenia. Aplikacja powinna być łatwo rozszerzalna o kolejne aspekty teoretyczne oraz dodatkowe rodzaje ćwiczeń.

### **1.2.2. Zakres pracy**

Zakres pracy obejmuje:

- wybór technologii,
- zaprojektowanie aplikacji webowej,
- implementację aplikacji,
- projekt i implementację testów aplikacji,
- udokumentowanie procesu w pracy dyplomowej.

## **1.3. Układ pracy**

Opis zawartości kolejnych rozdziałów zostanie dodany kiedy rozdziały będą gotowe.

# Rozdział 2

## Użyte technologie

Na wybór technologii wpływ miały następujące czynniki:

- możliwość implementacji założonych funkcjonalności - technologia musi być dobrana odpowiednio do zadania,
- popularność technologii - wpływa na dostępność materiałów oraz pokazuje czy dana znajomość danej technologii ma szansę przydać się na rynku pracy,
- preferencja personalna - ostateczna decyzja zależała również od tego, na ile dobrze autor znał proponowane rozwiązania.

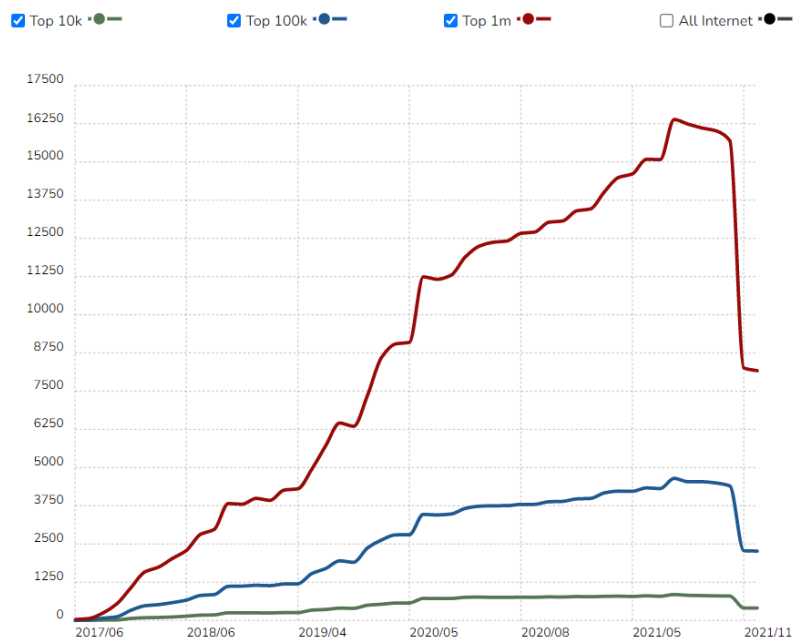
### 2.1. Technologie frontendowe

#### 2.1.1. Wybór technologii

Podczas wyboru technologii frontendowej rozważane były przede wszystkim frameworki React oraz Angular.

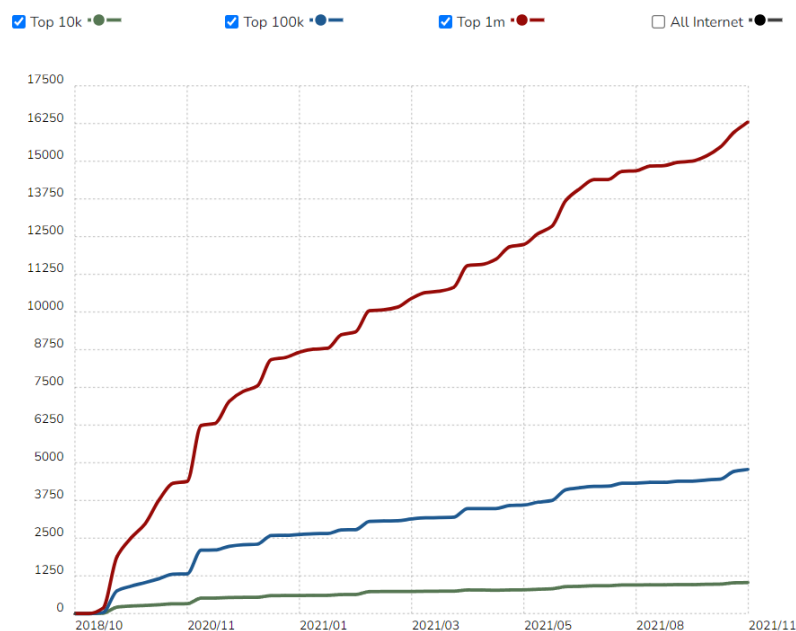
Wg trends.builtwith - strony analizującej trendy technologiczne w branży popularność obu frameworków jest zbliżona - na dzień 26.01.2022 295,780 stron internetowych zbudowanych jest z wykorzystaniem Angulara[2], a z wykorzystaniem Reacta 309,581[6]. Wykresy 2.1 oraz 2.2 przedstawiają popularność wspomnianych bibliotek w okresach 06.2017-10.2021 oraz 10.2018-10.2021 na podstawie liczby stron korzystających z danego rozwiązania spośród miliona, 100 tysięcy oraz 10 tysięcy stron generujących największy ruch.

## Angular Usage Statistics



Rys. 2.1: Statystyki wykorzystania frameworka Angular na stronach generujących największy ruch[2]

## React Redux Usage Statistics



Rys. 2.2: Statystyki wykorzystania frameworka React na stronach generujących największy ruch[6]

Na podstawie wykresów można łatwo zauważyć spadającą popularność angulara, należy jednak pamiętać, że decyzja odnośnie wyboru technologii, podejmowana była na początkowym etapie pracy, a więc tendencja spadkowa nie była wtedy jeszcze tak widoczna. Przed tak znaczącym spadkiem popularności Angulara obie technologie były wybierane z podobną częstotliwością, więc ostateczna decyzja sprowadziła się do preferencji autora - w ramach zajęć na uczelni oraz

prywatnych projektów miał on styczność z obydwoma bibliotekami, ale to z Angularem miał większe doświadczenie, w związku z czym wybrany został właśnie ten framework.

### 2.1.2. Opis wybranej technologii

Angular to kompleksowy framework do projektowania oraz tworzenia wydajnych aplikacji typu SPA (Single Page Application)[1]. Podstawowymi elementami składowymi Frameworka Angular są komponenty Angular, które są zorganizowane w NgModules. NgModules zbierają powiązany kod w zestawy funkcjonalne; aplikacja Angular jest definiowana przez zestaw NgModules. Aplikacja zawsze ma co najmniej moduł główny, który umożliwia ładowanie początkowe, i zazwyczaj ma o wiele więcej modułów funkcji.

Podczas implementacji korzystano głównie z komponentów i serwisów. Komponenty definiują widoki, które są zestawami elementów ekranu, które Angular może wybierać i modyfikować zgodnie z logiką programu i danymi. Serwis w Angularze jest zwykłą klasą TypeScript. Opatrzony jest dodatkowym dekoratorem, który może mieć różne właściwości konfiguracyjne. Serwis może działać jako singleton dla całej aplikacji lub może zostać powołany dla konkretnego komponentu.

## 2.2. technologie backendowe

### 2.2.1. Wybór technologii

Podczas wyboru technologii backendowej głównymi kandydatami były Python[5] z frameworkiem Flask[3] oraz Java[4] z frameworkiem Spring[9].

Tutaj głównym kryterium okazał się rozmiar aplikacji - w planowanej implementacji backend jest stosunkowo niewielki, większość implementacji leży po stronie frontendu, natomiast Flask jest lepiej przystosowany do tworzenia niewielkich aplikacji niż Spring.

### 2.2.2. Opis wybranej technologii

Flask określany jest mianem micro framework, co oznacza, że nie wymaga żadnych dodatkowych narzędzi ani bibliotek. Służy on do budowania aplikacji sieciowych i charakteryzuje się brakiem wbudowanych komponentów do obsługi bazy danych czy walidacji formularzy, ale zamiast tego jest on skonstruowany w taki sposób, aby był łatwo rozszerzalny o wszystkie potrzebne funkcjonalności.

