

WYŻSZA SZKOŁA INFORMATYKI I ZARZĄDZANIA „COPERNICUS” WE WROCŁAWIU

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ADMINISTRACJI I FIZJOTERAPII

Kierunek studiów: **Informatyka**

Poziom studiów: **Studia drugiego stopnia-inżynierskie**

Specjalność: **Inżynieria systemów informatycznych**

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

Daniel Słaby

Analiza porównawcza nowoczesnych rozwiązań technologicznych aplikacji SPA za pomocą jednakowej aplikacji zaimplementowanej w każdym z wybranych rozwiązań

**Comparative analysis of modern technological solutions of SPA
applications using the same application implemented in each of the
selected solutions**

Ocena pracy:
(ocena pracy dyplomowej, data, podpis promotora)

.....
(pieczętka uczelni)

Promotor:

Dr inż. Grzegorz Debita

WROCŁAW 2020

Spis treści

1 Wstęp	3
1.1 Wprowadzenie	3
1.2 Cel pracy	3
1.3 Motywacja	3
1.4 Zakres	4
 Część przeglądowa	 5
2 Część przeglądowa	6
2.1 Słowniczek Pojęć	6
2.2 Przegląd prac o podobnej tematyce	6
2.2.1 Comparison of Single-Page Application Frameworks	6
2.2.2 Lighthouse	9
2.2.3 Porównanie narzędzi do tworzenia aplikacji typu SPA na przykładzie Angular2 i React	10
 Część praktyczna	 12
3 Część praktyczna	13
3.1 Problem pomiaru wydajności aplikacji SPA	15
3.2 Specyfikacja wymagań	16
3.3 Architektura rozwiązania	16
3.3.1 Projekt testu wydajności	16
3.3.2 Budowa aplikacji	19
3.3.3 Przygotowanie aplikacji do badania	21
3.3.4 Konteneryzacja aplikacji	21
3.3.5 Moduł badania	24
3.3.6 Moduł analizy	24
3.4 Analiza wyników	24
3.4.1 Czas załadowania aplikacji	24
3.4.2 Dodanie 1000 wierszy na początku listy	24
3.4.3 Dodanie 1000 wierszy na końcu listy	24
3.4.4 Zamiana wszystkich wierszy na liście	24
3.4.5 Aktualizacja 500 wierszy	24

Spis treści

3.4.6 Zamiana miejscami dwóch wierszy	24
3.4.7 Usunięcie pojedynczego wiersza	24
3.4.8 Usunięcie wszystkich wierszy	24
4 Podsumowanie	25
Bibliografia	26
Spis rysunków	30
Oświadczenie o udostępnianiu pracy dyplomowej	31
Oświadczenie autorskie	32

1. Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Technologia front-end ewoluje w zastraszającym tempie. 20 października 2010 rozpoczęła się nowa era technologii webowych wraz z wydaniem biblioteki AngularJS. Był to swoisty początek aplikacji SPA (Single Page Application) i całkowitej zmiany podejścia do tworzenia webowych aplikacji klienckich.

Dzisiaj większość narzędzi jakie używamy w życiu codziennym albo w pełni znajduje się w przeglądarce albo ma już na niej swoje odpowiedniki. Znaczna część aplikacji z których korzystamy na co dzień wykorzystuje te narzędzia jako rdzeń swojego działania. Ze znanych aplikacji z jakich korzysta na co dzień użytkownik możemy wymienić jako przykład odpowiednio: React: Facebook, Instagram, Netflix, WhatsApp Angular 2: GitHub Community Forum, Microsoft Office Home, Google Marketing Platform VueJS: FontAwesome, ChatWoot, Moonitor, Leave Dates

1.2 Cel pracy

W pracy tej, przeanalizowano trzy najpopularniejsze rozwiązania do tworzenia aplikacji SPA. Każde z nich pozwala na stworzenie takiej samej aplikacji z punktu widzenia końcowego użytkownika. Każda z nich jednak w inny sposób rozwiązuje problemy zarządzania zasobami oraz optymalizacji renderowania. W tym celu skonstruuje narzędzie pozwalające na badanie dynamicznych aplikacji webowych i postaram się odpowiedzieć na pytanie, czy różnica wydajności pomiędzy frameworkami jest tak duża, że powinna mieć wpływ na wybór konkretnego rozwiązania w ogólnym przypadku?

1.3 Motywacja

Za motywacją do stworzenia tejże pracy stały dwa główne powody. Pierwszym z nich jest chęć porównania trzech najczęściej wybieranych narzędzi w środowisku front-end. Każde z nich rozwiązuje ten sam problem, jednak nie jest do jasne, jak wygląda ich wydajność w przypadku użytkowania aplikacji. Jest to bowiem problem który trudno zbadać, co prowadzi nas do drugiego powodu. Badanie aplikacji typu SPA w momencie ich działania jest niezwykle trudnym zadaniem, dlatego też, celem praktycznym pracy jest stworzenie narzędzia do rozwiązania tego problemu.

1.4 Zakres

Zadanie będzie polegać na zaprojektowaniu odpowiedniej aplikacji która zawiera kilka znanych problemów wydajnościowych występujących w świecie aplikacji SPA. Następnie implementacja takiej aplikacji w każdym z wybranych rozwiązań. Kolejno na specjalnie stworzonej maszynie wirtualnej z ograniczonymi zasobami, wykonane zostaną testy wydajnościowe za pomocą wbudowanego profilera.

Mając już konkretne dane, wyniki zostaną przeanalizowane porównując które rozwiązanie jest najwydajniejsze w konkretnym przypadku co pozwoli na odpowiedź na pytanie: czy różnica wydajności pomiędzy narzędziami jest tak duża, że powinna mieć wpływ na wybór konkretnego rozwiązania w ogólnym przypadku?

Część przeglądowa

2. Część przeglądowa

- JSON [1] (JavaScript Object Notation) - jest to tekstowy format wymiany danych, bazującym na podzbiorze języka JavaScript. JSON przechowuje dane określone przez standard ECMA-262 3-cia edycja - Grudzień 1999.
- Transpilacja [2] - Transpilatory lub kompilatory typu źródło-źródło to narzędzia, które odczytują kod źródłowy napisany w jednym języku programowania i wytwarzają równoważny kod w innym języku. Języki, które piszesz, które są transpilowane na JavaScript, są często nazywane językami komplikacji do JS i mówi się, że są ukierunkowane na JavaScript.
- SPA [3] (także Single Page Application) - jednostronna aplikacja internetowa, czyli taka, która posiada tylko jeden plik HTML. Taka aplikacja nie przeładowuje strony w trakcie użytkowania. Może w tym celu korzystać z technologii AJAX lub innych dostępnych w przeglądarkach internetowych. Logika aplikacji SPA napisana jest w JavaScript lub w języku transpilowanym do języka JavaScript Framework.

2.1 Słowniczek Pojęć

2.2 Przegląd prac o podobnej tematyce

W części tej zajmiemy się przeglądem dostępnych rozwiązań oraz prac dotyczących pomiaru wydajności aplikacji internetowych z naciskiem na aplikacje typu SPA.

2.2.1 Comparison of Single-Page Application Frameworks

Pierwszą pozycją jest praca autorstwa Pan Eric'a Molina z instytutu KTH Royal Institute of Technology w Sztokholmie [4]. Autor stara się porównać frameworki na pełnej płazczyźnie ich złożoności. W jego pracy znaleźć możemy pełen spis kryteriów oceny frameworków wraz z wagami przypisanymi do cech określonymi za pomocą wywiadu środowiskowego jaki autor przeprowadził na grupie 10 profesjonalnych deweloperów mających doświadczenie w tych zagadnieniach przedstawionych na rysunku 2.1.

