

Streszczenie pracy

Celem niniejszej pracy dyplomowej... W skrócie: Stworzyć kompilator który zamieni JavaScript na IL Assembler i będzie można go uruchomić na .NET. Następnie porównanie działania skryptów uruchamianych na maszynach Node.js oraz .NET. Można jeszcze porównać program napisany w C# z programem napisanym w js.

Abstract

The aim of this diploma thesis was...

Spis treści

Streszczenie pracy	3
Abstract	3
1 Wstęp	6
2 Pojęcia i technologie	7
2.1 Zakres projektu	7
2.1.1 Kompilator	7
2.1.2 Maszyna wirtualna	7
2.1.3 JavaScript	8
2.1.4 Node.js	9
2.1.5 .NET Core	9
2.1.6 IL Assembler	10
2.2 Technologie pokrewne	10
2.2.1 ECMAScript	10
2.2.2 ActionScript	10
2.2.3 JScript	10
2.2.4 TypeScript	10
2.2.5 ?CoffeeScript	11
2.2.6 Babel	11
2.2.7 Deno	11
2.2.8 asm.js	11
2.2.9 Emscripten	11
2.2.10 WebAssembly	11
2.2.11 C#	11
2.2.12 .NET Framework	11
2.2.13 Mono	11
2.2.14 DotGNU	11
2.2.15 ?Roslyn	11
3 Projekt kompilatora	12
3.1 Środowisko i narzędzia	12
3.2 Analiza języka JavaScript i określenie zakresu implementacji . . .	12
3.3 Parser	12
3.4 Struktura projektu	12
4 Implementacja aplikacji kompilatora	13
4.1 Parser	13
4.2 Analiza leksykalna	13
4.3 Gramatyka	13
4.4 Funkcjonalności	13
4.5 Generowanie assemblera	13

5	Testy	13
5.1	Proste operacje matematyczne	13
5.2	Kolejność wykonywania działań	13
5.3	Wyrażenia warunkowe	13
5.4	Tablice	13
5.5	Obiekty	13
5.6	Klasy	14
5.7	Funkcje	14
5.8	Algorytm 1	14
5.8.1	Opracowanie pseudokodu algorytmu 1	14
5.8.2	Implementacja algorytmu 1	14
5.8.3	Testy algorytmu 1	14
5.9	Algorytm 2	14
5.9.1	Opracowanie pseudokodu algorytmu 2	14
5.9.2	Implementacja algorytmu 2	14
5.9.3	Testy algorytmu 2	14
6	Podsumowanie	14
	Bibliografia	15

1 Wstęp

W branży programistycznej istnieje bardzo dużo języków programowania oraz różnych środowisk uruchomieniowych dla nich przeznaczonych. Podczas tworzenia oprogramowania niezbędny jest dla programisty kompilator. Zamienia on kod programu napisanego w konkretnym języku programowania, na zrozumiałą dla środowiska uruchomieniowego ciąg instrukcji. Warto podkreślić, że języki programowania, które są proste do zrozumienia i opanowania dla programistów oraz pozwalają na pisanie programów, które można uruchomić na różnych urządzeniach i umożliwiają tworzenie bardzo zróżnicowanych rodzajów oprogramowania, są o wiele częściej używane niż inne. Powoduje to, że powstaje dużo różnych bibliotek i frameworków ułatwiających i automatyzujących tworzenie oprogramowania.

Jednym z popularnych języków wśród programistów jest język JavaScript, który może być uruchamiany w przeglądarkach internetowych lub w maszynie wirtualnej takiej jak Node.js. Innym z popularnych środowisk uruchomieniowych jest platforma .NET, dla której istnieje wiele kompilatorów różnych języków. Wykorzystanie istniejących bibliotek, frameworków czy modułów napisanych w języku JavaScript w niezmienionej formie na platformie .NET, umożliwi programistom na tworzenie bardziej uniwersalnego kodu.