Wśród zalet flaski wymieniane są przede wszystkim:

- pytoniczność kodu - kod pisany w tym frameworku pozwala na stosowanie dobrych praktyk programowania charakterystycznych dla języka Python,
- łatwość nauki - z uwagi na to, że kod bardzo przypomina ten pisany w czystym Pythonie a sam framework posiada niewiele komponentów, jest on uznawany za łatwy do przyswojenia.

## 2.3. Wersjonowanie oraz pozostałe narzędzia

### 2.3.1. Wersjonowanie

Do wersjonowania aplikacji wykorzystano system kontroli wersji GIT. Zdalne repozytorium zostało założone na platformie github. Podczas pracy z GITem korzystano przede wszystkim z konsoli git bash oraz interfejsów graficznych udostępnianych przez używane środowiska programistyczne.

### 2.3.2. Środowiska programistyczne

Do pracy z kodem pisanym w języku Python wykorzystano środowisko PyCharm - jest ono bardzo intuicyjne, wspiera formatowanie kodu według standardu PEP8, a oprócz tego posiada ono wbudowane wsparcie dla projektów opartych o framework Flask.

Do pracy z frameworkiem Angular wykorzystano edytor kodu Visual Studio Code. Edytor nie posiada wbudowanych narzędzi do pracy w tej technologii, ale jest otwarty na rozszerzenia, a z uwagi na swoją popularność, jest ich dużo i są dobrej jakości. W ramach projektu przydały się przede wszystkim rozszerzenia: SonarLint i Auto Rename Tag.

# Rozdział 3

## Analiza wymagań

### 3.1. Wymagania funkcjonalne

Dla implementowanej aplikacji zdefiniowano następujące wymagania funkcjonalne:

- Użytkownik może sprawdzić jakie dźwięki należą do wybranych skal,
- Użytkownik może sprawdzić jakie dźwięki tworzą dany interwał,
- Użytkownik może sprawdzić jakie dźwięki tworzą dany akord,
- Użytkownik może wchodzić w interakcję z wirtualnym gryfem gitary, aby odtworzyć dźwięki,
- Użytkownik może sprawdzić swoją wiedzę teoretyczną w interaktywnych ćwiczeniach,
- Użytkownik może trenować ucho muzyczne za pomocą specjalnych ćwiczeń.

### 3.2. Wymagania нефunkcjonalne

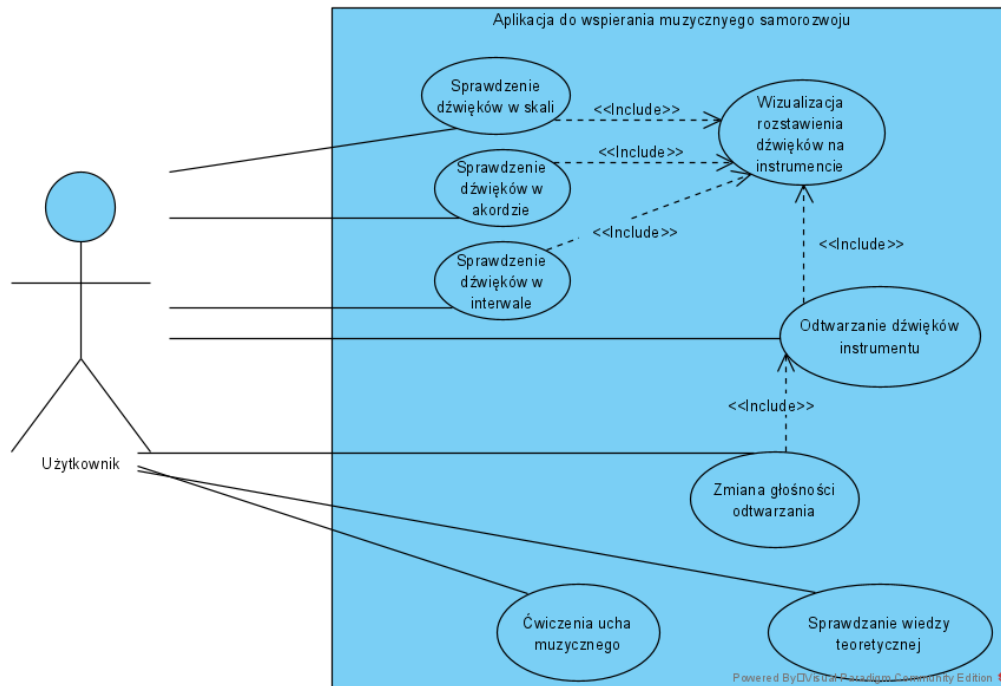
Dla implementowanej aplikacji zdefiniowano następujące wymagania нефunkcjonalne:

- Aplikacja powinna działać na najpopularniejszych przeglądarkach internetowych,
- Aplikacja powinna być responsywna,
- Aplikacja nie wymaga od użytkownika zakładania konta,
- Pierwsze załadowanie aplikacji nie powinno trwać dłużej 2 sekundy,
- Aplikacja powinna być wykonana przy użyciu bibliotek Angular oraz Flask,
- Aplikacja powinna być zbudowana w taki sposób, aby jej dalszy rozwój był jak najprostszy,
- Aplikacja powinna posiadać intuicyjny interfejs użytkownika



### 3.3. Omówienie przypadków użycia

#### 3.3.1. Diagram przypadków użycia



Rys. 3.1: Diagram przypadków użycia aplikacji

#### 3.3.2. Scenariusze wybranych przypadków użycia

Poniżej opisano Scenariusze dla następujących przypadków użycia: ćwiczenie ucha muzycznego, sprawdzanie dźwięków w skali, odtwarzanie dźwięków instrumentu, zmiana głośności odtwarzania.

##### Ćwiczenie ucha muzycznego

1. Za pomocą paska nawigacji użytkownik wchodzi na podstronę z ćwiczeniem ucha muzycznego.
2. Użytkownik widzi swój aktualny wynik oraz guziki służące do obsługi ćwiczenia.
3. Po wciśnięciu przycisku, użytkownik słyszy wylosowany dźwięk. Guzik może być wciśnięty wielokrotnie w celu ponownego odsłuchania dźwięku.
4. Użytkownik wybiera odpowiedź z listy lub klika guzik reset.
  - 4.1. Po wybraniu poprawnej odpowiedzi losowany jest nowy dźwięk, a wynik zwiększa się o 1pkt.
  - 4.2. Po wybraniu złej odpowiedzi lub wciśnięciu guziku reset, losowany jest nowy dźwięk, a wynik ustawiany jest na 0pkt.

##### Sprawdzanie dźwięków w skali

1. Za pomocą paska nawigacji użytkownik wchodzi na podstronę z wybranym instrumentem.
2. Użytkownik widzi wirtualny instrument oraz selektor zapytań.
3. Użytkownik wybiera interesujące go zapytanie i zatwierdza to guzikiem.
4. Na wirtualnym instrumencie zaznaczają się odpowiednie dźwięki.

### **Odtwarzanie dźwięków instrumentu**

1. Za pomocą paska nawigacji użytkownik wchodzi na podstronę z wybranym instrumentem.
2. Użytkownik widzi wirtualny instrument oraz selektor zapytań.
3. Użytkownik naciska na guzik odpowiadający wybranemu dźwiękowi na instrumencie.
4. Wybrany przez użytkownika dźwięk jest odtwarzany.