W pracy tej, porównywany frameworkami są AngularJS, Angular2 oraz React. I tutaj wyróżnić możemy już pierwsze różnice pomiędzy pracami. Praca Pana Molina została wykonana w 2016 roku. JavaScript jest jednym z najszybciej rozwijających się oraz najczęściej spotykanych technologii webowych na świecie [5]. Przez okres 4 lat, firmy masowo porzuciły technologie AngularJS na rzecz Angular 2 oraz Reacta. Dodatkowo, w międzyczasie do wyścigu dołączył Vue.js [6]. Przez ten okres, także implementacja tychże rozwiązań znacznie dojrzała. Angular z wersji 2 ewoluował już do wersji 9 [7]. Także React ewoluował z wersji

Criteria	Frequency
Cache performance	2
Compatibility	4
Developer guidelines	3
Documentation	6
Does “in-house” experience exists?	2
Simple to use	6
Maintainability	5
Maturity	4
Modularity	3
Performance	5
Popularity	8
Portability	4
Scalability	3
Security	2
Framework’s size	1
Testability	3
Who is the developer?	4

Rysunek 2.1. Grafika przedstawiająca ocenę wpływu wybranego elementu na atrakcyjność danego narzędzia [4]

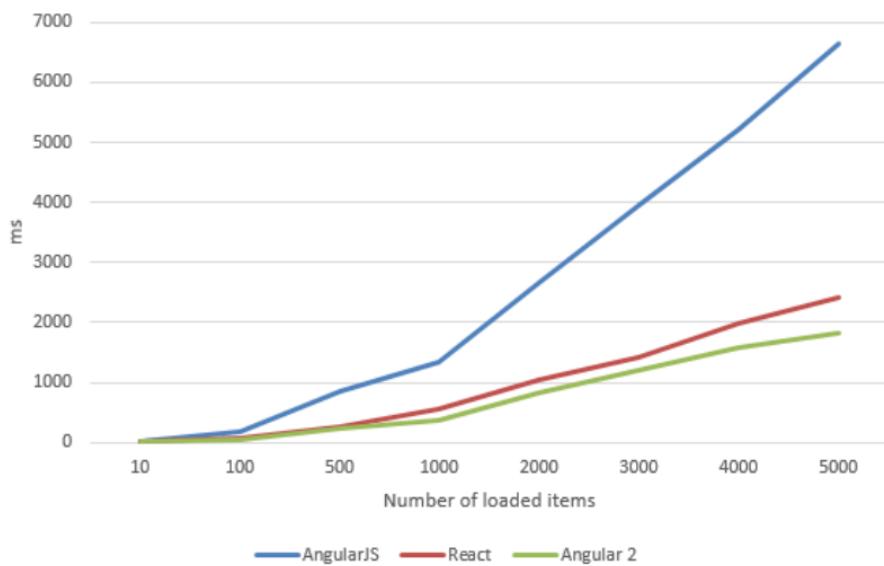
0.14.8 (użyta w pracy Pana Molina) do wersji 16.13.1 [8]. Najważniejszą zmianą którą należy tutaj wspomnieć jest zmiana silnika reacta nosząca nazwę React Fiber która nastąpiła w wersji 16.0.0. Był to kamień milowy, i z punktu widzenia badania wydajności, jest to całkowicie nowe rozwiązanie.

Następną sekcję która jest dla nas interesująca jest sekcja 5.2 w której autor prezentuje wyniki swoich testów. Wartym zauważenia jest wersja przeglądarki chrome, która wynosi 50.0.26661.102m. Najnowsza wersja chrome, w czasie pisania tego tekstu, to wersja 80.0.3987.16 czyli aż o 30 wersji nowszej.

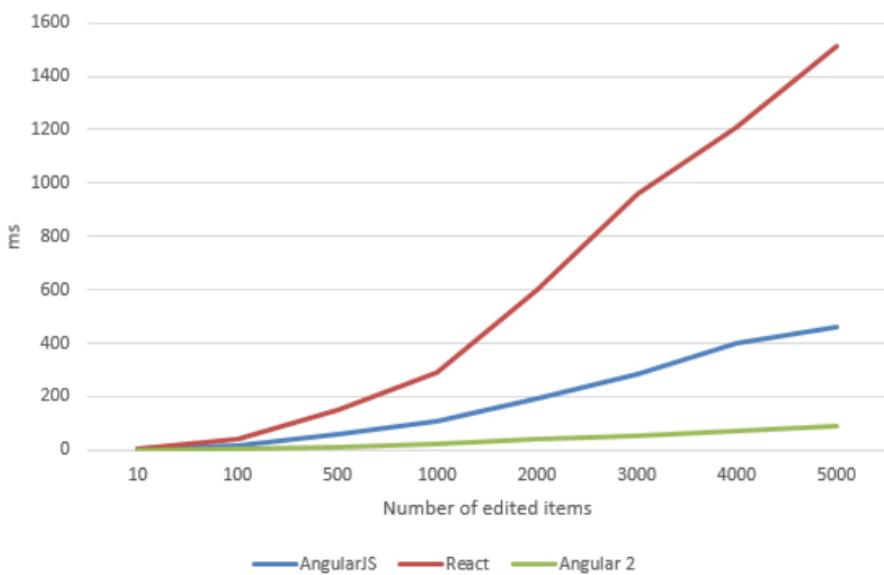
W pierwszym teście, autor porównuje wydajność pomiędzy rozwiązaniami na przykładzie ładowania elementów od 10 aż do 5000 przedstawionym na rysunku 2.2.

Z badania tego, możemy zauważyć jak bardzo AngularJS różni się od pozostałych, nowszych rozwiązań. Do pierwszych 100 elementów, wyniki są zbliżone, natomiast powyżej tej wartości, mamy nagłą zmianę stopnia nachylenia funkcji. Przyczyną takiego zachowania jest fakt, iż AngularJS nigdy nie był zoptymalizowany dla takich przypadków użycia podczas, gdy React oraz Angular2 już tak. W drugim teście, autor bada czas potrzebny do załadowania określonej ilości elementów. Wyniki przedstawiono na rysunku 2.3.

2. Część przeglądowa

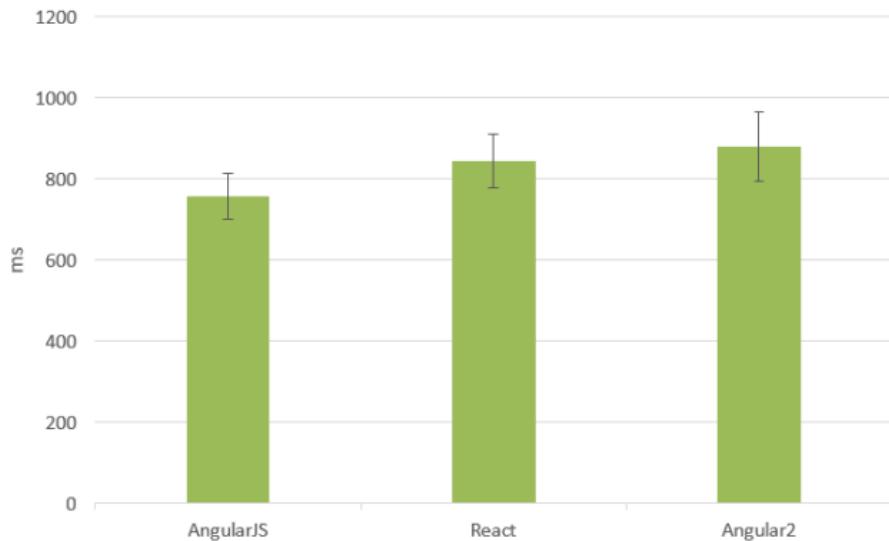


Rysunek 2.2. Grafika przedstawiająca wzrost czasu ładowania elementów od 10 do 5000 przy użyciu AngularJS, Angular2 oraz React [4]



Rysunek 2.3. Grafika przedstawiająca wykres zależności czasu do ilości edytowanych elementów na stronie [4]

Widzimy znaczną dysproporcję pomiędzy każdym z rozwiązań. Z jednej strony AngularJS przypomina funkcję wykładniczą gdzie po przeciwej stronie Angular2 zachowuje się jak funkcja liniowa. Pokazuje to jak bardzo istotne zmiany zaszły pomiędzy zmianą generacji oraz wpływ doświadczenia jakie zebraliśmy w okresie panowania framework'a AngularJS. Wszak AngularJS był pierwszym podejściem do generycznego narzędzia dla dynamicznych aplikacji internetowych. W ostatnim teście wydajnościowym, autor porównuje czas ładowania się aplikacji. Wyniki przedstawiono na rysunku 2.4.



Rysunek 2.4. Grafika przedstawiająca wykres czasu ładowania aplikacji [4]

O ile autor faktycznie porównuje wydajność rozwiązań, nie określa on w sposób klarowny jak zaimplementowano mechanizm dodawania oraz aktualizacji elementów w pierwszym oraz drugim teście. Są to informacje bardzo istotne, gdyż każdy z frameworków działa w inny sposób, i ma to bezpośredni wpływ na otrzymane wyniki. Dodatkowo, autor nie podaje błędu pomiaru [9] który wyznaczył podczas przeprowadzania badania. Jest to bardzo istotna informacja, gdyż frameworki takie opierają się na całej piramidzie warstw oprogramowania które współdzielą zasoby komputera z innymi procesami. Ponadto auto nie zastosował żadnej warstwy abstrakcji nad systemem operacyjnym co powoduje, że wyniki mogą znacznie różnić się pomiędzy różnymi wersjami systemu.

2.2.2 Lighthouse

Jest to narzędzie open-source stworzone przez firmę Google do badania wydajności stron internetowych oraz aplikacji webowych [10]. Jest ono integralną częścią przeglądarki Chrome, tak więc jest ono niezwykle łatwe w użytkowaniu. Narzędzie to pozwala nam na ocenę naszej aplikacji w kilku wybranych kategoriach w tym wydajności. Dodatkowo, narzędzie pozwala nam na określenie trybu badania gdzie do wyboru mamy tryb mobilny oraz tryb użytkownika komputera domowego. Ma to bardzo duży wpływ na wynik testu, gdyż wydajność urządzeń mobilnych jest z reguły bardzo ograniczona w porównaniu do pełnoprawnej platformy domowej. Metrykami jakie możemy otrzymać to:

- Czas rozpoczęcia pierwszego renderowania
- Czas gdy strona faktycznie została wyrenderowana w całości
- Indeks szybkości - czas, gdy główna treść strony została wyrenderowana
- Czas do interakcji - czyli czas, gdy użytkownik faktycznie może zacząć interakcję ze stroną

Jednak o ile informacje te są jak najbardziej przydatne z punktu widzenia ładowania strony, narzędziem to nie jest w stanie określić faktycznego czasu interakcji ze stroną. Wpływ na taki czas ma wiele czynników z których najważniejszym jest ilość elementów na stronie. Jest to istotne, gdyż JavaScript jest językiem jednowątkowym z mechanizmem event loop [11]. Tak więc jesteśmy w stanie otrzymać informacje o wydajności ładowania aplikacji przez przeglądarkę, jednak narzędziem w żaden sposób nie wspiera pomiarów działania aplikacji po etapie ładowania, a właśnie na tym skupia się ta praca.

2.2.3 Porównanie narzędzi do tworzenia aplikacji typu SPA na przykładzie Angular2 i React

Praca Pań Jadwiga Kalinowska oraz Beata Pańczyk [12] także ma na celu porównanie aplikacji typu SPA, tym razem Angular2 oraz React. Autorzy przedstawiają szereg metryk według których porównywały będą obydwa narzędzia. Pierwszą metryką jest sama struktura aplikacji czyli jak wygląda architektura wewnętrzna rozpatrywanego frameworka. I jak autorki zauważają, obydwa rozwiązania czerpią garściami z nowoczesnej szkoły tworzenia wysoce skalowalnych i wydajnych rozwiązań implementując naturę tworzenia złożonych aplikacji z małych komponentów. Z komponentów takich składamy coraz to większą i bardziej złożoną aplikację. Drugą metryką rozpatrywaną przez autorki jest metryka kodu przedstawiona na rysunku 2.5. Innymi słowy, jak wiele kodu boilerplate należy napisać, aby osiągnąć ten sam efekt. Ma to wpływ przede wszystkim na końcowy rozmiar pliku który należy przesyłać pomiędzy serwerem a klientem. Im niższa wartość, tym lepiej.

		React	Angular
Komponent dodawania plików graficznych	Rozmiar plików	3,43 KB	3,16 KB
	Liczba plików	1	4
	Liczba linii kodu	103	107
Rozmiar biblioteki		240MB	339MB
Rozmiar całego projektu		241MB	340MB

Rysunek 2.5. Porównanie metryk kodu dla pojedynczego komponentu [12]

Wnioskiem płynącym z otrzymanych danych jest fakt, iż React jest finalnie znacznie mniejszym frameworkiem co bezpośrednio redukuje koszt tworzenia oraz utrzymania kodu. Ostatnim interesującym punktem jest metryka badająca bezpośrednią wydajność aplikacji przedstawiona na rysunku 2.6. Badanie miało na celu zmierzenie czasu, jaki potrzebny jest aby pobrać rekordy z przygotowanej bazy danych.

Interesującym wynikiem jest fakt, iż React w przeglądarce Google Chrome dla 1,5 oraz 10 wyników otrzymał bardzo zbliżone czasy bliskie błędowi pomiaru. Jednak im większa liczba

Liczba rekordów	Angular			React		
	Czas transferu [s]			Czas transferu [s]		
	Google Chrome	Mozilla Firefox	Microsoft Edge	Google Chrome	Mozilla Firefox	Microsoft Edge
1	7,74	12,79	13,48	6,96	7	8,17
5	8,96	13,22	24,73	7,03	7,53	11,35
10	11,78	15,44	35,66	7,08	7,99	14,26
25	15,4	18,75	66,47	12,94	12,88	52,71
50	21,63	23,49	107,15	14,87	18,59	76,1
75	25,34	28,97	152,6	22,88	23,49	94,36

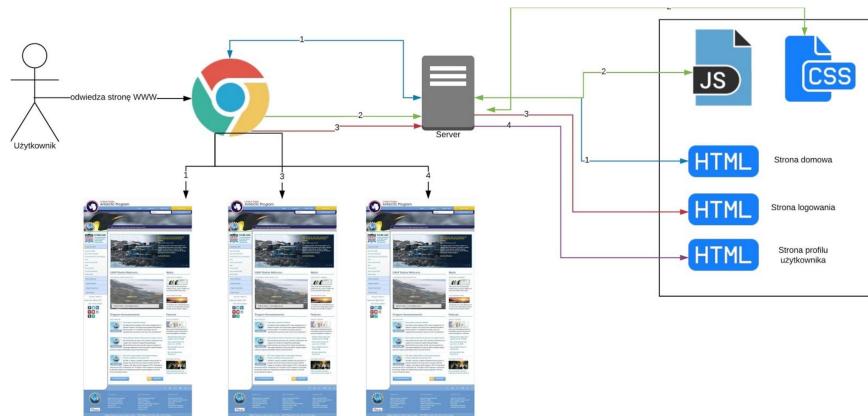
Rysunek 2.6. Porównanie czasów pobrania danych z bazy [12]

rekordów pobrana z bazy, tym większą przewagę osiągał React. Wszystkie metryki które zostały zastosowane podczas porównania dobrze obrazują różnicę pomiędzy tymi rozwiązaniami, ale tylko w ujęciu wysoko poziomowym. Badanie zawiera w sobie serwer WWW oraz bazę danych, których czasy stanowią znaczną część czasu uzyskanego w wynikach. Nie pozwala to nam na jednoznaczne stwierdzenie, które narzędzie jest wydajniejsze, gdyż wykonano tylko jedno badanie, które nie pozwala na ocenę tych narzędzi pod kątem różnych przypadków użycia.

Część praktyczna

3. Część praktyczna

Cykl życia standardowej strony internetowej przedstawiono na rysunku 3.1



Rysunek 3.1. Ilustracja przedstawiająca cykl życia statycznej strony internetowej

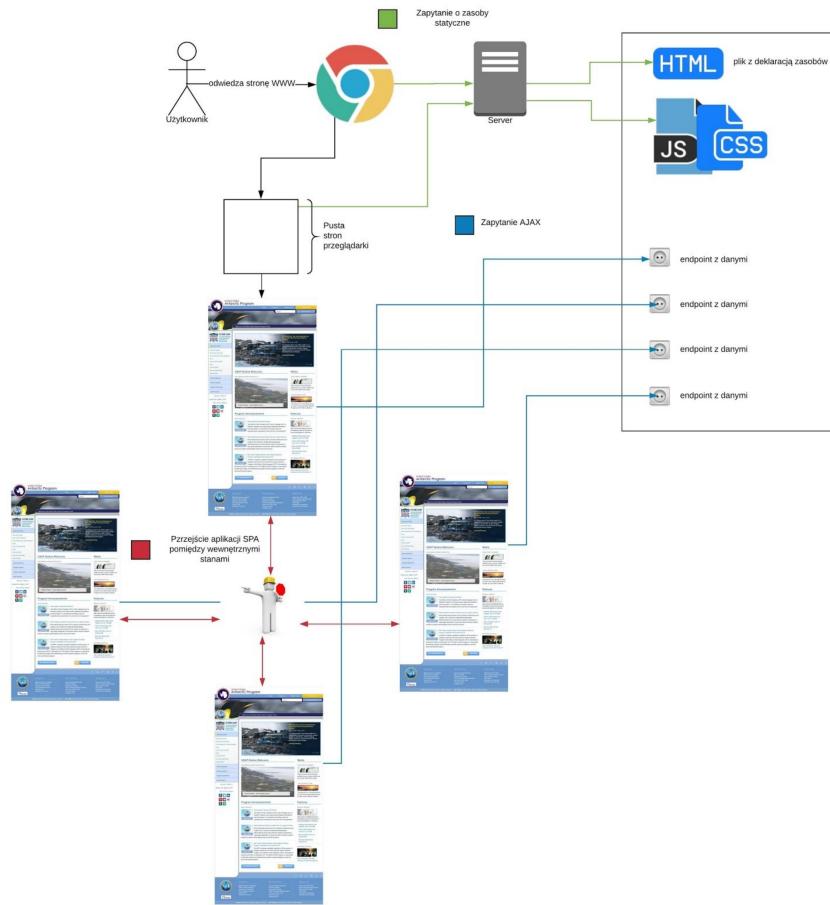
- Użytkownik otwiera przeglądarkę i odwiedza stronę WWW.
- Przeglądarka wysyła zapytanie do serwera z żądaniem zasobów.
- Serwer odsyła plik HTML w którym znajdują się odnośniki do plików JavaScript oraz CSS.
- Przeglądarka pobiera pliki JavaScript oraz CSS
- Przeglądarka renderuje stronę dla użytkownika.
- Użytkownik kliknie w odnośnik do kolejnej strony (w przykładzie strona logowania)
- Przeglądarka pobiera cały nowy plik HTML
- Przeglądarka renderuje nową stronę od nowa.
- Przeglądarka ponownie pobiera dodatkowe pliki JavaScript oraz CSS (zakładamy, że przeglądarka nie przechowuje plików w pamięci podręcznej).
- Przeglądarka renderuje stronę od nowa.