### **Zmiana głośności odtwarzania**

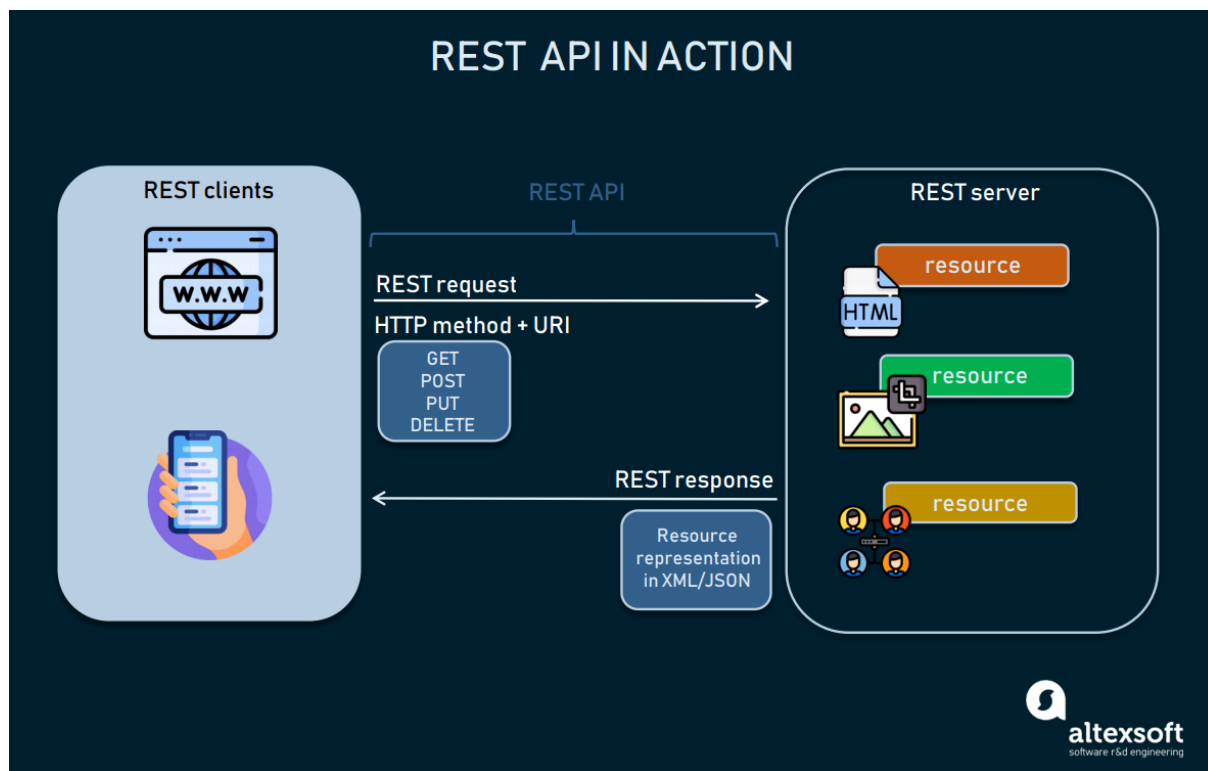
1. Za pomocą paska nawigacji użytkownik wchodzi na podstronę z wybranym instrumentem.
2. Użytkownik widzi wirtualny instrument oraz selektor zapytań.
3. Użytkownik odtwarza dowolny dźwięk poprzez kliknięcie na wirtualny instrument.
4. Użytkownik zmienia głośność instrumentu korzystając z suwaka regulacji głośności.
5. Użytkownik ponownie odtwarza dowolny dźwięk poprzez kliknięcie na wirtualny instrument - głośność jest dostosowana do jego oczekiwań.

# Rozdział 4

## Projekt aplikacji

### 4.1. Architektura systemu

Aplikacja bazuje na REST API - komunikacja pomiędzy aplikacją frontendową i backendową odbywa się w sposób przedstawiony na rysunku 4.1. Aplikacja kliencka wysyła zapytania HTTP na odpowiednie URI, a w odpowiedzi otrzymuje dane w formacie JSON. Typowy sposób tworze-



Rys. 4.1: Architektura komunikacji w systemie opartym na REST API[7]

nia endpointów w REST API to nazywanie endpointów nazwami kolekcji, a następnie uszczegóławianie zapytania w kolejnych częściach adresu[8]. Przykładowe endpointy w REST API powinny wyglądać następująco:

**API/people** - endpoint zwracający zawartość kolekcji “people”

**API/people/:id** - endpoint zwracający element kolekcji “people” o zadany id

**API/people/:id/name** - endpoint zwracający wartość pola “name” elementu kolekcji “people” o zadany id

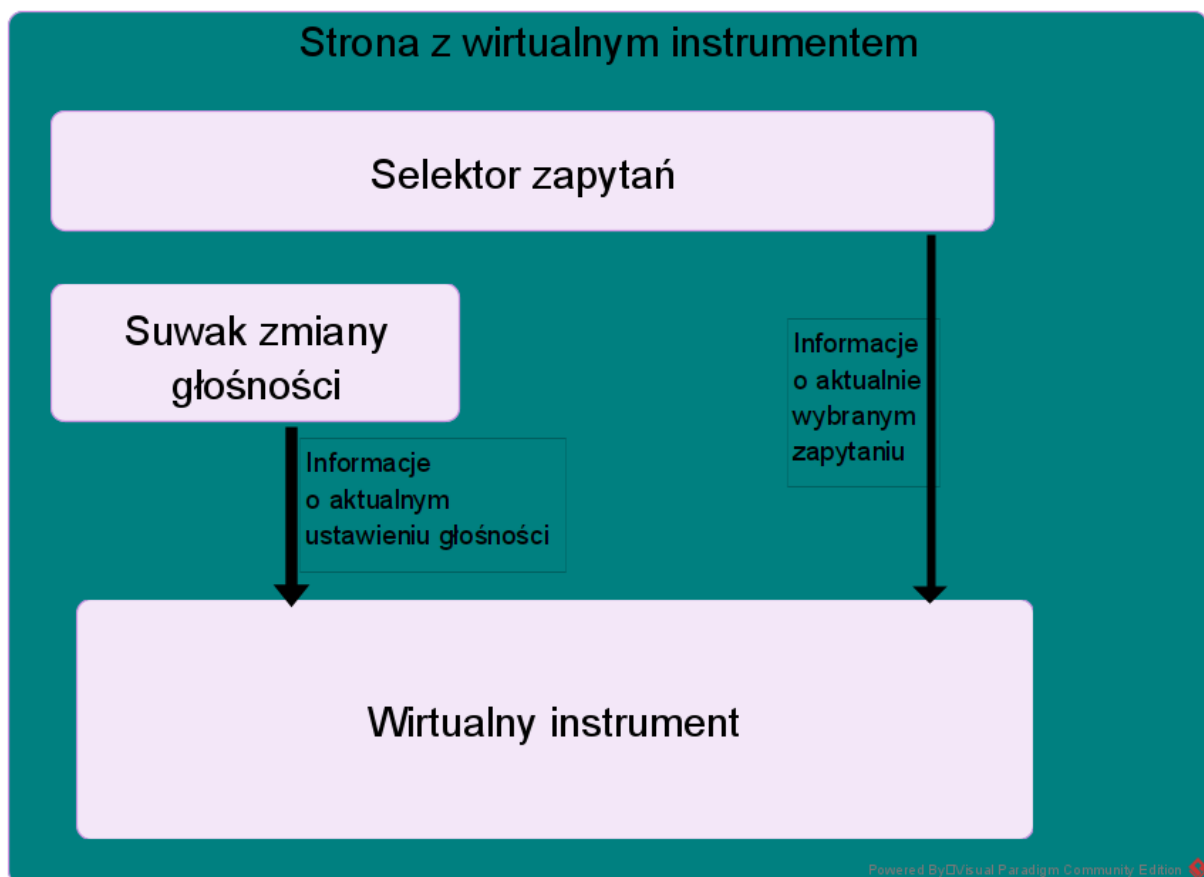
Rozwiązanie REST API pozwala na łatwe przesyłanie informacji o potrzebnych obiektach, takich jak skale czy akordy - JSON nie ogranicza wielkości wiadomości czy liczby elementów, więc takie obiekty świetnie nadają się do przekazywania tablic o nieznanych z góry rozmiarach. REST API pozwala również w prosty sposób zaimplementować mechanizmy obsługi błędów poprzez dołączanie do przekazywanego obiektu statusów HTTP, które opisują efekt zapytania czy nawet dodatkowej wiadomości opisującej błąd w dokładniejszy sposób.

Kolejną zaletą stosowania tego podejścia jest jego skalowalność. Każda funkcjonalność jest przypisana pod osobny adres, więc łatwo dodawać nowe poprzez tworzenie kolejnych endpointów.

## 4.2. Architektura aplikacji klienta

Korzystając z możliwości oferowanych przez framework Angular zdecydowano się rozbić aplikację na mniejsze elementy - charakterystyczne dla tej biblioteki komponenty oraz serwisy. Każda podstrona składa się z odpowiednich, połączonych ze sobą komponentów. Takie podejście pozwala na wielokrotne używanie tego samego kodu - ten sam komponent można wykorzystać w kilku miejscach na stronie lub na wielu różnych podstronach. Pozwala ono również na generowanie wielu podobnych podstron poprzez zamianę pojedynczych komponentów.

Diagram 4.2 przedstawia schemat jednej z podstron w aplikacji - podstrony zawierającej wirtu-



Rys. 4.2: Diagram podstrony z wirtualnym instrumentem z wyróżnieniem komponentów i zależności między nimi

alny instrument. Jak widać sam wirtualny instrument jest osobnym komponentem, co pozwala

na stworzenie części aplikacji dedykowanej dla gitary akustycznej oraz części aplikacji dedykowanej dla gitary basowej, a potencjalnie również dla dowolnych innych instrumentów. W tym celu należy jedynie zmienić komponent implementujący instrument.

Warto również zwrócić uwagę, na to, że oprócz widocznych na diagramie mniejszych komponentów, pojedynczy komponent może zawierać w sobie serwisy. Pozwalają one m.in. na pobieranie danych z API czy dostęp do zasobów lokalnych serwera.

## Rozdział 5

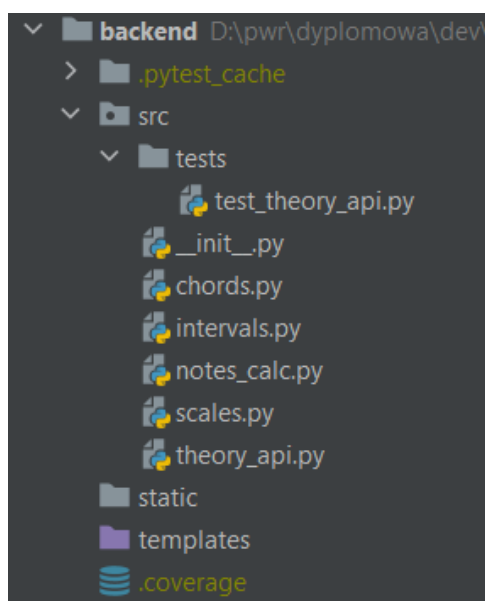
# Implementacja aplikacji

### 5.1. Implementacja Backendu

Schemat projektu aplikacji backendowej przedstawiono na rysunku 5.1. Najważniejszymi modułami są pliki `notes_calc.py` i `theory_api.py` - odpowiadają one kolejno za obliczanie dźwięków w danych akordach, skalach czy interwałach oraz za tworzenie endpointów aplikacji.

Pliki `chords.py`, `scales.py`, `intervals.py` to pliki pomocnicze zawierające definicje wzorców wykorzystywanych przez `notes_calc` oraz listy wszystkich dostępnych obiektów.

Pliki testów jednostkowych znajdują się w katalogu `tests`.



Rys. 5.1: Schemat projektu aplikacji Frontendowej

#### 5.1.1. Endpointy

Endpointy deklarowane są w sposób typowy dla frameworka Flask, czyli poprzez dekoratory funkcji opisujące ścieżkę oraz dostępne metody. Wszystkie endpointy zawarte w API zwracają obiekty JSON. Elementy ścieżki zapisane jako “<name>” to parametry ścieżki - zmienne, które są później wykorzystywane w celu uszczegóławiania zapytania. W głównym endpointzie API, przedstawionym na listnigu 5.1, ścieżka opisana jest trzema parametrami, z których każdy coraz bardziej zawęża zapytanie. Początkowo obszar poszukiwania odpowiedzi jest określany przez

obj\_type - wybierana jest jedna z 3 kategorii: skala, interwał lub akord. Następnie podawana jest nuta główna, a na końcu nazwa obiektu.

Listing 5.1: Główny endpoint stworzonego API

```
@theory_api.route('/<obj_type>/<root>/<name>', methods=['GET'])
def get_obj(root: str, name: str, obj_type: str) -> flask.Response:
    # get root from link, check if it's a legal note and cast to
    ↪ proper format
    print(f"root:{root};_name:{name};_obj_type:{obj_type}")
    root = cast_root(root)
    if root is None:
        return wrong_request("Incorrect_root_note")

    # try to find proper object, if there's no matching obj type -
    ↪ wrong request
    obj = None
    if obj_type == 'chord':
        obj = find_chord(root, name)
    elif obj_type == 'scale':
        obj = find_scale(root, name)
    elif obj_type == 'interval':
        obj = find_interval(root, name)
    else:
        return wrong_request("Incorrect_obj_type_in_request")

    # obj type was correct, but interval wasn't found - wrong
    ↪ interval in request
    if obj is None:
        return wrong_request(f"Incorrect_{obj_type}_name")

    # all went smooth - return requested sound
    return jsonify(obj)
```

### 5.1.2. Obliczanie dźwięków

W celu obliczania dźwięków wykorzystano następujące założenia:

- każdy dźwięk ma wartość liczbową od 0 do 11, zaczynając od dźwięku 'E',
- przez dźwięk rozumie się również półtony,
- oktawy to wielkości okresowe (po ostatnim dźwięku w oktawie następuje powrót do pierwszego),
- odległość między półtonami wynosi 1 jednostkę.

Korzystając z takich założeń wszystkie akordy, skale i interwały opisano za pomocą odległości od poprzedniego dźwięku. Pierwszy dźwięk to zawsze nuta główna, drugi dźwięk opisany jest odległością od nuty głównej, trzeci dźwięk odległością od drugiego dźwięku itd.

Listing 5.2: Wzorce opisujące przykładowe akordy

```
seventh_pattern = (4, 3, 3)
minor_seventh_pattern = (3, 4, 3)
major_seventh_pattern = (4, 3, 4)
diminished_seventh_pattern = (3, 3, 3)
```

Na podstawie opisanych założeń oraz wzorców stworzono funkcje obliczające dźwięki zawarte w skalach, akordach i interwałach na podstawie ich nazwy oraz nuty głównej. Na listingach 5.3, 5.4 przedstawiono funkcje dla akordów oraz skal.

Listing 5.3: Funkcja obliczająca dźwięki w skali

```
def find_scale(root: str, scale_name: str) -> list:
    curr_sound = notes_mapping.get(root)
    pattern = scales_patterns.get(scale_name)
    if pattern is None:
        return None
    scale = [root]
    for step in pattern:
        curr_sound += step
        sound = sound_from_val(curr_sound % 12)
        scale.append(sound)
    return scale
```

Listing 5.4: Funkcja obliczająca dźwięki w akordzie

```
def find_chord(root: str, chord_name: str) -> list:
    curr_sound = notes_mapping.get(root)
    pattern = chords_patterns.get(chord_name)
    if pattern is None:
        return None
    chord = [root]
    for step in pattern:
        curr_sound += step
        sound = sound_from_val(curr_sound % 12)
        chord.append(sound)
    return chord
```

## 5.2. Obserwacje i uwagi

Po zaimplementowaniu całości aplikacji, zauważono, że obliczenia są na tyle niewymagające, że mogłyby być wykonywane po stronie frontendu zamiast dodatkowego API. Warto jednak zauważyć, że API można łatwo rozwinąć o dodatkowe funkcjonalności, takie jak np. połączenie z bazą danych, co mogłoby okazać się przydatne w wypadku rozwoju aplikacji o konta użytkowników.