Jak widzimy, cały proces odwiedzenia dwóch stron w tej samej domenie wymaga każdorazowego przeładowania strony oraz pobrania tych samych danych. Proces ten wymaga ciągłego pobierania plików HTML, pobierania plików dodatkowych co obciąża procesor, pamięć łącze oraz sam serwer.

Dla porównania, przedstawiona poniżej ilustracja pokazuje cykl działania aplikacji SPA (rysunek 3.2)

- Użytkownik odwiedza tę samą stronę .
- Przeglądarka pobiera plik HTML z definicją potrzebnych zasobów. Zazwyczaj sekcja body pliku jest pusta.
- Przeglądarka pobiera dodatkowe pliki JavaScript oraz CSS.

3. Część praktyczna



Rysunek 3.2. Ilustracja przedstawiająca cykl działania aplikacji SPA

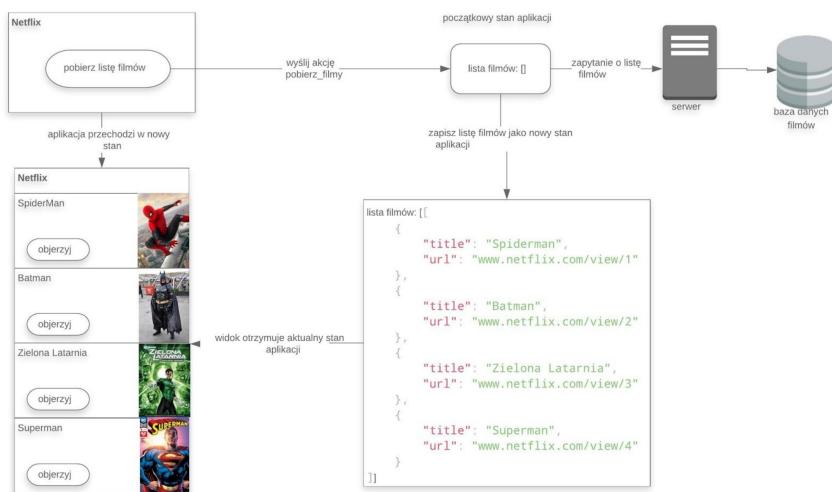
- Często pliki te są zoptymalizowane poprzez kompresję i sklejone w jeden plik tak, aby wykonać tylko jedno zapytanie zamiast dwóch.
- Pliki JavaScript, generują treść strony HTML.
- Przeglądarka może (ale nie musi) wykonać dodatkowe zapytanie o dane do jednego z endpointów serwera.
- Użytkownik klik na odnośnik do kolejnej strony. Przeglądarka nie pobiera już dodatkowego pliku HTML, jako, że aplikacja jest dynamiczna. Skrypt JavaScript może, ale nie musi pobrać dodatkowych informacji z serwera.

Jak widzimy, wykonano znacznie mniej zapytań do serwera. Dodatkowe zapytania które skrypt może wykonać w celu pobrania danych zazwyczaj są znacznie mniejsze od pełnego pliku HTML z wybraną treścią. Dodatkowo, przeglądarka nie przeładowuje strony przy każdej zmianie podstrony, co także odciąża procesor jak i łącze sieciowe.

3.1 Problem pomiaru wydajności aplikacji SPA

Z racji, że w aplikacjach SPA nigdy nie następuje przeładowanie strony, a ich działanie jest ciągłe pojawia się problem następującej natury.

W celu ułatwienia zrozumienia problemu posłużę się przykładem przedstawionym na rysunku 3.3. Założmy że jesteśmy na platformie Netflix. Otworzyliśmy stronę z listą dostępnych filmów do obejrzenia.



Rysunek 3.3. Grafika przedstawiająca mechanizm działania aplikacji dynamicznych

Aplikacja w stanie początkowym nie posiada żadnych filmów. Użytkownik kliknie przycisk "pobierz listę filmów". Efektem ubocznym (side effect) jest wysłanie informacji o akcji do menedżera stanu. Menedżer stanu wysyła zapytanie do serwera o listę filmów do zaproponowania. Serwer odpowiada z danymi, i menedżera stanu przechodzi w nowy stan. Podstrona otrzymuje informacje o nowym stanie. Pobiera nowy stan z menedżera stanu i prze renderuje widok.

Problem pojawia się gdy chcemy określić kiedy cała procedura została zakończona. Samo sprawdzenie czy przycisk został naciśnięty nie jest wystarczające, gdyż z perspektywy użytkownika, procedura obejmuje także rezultat efektu ubocznego. Zapytanie do serwera zajmie od kilkudziesięciu milisekund do nawet i kilku czy kilkunastu sekund. Samo renderowanie także nie jest deterministyczny w kontekście czasu operacji gdyż wpływ na nie mają inne usługi korzystające z procesora czy pamięci komputera. Z racji, iż frameworki internetowe muszą być generyczne, nikomu jeszcze nie udało się stworzyć idealnego i jednolitego mechanizmu wyznaczania, czy dana akcja została zakończona czy nie.

Tak więc na potrzeby pracy istotnym jest, wprowadzenie jednoznacznej definicji akcji w aplikacji.

Akcja aplikacji - jest to zbiór procedur oraz zdarzeń i ich obsługi następujący w chwili interakcji użytkownika z aplikacją.

3.2 Specyfikacja wymagań

W celu przeprowadzenia doświadczenia mającego na celu pomiar wydajności frameworków, należy posiadać odpowiednie środowisko badawcze. Jak pokazano w przeglądzie istniejących rozwiązań, na rynku brak jest narzędzi pozwalających na przeprowadzenie pełnego i dokładnego badania.

Na potrzeby pracy stworzono narzędzie do rozwiązymania zadanego problemu badawczego. W ramach projektu, założono co następuje:

- Narzędzie jest generyczne - nie zakładamy konkretnej technologii aplikacji tak, że każdy istniejący jak i przyszły framework może zostać przebadany.
- Stworzona zostanie ujednolicona lecz generyczna metoda dodawania nowej aplikacji do puli już istniejących.
- Narzędzie musi posiadać obsługę różnych typów akcji aplikacji.
- Narzędzie musi potrafić działać w odizolowanym środowisku (docker)
- Narzędzie będzie zautomatyzowane w znacznym stopniu.
- Narzędzie będzie składać się z modułów tak, aby było łatwo rozwijalne w przyszłości.
- Narzędzie pozwala na stworzenie różnych zestawów testów tak, aby użytkownik mógł dokładnie przebadać różne warianty akcji aplikacji.
- Stworzony zostanie moduł parsowania danych z badania tak, aby można było otrzymać ujednolicony format wyniku.
- Stworzony zostanie moduł wizualizujący wyniki.

3.3 Architektura rozwiązania

Narzędzie które powinno powstać w celu rozwiązyania tak skomplikowanego problemu nie jest łatwym zadaniem. Na wstępie przedstawiono ogólny zarys architektury rozwiązania które spełnia wymogi przedstawione powyżej. Z racji na obszerność rozwiązania, przedstawione zostanie ono w małych rozdziałach.