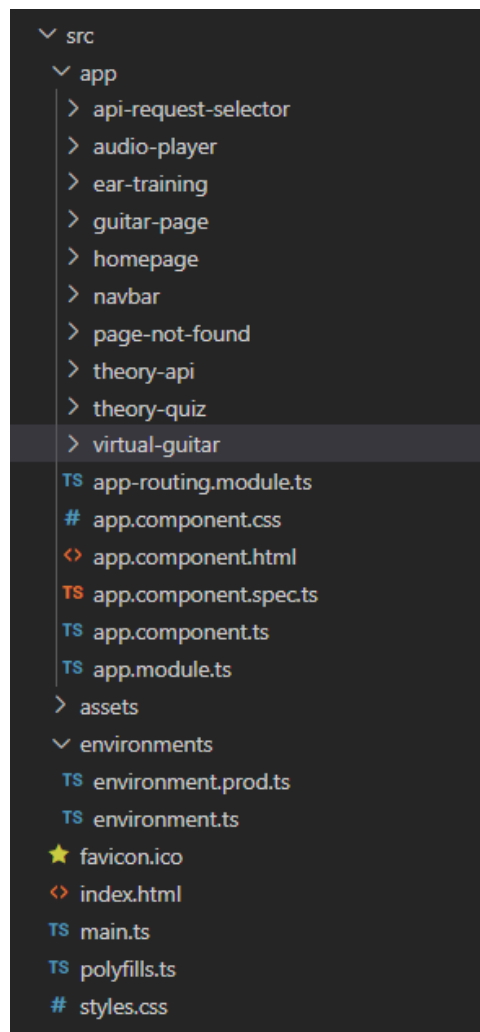
## 5.3. Implementacja Frontendu

Schemat projektu aplikacji frontendowej jest typowy dla aplikacji implementowanych w Angularze. Program podzielony jest na fragmenty zwane komponentami oraz serwisami. Każdy komponent oraz każdy serwis jest przechowywany w osobnym folderze. Katalog `assets` zawiera zasoby wykorzystywane w aplikacji, takie jak dźwięki czy obrazki. Oprócz komponentów stworzonych przez użytkownika wykorzystywane są również pliki wygenerowane za pomocą Angular CLI znajdujące się w katalogu głównym:

- app-routing.module.ts** - moduł pozwalający na zarządzanie routinguem wewnątrz projektu
- app.module.ts** - główny moduł aplikacji opisujący elementy importowane przez aplikację oraz deklarowane w niej komponenty i serwisy
- app.\*** - pozostałe pliki komponentu głównego
- environment.prod.ts** - plik zawierające zmienne środowiskowe dla środowiska produkcyjnego



**environment.ts** - zmienne środowiskowe do wykorzystania podczas tworzenia i testowania aplikacji

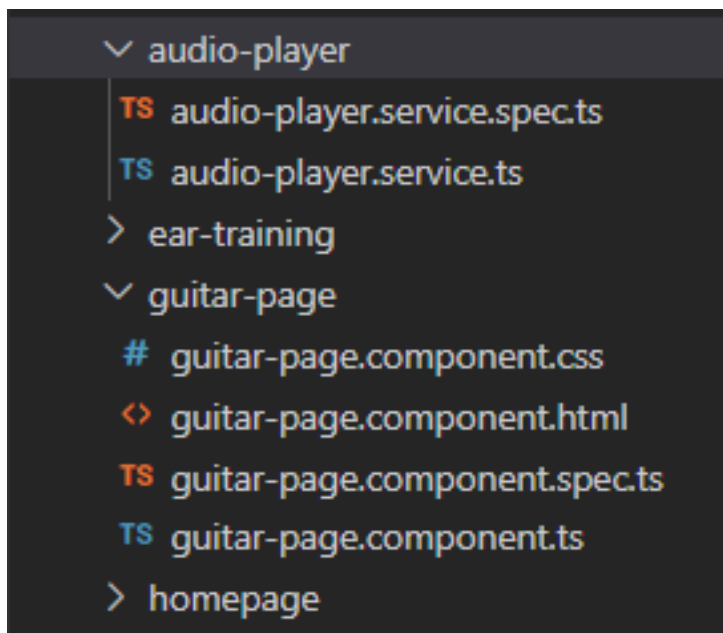


Rys. 5.2: Schemat projektu aplikacji Frontendowej

Każdy komponent składa się z 4 plików:

**component-name.css** - plik opisujący style wykorzystane w obrębie tego komponentu,  
**component-name.html** - plik opisujący rozkład elementów w danym komponencie. Angular pozwala na wykorzystywanie tam selektorów innych komponentów oraz dodatkowych dyrektyw, takich jak np. `ngIf` czy `ngFor`,  
**component-name.ts** - plik zawierający konstruktor komponentu oraz skrypty napisane przez użytkownika dla danego komponentu,  
**component-name.spec.ts** - plik zawierający testy jednostkowe komponentu.

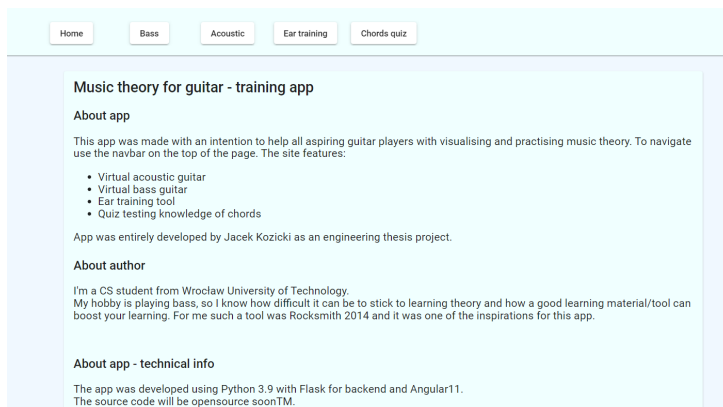
Serwisy natomiast składają się domyślnie z 2 plików: `service-name.ts` oraz `service-name.spec.ts`. Pełnią one takie same role jak w wypadku komponentów - pierwszy z nich zawiera klasę serwisu, natomiast drugi jej testy jednostkowe.



Rys. 5.3: Katalogi audio-player oraz guitar-page pokazują schemat plików odpowiednio serwisu i komponentu

### 5.3.1. Strona główna

Na stronie głównej wyświetlony jest panel z krótkim tekstem o aplikacji oraz jej autorze. Na górze strony widoczny jest pasek nawigacji, który pozwala na przejście do wszystkich funkcjonalności aplikacji. To na tę stronę przekierowywany jest użytkownik jeśli próbuje dostać się na nieistniejącą podstronę.



Rys. 5.4: Katalogi audio-player oraz guitar-page pokazują schemat plików odpowiednio serwisu i komponentu

### 5.3.2. Nawigacja

Do nawigacji podczas korzystania z aplikacji służy pasek nawigacji umieszczony na górze strony. Każdy z guzików jest odnośnikiem do odpowiednich podstron. Próba przejścia na podstrony, które nie są wymienione na pasku nawigacji skutkuje przekierowaniem stronę główną.