3.3.1 Projekt testu wydajności

Z założenia każda aplikacja którą chcemy porównać musi być zbudowana w możliwie zbliżony do siebie sposób. Z racji, iż aplikacje internetowe są tworzone w sposób generyczny, istnieje mnogość możliwości implementacji każdego wymagania. Innymi słowy, każde zadanie można wykonać na wiele różnych sposobów w ramach jednego narzędzia. Każde rozwiązanie posiada swoje wady oraz zalety. Niektóre narzędzia pozwalają na dodatkową optymalizację kodu pod konkretne zadanie, pozwalając uzyskać jeszcze lepsze wyniki. Niestety, mechanizmy takie polegają w znacznej mierze na zdolnościach i wiedzy programisty. W ramach badania, chcemy porównać wydajność frameworków, a nie zdolności programisty, dlatego też aplikacje

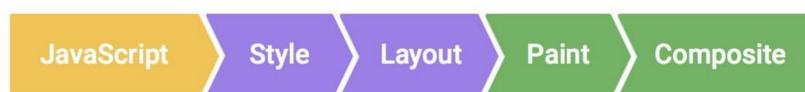
3. Część praktyczna

powinny zostać zaprojektowane w taki sposób, aby:

- Były zdolne wykonać te same zadania
- Były możliwie proste
- Nie wymagały dogłębnej wiedzy programisty
- Posiadały ujednoliczoną strukturę projektu
- Z racji, iż dla przeglądarki najtrudniejszym zadaniem jest renderowanie elementów,

Test który zaprojektowano skupia się dokładnie na porównaniu wydajności renderowania dużej liczby elementów.

W tym miejscu warto odnieść się do świetnego artykułu autorstwa Pana Paula Lewisa [13] na temat optymalizacji renderowania w przeglądarce. Proces ten składa się z pięciu kroków przedstawionych na rysunku 3.4.



Rysunek 3.4. Grafika przedstawiająca kolejność faz renderowania w przeglądarce

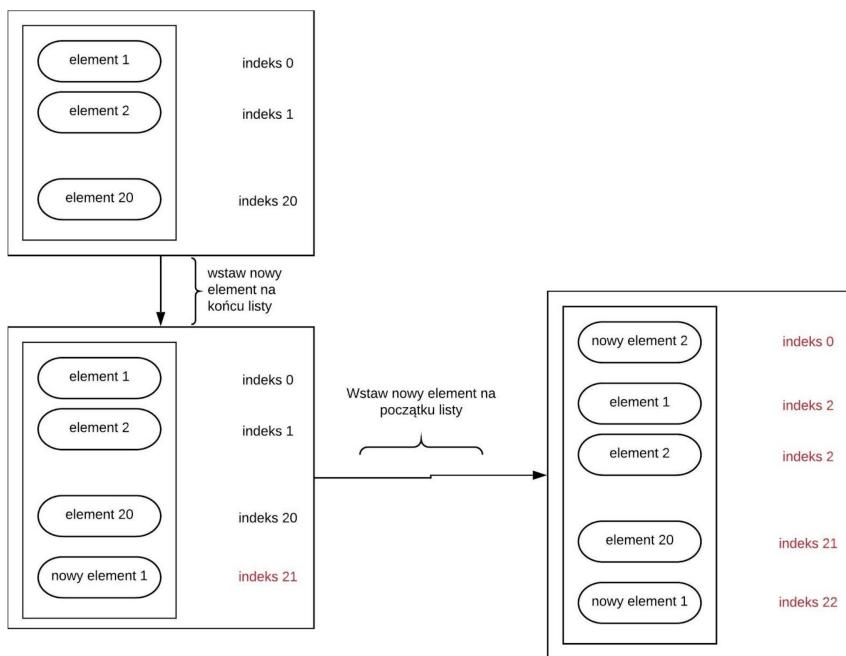
Na początku JavaScript wykonuje zmianę na dokumencie HTML. Następnie przeglądarka wylicza na podstawie arkusza stylów (CSS) pozycję elementów na płótnie przeglądarki. Następnie znając rozmieszczenie elementów na stronie, przeglądarka wylicza ich wzajemne pozycje oraz rozmiar. Elementy na stronie mają na siebie wzajemny wpływ na przykład dla dwóch bloków . W zależności od wysokości pierwszego bloku, drugi blok może zostać wyrenderowany, bądź też nie jeżeli wykracza on poza widoczny obszar rysowania, a także możemy wyliczyć dokładną pozycję na płótnie. Znając pozycję oraz rozmiary elementów, przechodzimy do fazy malowania. Pixele zostają malowane na wielu warstwach. W ostatniej fazie kompozycji, warstwy wyświetlane są na ekranie w konkretnej kolejności (odpowiadają za to między innymi atrybut z-index w języku CSS).

Jak widzimy, renderowanie pojedynczej klatki na stronie jest bardzo skomplikowanym procesem, który w idealnym przypadku powinien następować około 60 razy na sekundę (w zależności od częstotliwości odświeżania ekranu). Bardzo istotnym mechanizmem który przeglądarki stosuje w celu optymalizacji ilości pracy jest pomijanie niepotrzebnych fragmentów. Jeżeli zmianie uległa tylko pewna część strony, na przykład kolor tekstu, możemy pominąć etap wyliczania layoutu strony. Jeżeli nastąpi zmiana stanu, w której nie wystąpiła zmiana ani layoutu ani nie występuje potrzeba ponownego malowania, przeglądarka używa poprzedniego zestawu gotowych warstw. Zrozumienie tego mechanizmu jest istotnym czynnikiem na którym oparłem konstrukcję testów wydajnościowych.

Wracając do samej konstrukcji testu. Znając już mechanizm omijania czynności podczas renderowania obrazu w przeglądarce możemy przedstawić problem renderowania list. Założymy,

3. Część praktyczna

że mamy listę 20 wyrenderowanych elementów na stronie. Do listy możemy dopisać nowe wartości albo na początku albo na końcu. W pierwszym kroku, dopisuję jeden nowy element do listy, na końcu co przedstawiono na rysunku 3.5. Każdy element na liście ma przypisany indeks. Dopuszając nowy element do listy, w optymalnym przypadku, powinieneś wyrenderować tylko jeden nowy element i dokładnie tak się stanie. Co stanie się, gdy dopiszę nowy element na początku listy? Otóż wszystkie indeksy zostaną przesunięte o 1. React wykryje zmianę jednego elementu na liście, i przeglądarka wyrenderuje tylko jeden nowy element. Widzimy także, że znaczna część fazy layoutu będzie taka sama, gdyż na ekranie zmieni się tylko jeden widoczny element.

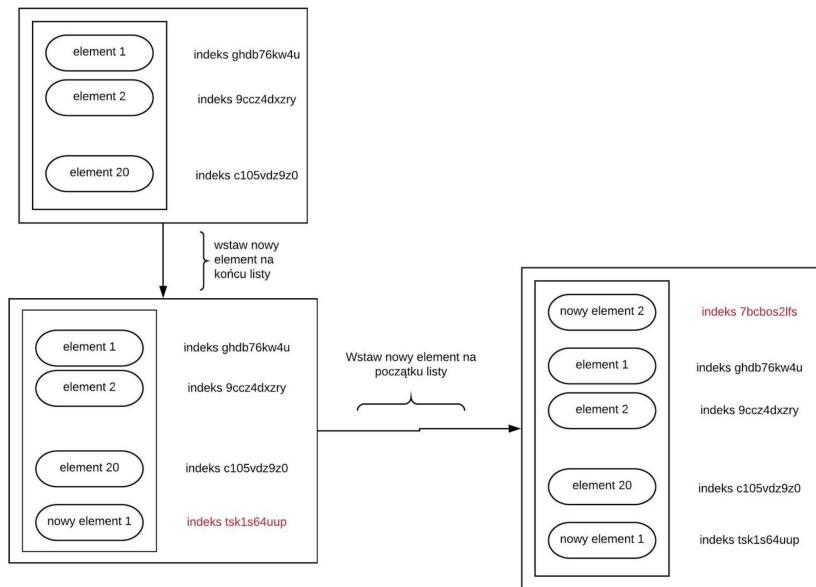


Rysunek 3.5. Ilustracja przedstawiająca problem dopisywania elementu na koniec listy

Co stanie się w przypadku dopisania jednego nowego elementu na początek listy? Problem ten zaprezentowano na rysunku 12. Każdy indeks przypisany do elementu zostanie przesunięty o jeden. Z racji tej, React ponownie wyrenderuje każdy element (gdyż uzna, iż jest to nowy element). Spowoduje to zmianę kodu HTML która zmusi przeglądarkę do pełnego prze renderowania wszystkich warstw oraz wyliczenia całego layoutu na nowo. Oczywiście w skali 20 elementów które nie posiadają skomplikowanej struktury HTML i stylowania CSS nie powinno to robić problemu. Jednak w dobie nowoczesnych aplikacji, listy (np lista filmów netflixa) posiadają masę małych elementów przez co lista nawet 50 elementów może spowodować zauważalne opóźnienia podczas użytkowania aplikacji.