Implementacja nawigacji opiera się na wykorzystaniu modułu routing zawartego w Angularze. W pliku `app-routing.module.ts` zdefiniowano wszystkie ścieżki obsługiwane przez aplikację. Można je zobaczyć na listingu 5.5. szczególnie warto zwrócić uwagę na ostatni wpis w tablicy. Wpis `path: '**'` to tzw. dzika karta (ang. wildcard route) - ścieżka, która jest wykorzystywana, kiedy użytkownik próbuje dostać się na dowolną podstronę, która nie została opisana w tablicy przed wystąpieniem tego wpisu. Ze względu na sposób działania routing, ważne, aby dzika karta była na końcu tablicy: podczas szukania ścieżki porównywana jest podana ścieżka i kolejne wartości pola `“path”` w tablicy `Routes`. Porównanie dowolnej ścieżki z symbolem `‘**’` zawsze zwraca wartość `prawda`, więc umieszczenie tego symbolu jako wcześniejszego wpisu, zablokowałoby dostęp do ścieżek zadeklarowanych później.

Listing 5.5: Ścieżki zdefiniowane w aplikacji

```
const routes: Routes = [
  {path: 'test', component: VirtualGuitarComponent, pathMatch: 'full'
    ↪ },
  {path: 'api', component: ApiRequestSelectorComponent, pathMatch: '
    ↪ full'},
  {path: 'bass', component: GuitarPageComponent, pathMatch: 'full'},
  {path: 'acoustic', component: GuitarPageComponent, pathMatch: 'full
    ↪ '},
  {path: 'earTraining', component: EarTrainingComponent, pathMatch: '
    ↪ full'},
  {path: 'practice', component: TheoryQuizComponent, pathMatch: 'full
    ↪ '},
  {path: '**', component: HomepageComponent}
];
```

### 5.3.3. Komunikacja z API

W celu komunikacji z API zaimplementowano serwis `TheoryApiService` oraz modele danych odpowiadające tym z API, czyli klasy: `Chord`, `Interval` oraz `Scale`. Klasę `Scale` przedstawiono na listingu 5.6. Serwis służy do wysyłania zapytań HTTP na zadany adres i rzutuje otrzymane dane na żądany typ.

Listing 5.6: Klasa `Scale` wykorzystywana do zapytań i przechowywania danych o skalach

```
export class Scale {
  constructor(
    public name: string,
    public notes: string[],
  ) { }
}
```

`TheoryApiService` wykorzystuje zmienną środowiskową `API_URL` pod którą przechowywany jest adres API, dzięki czemu można modyfikować adres API bez ingerencji w kod. Zastosowanie zmiennych środowiskowych jest szczególnie istotne kiedy dochodzi do dystrybucji aplikacji - adresy API mogą się zmieniać i nie powinno to powodować potrzeby aktualizacji aplikacji. Przykładowe zapytanie do API z wykorzystaniem zmiennej środowiskowej można zobaczyć na listingu 5.7.

Listing 5.7: Metoda klasy `TheoryApiService` wysyłająca zapytanie o dźwięki akordu do API

```
getChord(rootNote: string, name: string): Observable<Chord[]> {
```

```

return this.http
  .get<Chord[]>(`${API_URL}/chord/${rootNote}/${name}`).pipe(
    tap(_ => console.log('fetched')),
    catchError(TheoryApiService._handleError)
  );
}

```

Takie rozwiązanie pozwala na wykorzystywanie tego samego serwisu w wielu komponentach poprzez wstrzykiwanie zależności. W Angularze proces ten odbywa się poprzez oznaczenie klasy serwisu dekoratorem `Injectable` oraz zadeklarowanie odpowiedniej zależności w konstruktorze komponentu (serwis przekazuje się jako argument konstruktora i przypisuje do odpowiedniego pola w klasie komponentu). Przykład wstrzykiwania zależności można zobaczyć na listingu 5.8, do komponentu są tam wstrzykiwane dwie zależności: `TheoryApiService` oraz `ActivatedRoute`.

Listing 5.8: Wstrzykiwanie zależności do komponentu `GuitarPageComponent`

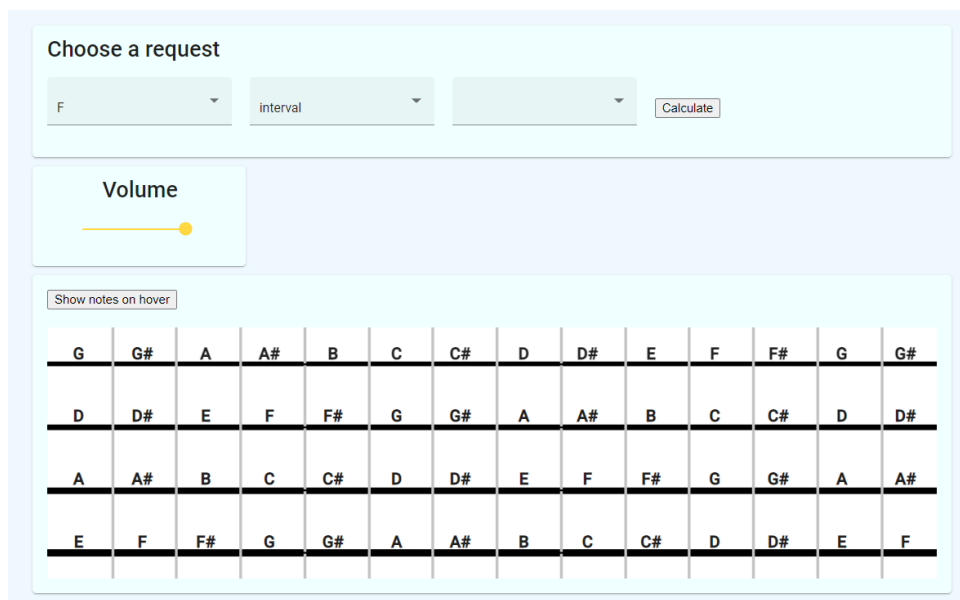
```

constructor(api: TheoryApiService, route: ActivatedRoute) {
  this.theoryApi = api;
  this.route = route;
}

```

### 5.3.4. Podstrony z wirtualnymi instrumentami

Podstrony z wirtualnymi instrumentami zostały stworzone poprzez połączenie ze sobą mniejszych komponentów: selektora zapytań, suwaka regulującego głośność oraz wirtualnego instrumentu.



Rys. 5.5: Widok strony z gitarą basową przed wykonaniem zapytania

W aplikacji zostały zaimplementowane dwa instrumenty: gitarę akustyczną oraz gitarę basową. Bazują one na tym samym komponencie, ponieważ na poziomie abstrakcji, na którym operowano podczas implementacji różnica między nimi to tylko liczba strun.

Na każdym z instrumentów po wybraniu zapytania podświetlają się odpowiednie dźwięki. Wynik przykładowego zapytania można zobaczyć na rysunkach 5.6, 5.7 i 5.8. Wybrano zapytanie o skalę F Natural Major (F-dur). W skład tej skali wchodzi dźwięki: F,G,A,A#,C,D,E i te dźwięki są zaznaczone kolorem czerwonym.

Jeśli użytkownika interesują tylko dźwięki należące do wybranego zapytania, może on wyłączyć wyświetlanie pozostałych dźwięków przyciskając guzik “show notes on hover” - powoduje on ukrycie wszystkich dźwięków, które nie należą do aktualnego zapytania i wyświetlanie ich dopiero po najechaniu kursorem.

Kliknięcie na dowolny dźwięk powoduje odtworzenie jego próbki dźwiękowej. Za odtwarzanie dźwięków odpowiada serwis AudioPlayerService. Klasa ta definiuje ścieżki do próbek dźwiękowych danego instrumentu oraz posiada metodę pozwalającą na odtworzenie dźwięku po stronie klienta.

Listing 5.9: Metoda odtwarzająca zadany dźwięk

```
playNote(guitar_string:string, note:string, volume:number)
{
  let audio = new Audio();
  //change format, file path can't contain '#' symbol
  if(note.length > 1 && note[1] == '#')
    note = note[0] + 's' + note.substring(2);
  audio.src = this.samplesDirectory + guitar_string + "/" + note +
    ↪ ".wav";
  audio.volume = volume
  audio.load();
  audio.play();
}
```

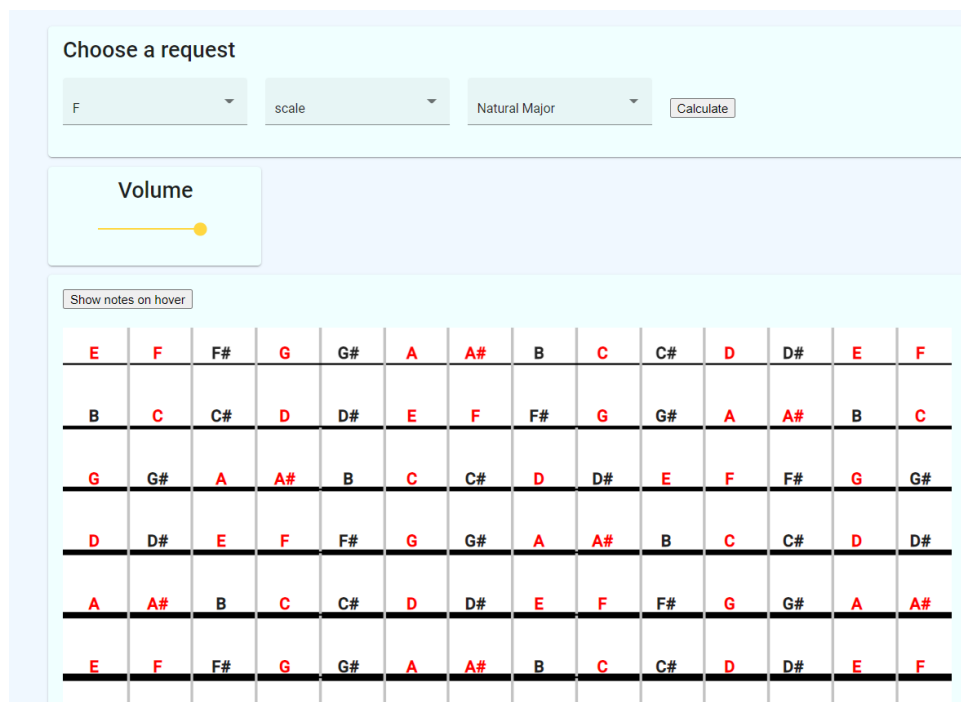
Nagrania próbowano pozyskać z serwisów oferujących darmowe próbki oraz gotowych paczek, jednak nie udało się znaleźć pełnego, darmowego zestawu, który można byłoby wykorzystać w ramach aplikacji, więc zdecydowano się na własnoręczne nagranie gitar w domowych warunkach.



Rys. 5.6: Widok strony z gitarą basową po wykonaniu zapytania



Rys. 5.7: Widok strony z gitarą basową po wykonaniu zapytania i przełączeniu opcji hover



Rys. 5.8: Widok strony z gitarą akustyczną po wykonaniu zapytania

### 5.3.5. Trening słuchu

Podstrona służąca do treningu ucha muzycznego to kolejny komponent wykorzystujący Audio-Service poprzez wstrzykiwanie zależności.

Ćwiczenie polega na rozpoznawaniu odtwarzanego dźwięku ze słuchu. Użytkownik może użyć przycisku “Play sound” aby odtworzyć próbkę. Guzik jest wielokrotnie użytku. Po odsłuchaniu próbki, użytkownik wybiera jeden z dźwięków z listy rozwijanej i zatwierdza wybór guzikiem “Check answer”. W wypadku udzielenia poprawnej odpowiedzi zwiększa się liczba punktów, a w wypadku złej, liczba punktów jest ustawiana na 0. W obu wypadkach losowany jest nowy dźwięk, aby użytkownik mógł kontynuować ćwiczenie.

Na stronie jest również guzik reset, który zeruje wynik użytkownika oraz losuje nową próbkę dźwiękową.

Rys. 5.9: Początkowy stan komponentu treningu słuchu

Rys. 5.10: Stan komponentu treningu słuchu po udzieleniu poprawnej odpowiedzi

### 5.3.6. Quiz

Ten komponent jest zależny od serwisu TheoryApiService. Podstrona z quizem z wiedzy dotyczącej akordów działa podobnie do podstrony z treningiem słuchu - najpierw użytkownikowi zadawane jest pytanie, później wybiera on odpowiedź za pomocą list rozwijanych i zatwierdza wybór guzikiem. Po udzieleniu dobrej odpowiedzi jego wynik jest inkrementowany, a po niepoprawnej wynik jest zerowany. W obu wypadkach po udzieleniu odpowiedzi losowane jest nowe pytanie. Na stronie jest również guzik reset losujący nowe pytanie i zerujący wynik. Zaimplementowane pytania polegają na rozpoznawaniu losowo wybieranych akordów po budujących je dźwiękach, łatwo jednak rozwinąć go dodatkowe pytania dodając do list np. interwały.

Listing 5.10: Metoda generująca losowy akord

```
getChord()
{
    let chordName = this.chordsNames[Math.floor(Math.random() * this.
        ↪ chordsNames.length)];
    let noteName = this.notes[Math.floor(Math.random() * this.notes.
        ↪ length)];
    this.currentChord = chordName;
    this.currentNote = noteName;
    this.notesInChord = null;

    if (noteName.includes('#')) {
        noteName = noteName[0] + 'S';
    }
    let split: number = chordName.indexOf('_');
    chordName = chordName.toLowerCase();
}
```

```

chordName = chordName.substr(0, split) + '_' + chordName.substr(
  ↪ split+1);
console.log(noteName, chordName)
this.theoryApi.getChord(noteName, chordName).subscribe(data => {
  this.notesInChord = data;
});
}

```

**What chord is this?**

Current score: 0

Notes in chord: D#,G,A#

Restart

Two empty dropdown menus for selecting the root note and the chord type.

Submit answer

Rys. 5.11: Początkowy stan komponentu treningu słuchu

**What chord is this?**

Current score: 1

Notes in chord: E,G,A#

Restart

D# Major Triad

Submit answer

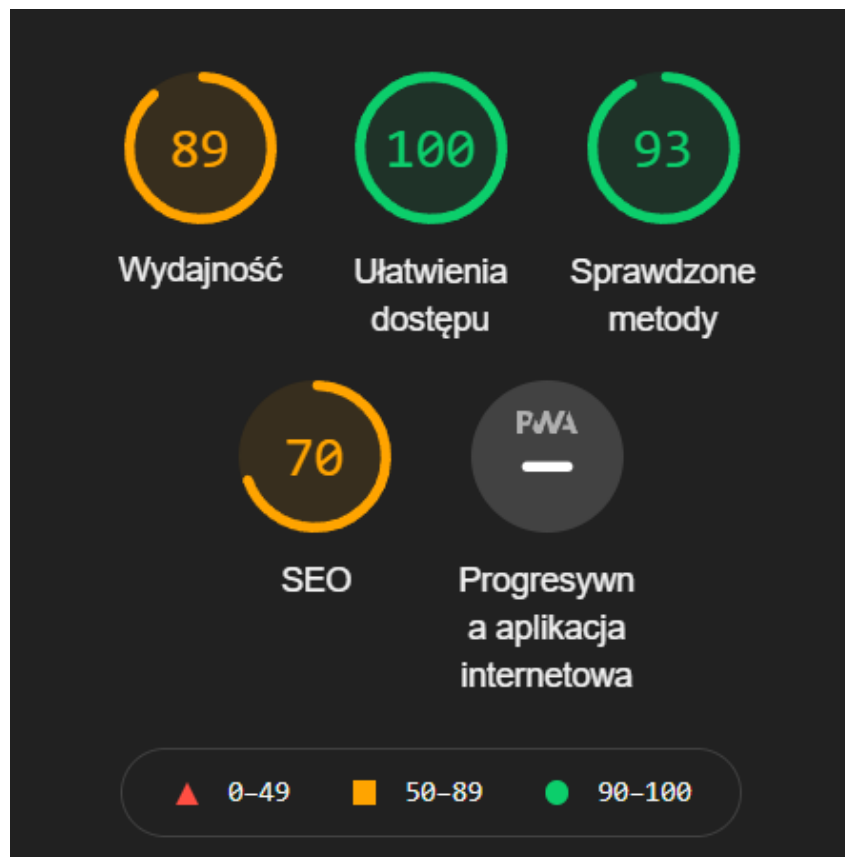
Rys. 5.12: Stan komponentu treningu słuchu po udzieleniu poprawnej odpowiedzi

## 5.4. Testowanie aplikacji

### 5.4.1. Lighthouse

Wtyczka lighthouse pozwala na przetestowanie aplikacji webowych biorąc pod uwagę charakterystyczne dla nich cechy, takie jak czas do załadowania czy optymalizacja pod kątem wyszukiwania strony przez silniki wyszukiwania.