W jaki sposób możemy poradzić sobie z tym problemem? Istnieją dwa sposoby dzięki którym React obiecuje znacznie wyższą wydajność w porównaniu do czystego kodu JavaScript. Pierwszym z nich jest unikalny indeks elementu [14]. Zamiast stosować klucza równego in-

deksowi elementu, musimy podać klucz który jest unikalny w ramach elementu. Przykładowo dla każdego elementu stworzymy parę (klucz, hasz). W tym momencie, jeżeli dodamy nowy element na początku listy, React spojrze na listę kluczy, i zobaczy, że nie zmieniły się one, a dodano tylko jeden nowy element. Zamiast 22 renredowań, otrzymamy tylko jedno.



Rysunek 3.6. Ilustracja przedstawiająca problem dopisywania elementów na początek listy

Drugim sposobem poradzenia sobie z minimalizacją ilości renderowania jest koncepcja wirtualnego modelu DOM [15]. Jest to mechanizm, który tworzy reprezentację interfejsu użytkownika w pamięci i synchronizuje ją z modelem DOM przeglądarki. Proces ten nazywa się rekoncyliacją [16]. Pozwala to na wyrenderowanie tylko tych elementów, które różnią się między reprezentacją w pamięci a reprezentacją faktyczną drzewa DOM.

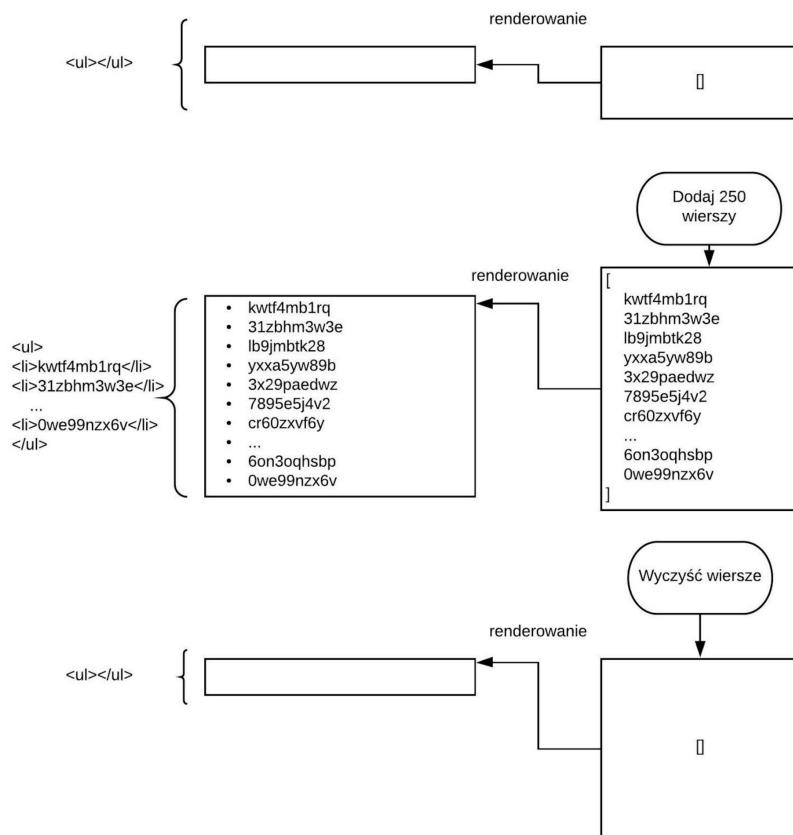
Znając już konkretny problem, z którym aplikacje SPA muszą się mierzyć, postanowiono zaprojektować szereg akcji manipulujących listą elementów oraz zbadać, ile czasu zajmie konkretnego frameworkowi wykonanie takiej czynności.

3.3.2 Budowa aplikacji

Każda aplikacja będzie składać się z szeregu przycisków. W wewnętrznym stanie aplikacji, będziemy trzymać listę wartości do wyrenderowania. Wartości które będziemy renderować będą stringiem o długości 10 znaków. Proces zmiany aplikacji prezentuję na poniższym rysunku.

Na początku stan wewnętrzny aplikacji będzie pustą tablicą. Spowoduje to wyrenderowanie stanu minimalnego, czyli bloku . Akcja naciśnięcia przycisku spowoduje wygenerowanie 250 wpisów zawierających wylosowane alfanumeryczne wartości. Wartości te muszą być, w miarę możliwości unikatowe. Zmiana stanu z kolei spowoduje ponowne wyrenderowanie komponentu wyświetlającego listę. Kolejne akcje będą działać w myśl tej samej zasady.

3. Część praktyczna



Rysunek 3.7. Ilustracja mechanizmu przebiegu badania

Na rysunku poniżej przedstawiam listę akcji jakie aplikacja musi implementować:

Append 250 rows start | Append 250 rows end | replaceAllRows | updateNRows | Swap Rows | Remove Row | Clear rows |

Rysunek 3.8. Grafika przedstawiająca zaimplementowane przyciski w aplikacji

- *Append 250 rows start* - dodaj 250 wierszy na początku listy.
- *Append 250 rows end* - dodaj 250 wierszy na końcu listy.
- *Replace all rows* - wygeneruj na nowo pełną listę wartości
- *Update N rows* - wybierz losowo 250 wierszy i zaktualizuj ich wartości
- *Swap rows* - zamień miejscami 2 wiersze
- *Remove row* - usuń jeden wiersz
- *Clear rows* - usuń wszystkie wiersze

Na początku części praktycznej wprowadzono definicję akcji aplikacji. Widzimy tutaj, iż samo przyciśnięcie przycisku dodania aplikacji nie jest wystarczające, gdyż przed wyrendero-

waniem listy musimy wygenerować listę wpisów. Renderowanie aplikacji także jest nie deterministyczne, i wpływ na nie ma szereg czynników niezależnych od przeglądarki. Spowoduje to znaczne różnice w wynikach pomiaru czasu akcji aplikacji, z tego też powodu istotnym jest upewnienie się, iż kolejne iteracje badania są od siebie możliwie niezależne.

Ostatnim elementem składającym się na aplikację jest jej infrastruktura. Każda aplikacja tworzona jest w całkowicie inny sposób, dlatego istotnym jest, aby ujednolicić proces budowania i pakowania plików wynikowych. Z racji tego, każda aplikacja musi posiadać w sobie plik Makefile [17] z dwoma możliwymi celami:

- install
- Production

Cel *install* jak sama nazwa wskazuje, przygotuje folder *node_modules* zawierający pobrane biblioteki z platformy NPM [18] Drugi cel *production* zajmie się procesem pakowania aplikacji i optymalizacji kodu w celach produkcyjnych [19].

3.3.3 Przygotowanie aplikacji do badania

Kolejnym krokiem podczas przygotowania aplikacji do badania, jest zautomatyzowanie procesu budowania i transferowania aplikacji. Przygotowujemy je tym samym do konteneryzacji [20]. W ramach tej części procesu, stworzono 3 skrypty.

- Compile all applications - skrypt ten ma na celu przejście po wszystkich folderach aplikacji, i wykonanie komend *install* oraz *production*. Komendy wykonują szereg intensywnych zadań polegających na pobraniu dużej ilości danych a następnie transpilacji [2] i optymalizacji kodu które są zadaniami wysoce obciążającymi procesor. Dlatego też przygotowanie aplikacji sekwencyjnie zajmuje dużo czasu i jest nieefektywne. Skrypt ten został zoptymalizowany aby wykonywał procesowanie współbieżne za pomocą mechanizmu obietnic [21] w Javascript, dzięki temu w pełni wykorzystuje możliwości procesora.
- Copy released apps - Prosty skrypt mający na celu przekopiowanie folderu *dist* z każdej aplikacji do głównego folderu "releases".
- Create index html file - skrypt ten ma na celu stworzenie pliku *index.html*. W pliku tym zawrzemy informację o przygotowanych aplikacjach. Plik ten będzie dla nas istotny w dalszej części procesowania, gdy automat będzie wykrywać dostępne aplikacje do badania.