Rys. 5.13: Wyniki testu Lighthouse

Aplikacja przeszła testy z dobrymi wynikami. Jednym ze znalezionych przez wtyczkę problemów okazała się optymalizacja pod kątem silników wyszukiwania - w celu poprawy należałoby przede wszystkim zwiększyć ilość metadanych opisujących stronę.

Kolejnym problemem jest wydajność aplikacji - tutaj informacja o wyniku <90 jest dużo bardziej niepokojąca, ponieważ wydajność bezpośrednio wpływa na odczucia użytkownika. W celu poprawienia wydajności należałoby przede wszystkim przeanalizować kod pod kątem funkcji, które mogą opóźniać ładowanie elementów strony. Należy jednak pamiętać, że podczas testów zarówno frontend, backend jak i aplikacja testowa były uruchomione na tej samej maszynie, co może znacząco wpływać na wyniki testów wydajnościowych.

# Rozdział 6

## Podsumowanie

### 6.1. Zrealizowane cele i założenia

W ramach pracy postawiono następujące cele:

- wybór technologii,
- zaprojektowanie aplikacji webowej,
- implementację aplikacji,
- projekt i implementację testów aplikacji,
- udokumentowanie procesu w pracy dyplomowej.

Wszystkie powyżej wymienione cele udało się spełnić.

W celu wyboru technologii zastosowano kryteria takie jak popularność danej technologii oraz jej dostosowanie do zadania. Przed zaprojektowaniem aplikacji dokonano analizy wymagań funkcjonalnych, нефункциональных oraz przypadków użycia.

implementacja aplikacji skupiała się przede wszystkim na spełnieniu wyznaczonych przypadków użycia przedstawionych na rysunku 3.1. Udało się zaimplementować wszystkie zaprezentowane tam przypadki użycia, jednak ćwiczenia interaktywne stoją na stosunkowo niskim poziomie - zaimplementowano tylko dwa rodzaje ćwiczeń. Żadne z ćwiczeń nie korzysta z mikrofonu, co prawda nie było to wymogiem, ale na pewno byłoby to dużo bardziej angażujące dla użytkownika niż wybór odpowiedzi z listy rozsuwanej.

### 6.2. Dalszy rozwój aplikacji

Aplikacja ma duże możliwości na dalszy rozwój. Szczególnie warte uwagi pomysły to: konta użytkowników, dodatkowe instrumenty, dodatkowe ćwiczenia, używanie mikrofonu, lekcje.

#### 6.2.1. Konta użytkowników

Do aplikacji można dodać konta użytkowników, które pozwalałyby na zachowywanie wyników z ćwiczeń pomiędzy sesjami. Mając zapisane wyniki z ćwiczeń można by nawet stworzyć tablice wyników. Wraz z dodawaniem kolejnych ćwiczeń konta byłyby coraz bardziej użyteczne. Kolejne funkcjonalności również mogłyby korzystać z tej funkcjonalności, np. po dodaniu lekcji, konta pozwalałyby zapamiętać lekcje, które użytkownik już przejrzał.

### **6.2.2. Dodatkowe instrumenty**

Ze względu na to jak stworzono podstronę z wirtualnym instrumentem i serwis do odtwarzania dźwięków stronę łatwo wzbogacić o dodatkowe instrumenty, takie jak np. pianino. Oczywiście nie na każdym instrumencie łatwo zaprezentować graficznie dźwięki, więc trzeba by rozważyć odpowiedni dobór instrumentów.

### **6.2.3. Dodatkowe ćwiczenia**

Dodatkowe ćwiczenia można implementować jako kolejne podstrony niezależnie od reszty treści strony, więc aplikacja jest pod tym względem aplikacja jest rozszerzalna. Można by stworzyć podobny quiz do tego z akordami, ale zawierający tylko skale lub zupełnie inne rodzaje ćwiczeń jak np. wybranie kolejnych dźwięków w zadanej skali.

### **6.2.4. Wykorzystanie mikrofonu**

Wykorzystanie mikrofonu otworzyłoby wiele możliwości, np. ćwiczenia w których odpowiedzią jest zagranie odpowiedniego dźwięku, interaktywny stroik pokazujący czy dźwięk jest za niski czy za wysoki.

### **6.2.5. Lekcje**

Warto rozważyć podstronę która zawierałaby krótkie lekcje teorii muzyki, które następnie można by połączyć z interaktywnymi ćwiczeniami. Tutaj można byłoby również wykorzystać funkcjonalność kont po ich implementacji do zapamiętywania które lekcje użytkownik już przejrzał, tworzenia notatek czy dyskusji o materiale zawartym w lekcji.

# Literatura

- [1] Angular documentation. *trends.builtwith.com*, Sty. 2022. <https://angular.io/docs>.
- [2] Angular usage statistics. *trends.builtwith.com*, Sty. 2022. <https://trends.builtwith.com/framework/Angular>.
- [3] Flask documentation. <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>, Sty. 2022. <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>.
- [4] Java documentation. <https://docs.oracle.com/en/java/>, Sty. 2022. <https://angular.io/docs>.
- [5] Python 3.9 documentation. <https://docs.python.org/3.9/>, Sty. 2022. <https://docs.python.org/3.9/>.
- [6] React redux usage statistics. *trends.builtwith.com*, Sty. 2022. <https://trends.builtwith.com/javascript/React-Redux>.
- [7] Rest api design. *alexsoft.com*, Sty. 2022. <https://www.altexsoft.com/blog/rest-api-design/>.
- [8] Rest api design. *alexsoft.com*, Sty. 2022. <https://stackoverflow.blog/2020/03/02/best-practices-for-rest-api-design/>.
- [9] Spring documentation. <https://docs.spring.io/spring-framework/docs/current/reference/html/overview.html>, Sty. 2022. <https://docs.spring.io/spring-framework/docs/current/reference/html/overview.html>.
- [10] Y. Lin. 10 internet statistics every marketer should know in 2021. *oberlo.com*, Maj 2021. <https://www.oberlo.com/blog/internet-statistics>.
- [11] M. Marszycki. Gus: Ponad 90 *itwiz.pl*, Gru. 2021. <https://itwiz.pl/gus-ponad-90-gospodarstw-domowych-w-polsce-ma-dostep-do-internetu/>.

## **Dodatek A**

# **Instrukcja wdrożeniowa**

Jeśli praca skończyła się wykonaniem jakiegoś oprogramowania, to w dodatku powinna pojawić się instrukcja wdrożeniowa (o tym jak skompilować/zainstalować to oprogramowanie). Przydałoby się również krótkie how to (jak uruchomić system i coś w nim zrobić – zademonstrowane na jakimś najprostszym przypadku użycia). Można z tego zrobić osobny dodatek,

## **Dodatek B**

# **Opis załączonej płyty CD/DVD**

Tutaj jest miejsce na zamieszczenie opisu zawartości załączonej płyty. Należy wymienić, co zawiera.