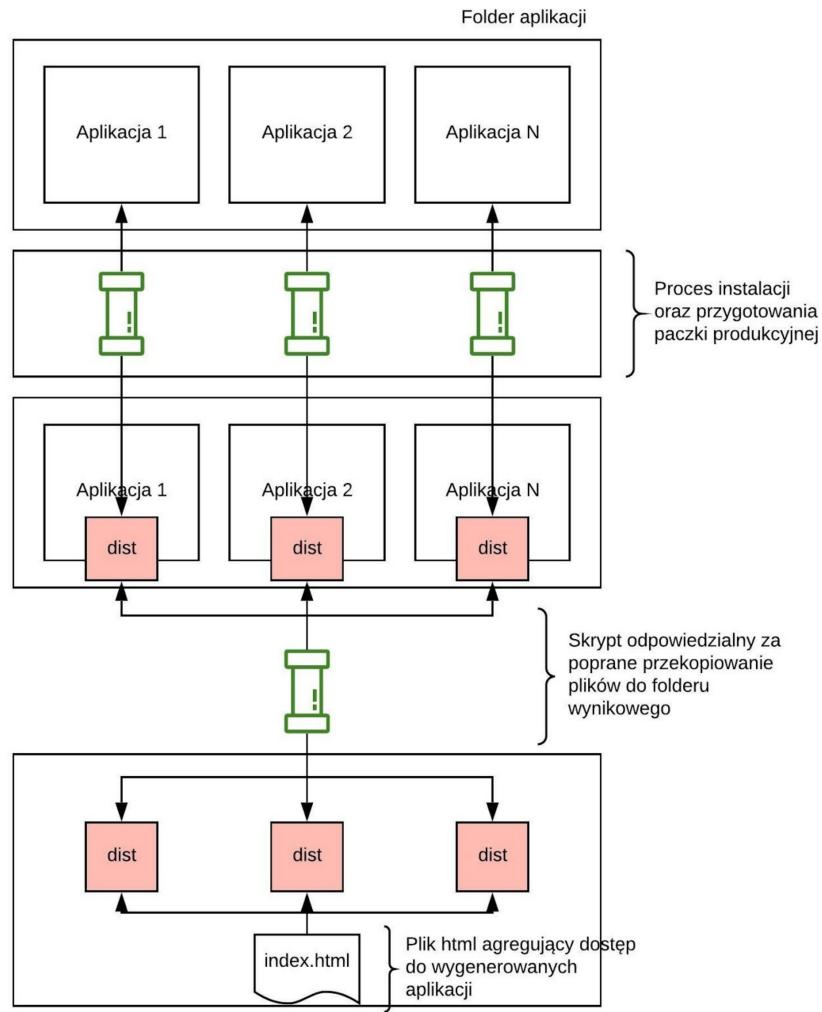
Cały proces przedstawiony został na rysunku 3.9.

3.3.4 Konteneryzacja aplikacji

Na tym etapie, dysponuję już zbudowanymi paczkami aplikacji. Aplikacje zostały zoptymalizowane do produkcyjnego użytku. Dodatkowo posiadam plik *index.html* stanowiący punkt wejścia do dalszego procesowania.

Kolejnym krokiem jest stworzenie mechanizmu umożliwiającego dostęp do aplikacji. W

3. Część praktyczna



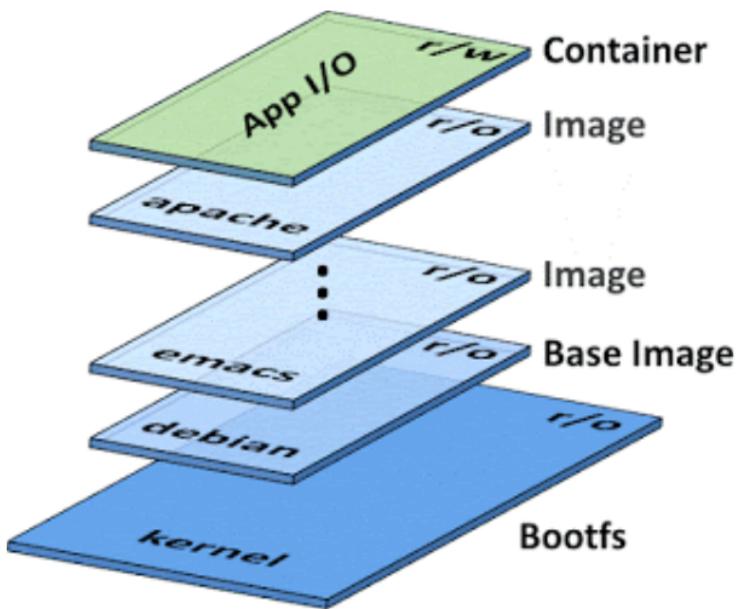
Rysunek 3.9. Ilustracja procesu przygotowania aplikacji do konteneryzacji

normalnym środowisku służą do tego serwery aplikacji [22]. Przykładem takiego serwera jest Nginx lub Apache. Z racji, iż instalacja takich serwerów wiążę się z pobraniem dużej ilości danych oraz każdorazową konfiguracją środowiska, skonteneryzowane rozwiązania znaczaco przyspieszy i uprości pracę.

Jednym z założeń narzędzia jest, aby całość działała w odizolowanym środowisku przy użyciu platformy docker [23]. W zależności od systemu operacyjnego, zestaw instrukcji potrzebnych do instalacji serwera może być całkowicie inny [24][25]. Dlatego też wykorzystanie odizolowanej warstwy abstrakcji nad systemem operacyjnym jest istotnym zabiegiem.

Istotnym detalem dotyczącym platformy docker jest jej zasada działania. Aplikacje składają się z warstw obrazów, co przedstawiono na rysunku 3.10. Aby rozpocząć nasz własny obraz, należy wybrać obraz bazowy. W celu zmniejszenia wagi obrazów, zazwyczaj stosuje się obrazy czystych, okrojonych wersji systemu Linux. Przykładem takiego obrazu jest obraz alpine [26], który jest systemem Linux o wadze 5 MB. Następny obraz jako swoją bazę wykorzysta

obraz alpine, i doda kolejną warstwę oprogramowania. Możliwym jest także jako bazę nowego obrazu, wybranie pełnoprawnej wersji systemu Linux na przykład bazą może być Ubuntu [27]. Dzięki wykorzystaniu podejścia komponentowego, rozwiązanie to jest bardzo generyczne i pozwala na publikację tego samego oprogramowania na wiele różnych sposobów.



Rysunek 3.10. Ilustracja przedstawiająca warstwy składające się na przykładowy obraz dockera

W celu stworzenia kontenera, należy utworzyć plik Dockerfile który jest plikiem typu YAML. W pliku tym precyzujeśmy, jaki obraz dockera ma być bazą naszego nowego obrazu. Podczas pisania implementacji narzędzia, użyto obrazu *nginx:1.17.6-alpine*. Następnie kopowane są przygotowane w poprzednich krokach aplikacje do folderu */var/www*. Jest to folder który NGINX wykorzystuje do serwowania plików. Kolejny krokiem jest przygotowanie wcześniej stworzonego pliku *nginx.conf* jako pliku konfiguracyjnego serwera NGINX. Prezycje się w nim wiele istotnych opcji, lecz dla nas jedyną interesującą opcja jest ścieżka do folderu aplikacji, port oraz plik *index.html*. Następnie następuje etap budowy nowego kontenera.

Z racji, iż nowy kontener musi być zbudowany od nowa za każdym razem, gdy zmienimy kod aplikacji, stworzono plik *Makefile* mający na celu usprawnienie całego procesu. Należy wykonać komendę **make build_nginx_image**. Po zbudowaniu obrazu, możemy uruchomić nasz serwer za pomocą komendy **make start_nginx_docker**. Będzie on dostępny pod adresem **http://localhost:8085**.

Ostatnim elementem jest opisanie faktycznego wyniku całego procesu. W tym celu, wchodzimy na stronę **http://localhost:8085**. Naszym oczom ukaże się bardzo prosta strona startowa

przedstawiona na rysunku 3.11. Strona ta będzie potrzebna kolejnemu modułowi badawczemu opartemu na Selenium, w celu wykrycia, jakie aplikacje są dostępne do badania.

List of available apps:

- [angular2](#)
- [react](#)
- [vue](#)

Rysunek 3.11. Grafika przedstawiająca plik index.html wraz z dostępnymi aplikacjami do badania

Możemy kliknąć na odnośnik przenoszący nas do konkretnej aplikacji. Należy tylko pamiętać o poprawieniu portu, czyli aby przejść do implementacji reacta, należy wejść w link <http://localhost:8085/react/>.

3.3.5 Moduł badania

3.3.6 Moduł analizy

3.4 Analiza wyników

3.4.1 Czas załadowania aplikacji

3.4.2 Dodanie 1000 wierszy na początku listy

3.4.3 Dodanie 1000 wierszy na końcu listy

3.4.4 Zamiana wszystkich wierszy na liście

3.4.5 Aktualizacja 500 wierszy

3.4.6 Zamiana miejscami dwóch wierszy

3.4.7 Usunięcie pojedynczego wiersza

3.4.8 Usunięcie wszystkich wierszy

4. Podsumowanie

Bibliografia

- [1] JSON.org, <https://www.json.org/>
- [2] Peleke Sengstacke *JavaScript Transpilers: What They Are and Why We Need Them*, Kwiecień 25, 2016
<https://scotch.io/tutorials/javascript-transpilers-what-they-are-why-we-need-them>
- [3] Sławomir Kołodziej *What Are Single Page Applications? What Is Their Impact on Users' Experience and Development Process?*, 3 Lipiec 2019
<https://www.netguru.com/blog/what-are-single-page-applications>
- [4] Eric Molin, *Comparison of Single-Page Application Frameworks*, Instytut KTH w Sztokholmie
<https://pdfs.semanticscholar.org/fa9f/f75f32de61cddafa8805ea433d4d8a0e20da.pdf>
- [5] <https://octoverse.github.com/>
- [6] Maja Nowak, Reasons, *Why Vue.js Is Getting More Traction Every Month*, 19 Grudzień 2018,
<https://www.monterail.com/blog/reasons-why-vuejs-is-popular>
- [7] <https://github.com/angular/angular/blob/master/CHANGELOG.md>
- [8] <https://github.com/facebook/react/blob/master/CHANGELOG.md>
- [9] *Probabilistyczny opis błędu jako podstawa definiowania niepewności pojedynczego wyniku pomiaru*
<http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW4-0034-0011>
- [10] Google Developers, *Lighthouse*
<https://developers.google.com/web/tools/lighthouse>
- [11] Kyle Simpson *You Don't Know JS: Async & Performance*
http://cdn.lxqnsys.com/05_You_Don't_Know_JS_Async_&_Performance.pdf

- [12] Jadwiga Kalinowska, Beata Pańczyk, *Porównanie narzędzi do tworzenia aplikacji typu SPA na przykładzie Angular2 i React*, Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki
<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-5c6271b4-27e3-42d0-9762-a240dc3a9973>
- [13] Paul Lewis, *Google Developers, Rendering Performance*,
<https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/rendering>
- [14] *ReactJS, Lists and Keys*,
<https://reactjs.org/docs/lists-and-keys.html>
- [15] *ReactJS, Virtual DOM and Internals*,
<https://reactjs.org/docs/faq-internals.html>
- [16] ReactJS, Reconciliation,
<https://reactjs.org/docs/reconciliation.html>
- [17] GNU.org, *Makefile*,
https://www.gnu.org/software/make/manual/html_node/Introduction.html
- [18] NpmJs.com, *npm | build amazing things*,
<https://www.npmjs.com/>
- [19] ReactJS, *Optimizing Performance*,
<https://reactjs.org/docs/optimizing-performance.html>
- [20] magnifier.pl, *Konteneryzacja - czym jest i dlaczego staje się tak popularna?*, 24 Październik. 2019,
<https://magnifier.pl/konteneryzacja-docker-kubernetes/>
- [21] MDN web docs, *Promise - JavaScript*,
https://developer.mozilla.org/en/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Promise
- [22] MDN web docs, *What is a web server?*, 18 Stycznia 2019,
https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Common_questions/What_is_a_web_server
- [23] Docker Docs, *Docker*,
<https://docs.docker.com/get-started/#docker-concepts>

- [24] Nginx, *Nginx for Windows*,
<http://nginx.org/en/docs/windows.html>
- [25] Nginx, *Linux packages*,
http://nginx.org/en/linux_packages.html
- [26] Wiki Alpine Linux, *Docker*,
<https://wiki.alpinelinux.org/wiki/Docker>
- [27] Docker Hub, *Ubuntu*,
https://hub.docker.com/_/ubuntu
- [28] Meggin Kearney, Addy Osmani, Kayce Basques, Jason Miller, *Measure Performance with the RAIL Model | Web Fundamentals*, 12 Luty. 2019,
<https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/rail>
- [29] Jesus Castello, *Ruby Templating Engines: ERB, HAML & Slim - RubyGuides*,
<https://www.rubyguides.com/2018/11/ruby-erb-haml-slim/>
- [30] Whatsabyte, *What Are Threads in a Processor?*, 24 Sierpień 2018,
<https://whatsabyte.com/blog/processor-threads/>
- [31] Dimiter Petrov, *A tale of flaky Cypress tests*, 24 Październik 2019,
<https://dimiterpetrov.com/blog/a-tale-of-flaky-cypress-tests/>
- [32] Selenium Dev, *The Selenium project and tools*,
https://www.selenium.dev/documentation/en/introduction/the_selenium_project_and_tools/
- [33] Docker Docs, *Overview of Docker Compose*,
<https://docs.docker.com/compose/.>
- [34] Docker Documentation, *Networking in Compose*.
<https://docs.docker.com/compose/networking/>
- [35] MDN - Mozilla, *Memory Management*, 4 Marca 2020,
https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Memory_Management
- [36] MDN - Mozilla, *Performance - Web APIs*, 30 Styczeń 2020,
<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Performance>

- [37] MDN - Mozilla, *DOMHighResTimeStamp - Web APIs*, 19 Lusty 2020,
<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/DOMHighResTimeStamp>
- [38] MDN - Mozilla, *First paint - MDN Web Docs Glossary*, 10 Marca. 2020,
https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/First_paint

Spis rysunków

2.1	Grafika przedstawiająca ocenę wpływu wybranego elementu na atrakcyjność danego narzędzia [4]	7
2.2	Grafika przedstawiająca wzrost czasu ładowania elementów od 10 do 5000 przy użyciu AngularJS Angular2 oraz React [4]	8
2.3	Grafika przedstawiająca wykres zależności czasu do ilości edytowanych elementów na stronie [4]	8
2.4	Grafika przedstawiająca wykres czasu ładowania aplikacji [4]	9
2.5	Porównanie metryk kodu dla pojedynczego komponentu [12]	10
2.6	Porównanie czasów pobrania danych z bazy [12]	11
3.1	Ilustracja przedstawiająca cykl życia statycznej strony internetowej	13
3.2	Ilustracja przedstawiająca cykl działania aplikacji SPA	14
3.3	Grafika przedstawiająca mechanizm działania aplikacji dynamicznych	15
3.4	Grafika przedstawiająca kolejność faz renderowania w przeglądarce	17
3.5	Ilustracja przedstawiająca problem dopisywania elementu na koniec listy	18
3.6	Ilustracja przedstawiająca problem dopisywania elementów na początek listy	19
3.7	Ilustracja mechanizmu przebiegu badania	20
3.8	Grafika przedstawiająca zaimplementowane przyciski w aplikacji	20
3.9	Ilustracja procesu przygotowania aplikacji do konteneryzacji	22
3.10	Ilustracja przedstawiająca warstwy składające się na przykładowy obraz dockera	23
3.11	Grafika przedstawiająca plik index.html wraz z dostępnymi aplikacjami do badania	24

Wrocław, dnia 2020-05-08

Wydział Informatyki, Administracji i Fizjoterapii

Kierunek studiów: **informatyka (INF)**

Daniel Słaby

.....
(imię i nazwisko studenta)

6781

.....
(nr albumu)

**OŚWIADCZENIE O UDOSTĘPNIANIU PRACY
DYPLOMOWEJ**

Tytuł pracy dyplomowej: Analiza porównawcza nowoczesnych rozwiązań technologicznych aplikacji SPA za pomocą jednakowej aplikacji zaimplementowanej w każdym z wybranych rozwiązań

Wyrażam zgodę (nie wyrażam zgody)¹ na udostępnianie mojej pracy dyplomowej.

.....
(podpis studenta)

¹Niepotrzebne skreślić.

Wrocław, dnia 2020-05-08

Wydział Informatyki, Administracji i Fizjoterapii

Kierunek studiów: **informatyka (INF)**

Daniel Słaby

.....
(imię i nazwisko studenta)

6781

.....
(nr albumu)

OŚWIADCZENIE AUTORSKIE

Oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową pod tytułem:

Analiza porównawcza nowoczesnych rozwiązań technologicznych aplikacji SPA za pomocą jednakowej aplikacji zaimplementowanej w każdym z wybranych rozwiązań

napisałem/am samodzielnie. Nie korzystałem/am z pomocy osób trzecich, jak również nie dokonałem/am zapożyczeń z innych prac.

Wszystkie fragmenty pracy takie jak cytaty, rycinę, tabele, programy itp., które nie są mojego autorstwa, zostały odpowiednio zaznaczone i zamieszczono w pracy źródła ich pochodzenia. Treść wydrukowanej pracy dyplomowej jest identyczna z wersją pracy zapisaną na przekazywanym nośniku elektronicznym.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że jeżeli w przypadku postępowania wyjaśniającego zebrany materiał potwierdzi popełnienie przeze mnie plagiatu, skutkować to będzie niedopuszczeniem do dalszych czynności w sprawie nadania mi tytułu zawodowego do czasu wydania orzeczenia przez komisję dyscyplinarną oraz złożenie zawiadomienia o popełnieniu przestępstwa.

.....

(podpis studenta)