Celem niniejszej pracy jest **zaprojektowanie oraz implementacja kompilatora języka JavaScript na kod IL Assembler uruchamiany na platformie .NET**. Następnie w celu sprawdzenia poprawności działania kompilatora, zostaną przeprowadzone testy przy pomocy prostych implementacji kodu JavaScript. Zostaną również zaprojektowane oraz zaimplementowane dwa bardziej skomplikowane testy, do **porównania maszyn wirtualnych Node.js oraz .NET**. Zostanie także porównany kod assemblera generowanego przez kompilator .Net Core języka C# z kodem generowanym przez implementowany kompilator.

Praca podzielona jest na cztery części. Pierwsza część opisuje pojęcia i technologie wykorzystywane do realizacji tego projektu oraz technologie pokrewne, które w pewnym stopniu realizują cel pracy lub realizują podobne założenia. Druga część poświęcona jest zaprojektowaniu tworzonego kompilatora. Kolejna część opisuje sposób implementacji tego kompilatora na podstawie zdefiniowanych założeń. Ostatnia część opisuje przeprowadzone testy realizowane w ramach pracy oraz przedstawia wyniki ich działania.

2 Pojęcia i technologie

2.1 Zakres projektu

Projekt będzie realizował zaprojektowanie i implementację kompilatora języka JavaScript na platformę uruchomieniową .NET core. W tym rozdziale zostaną opisane pojęcia oraz technologie, które będą wykorzystywane w realizacji tego projektu. Na początku opisane będą takie pojęcia jak *kompilator* oraz *maszyna wirtualna*. Następnie zostaną omówione technologie wiodące w projekcie takie jak *JavaScript*, *Node.js*, *.NET Core* oraz *IL Assembler*.

2.1.1 Kompilator

W dzisiejszych czasach niezbędnym narzędziem programisty jest kompilator. Jest to narzędzie, którego zadaniem jest tłumaczenie programu napisanego przez programistę, na program który będzie można uruchomić na konkretnym środowisku uruchomieniowym.

Mówiąc ściślej kompilator to program napisany w języku implementacyjnym, który odczytuje język źródłowy i tłumaczy go na język wynikowy. Proces zamiany kodu źródłowego na wynikowy nazywany jest **kompilacją**. Kodem wynikowym procesu kompilacji może być od razu kod maszynowy, który interpretowany jest bezpośrednio przez procesor lub maszynę wirtualną, albo do kodu pośredniego, który też może zostać skompilowany przez inny kompilator.

Kompilatory mogą być napisane w dowolnym języku programowania. Istnieje kilka specjalnie zaprojektowanych do tego zadania języków, takie jak *Pascal* czy *Algol 68*. Nie mniej jednak, wybór języka do implementacji kompilatora przez twórcę, powinien się opierać na założeniu, że powinien on zminimalizować wysiłek implementacyjny i zmaksymalizować jakość kompilatora.

Język źródłowy który przetwarzany jest przez kompilator prawie zawsze jest oparty na wcześniej zdefiniowanej gramatyce. Dzięki temu program kompilatora potrafi odróżnić od siebie kolejne instrukcje i zamienić je na równoważne ciągi instrukcji w języku docelowym.¹

Podobnym w działaniu jest **interpreter**, który tak jak kompilator, jest pisany w jednym implementacyjnym oraz odczytuje język kodu źródłowego, ale nie produkuje kodu wynikowego, tylko odczytany kod jest od razu wykonywany. Niektóre języki przyjmują schematy zawierające wykorzystanie kompilatora oraz interpretera w procesie wytwarzania oprogramowania. Jednym z przykładów jest język **Java**, który kompilowany jest do postaci nazywanej *bytecode*, a następnie interpretowany jest przez maszynę wirtualną Java (Java Virtual Machine, JVM).²

2.1.2 Maszyna wirtualna

Wirtualizacja stała się ważnym narzędziem w projektowaniu systemów komputerowych, a maszyny wirtualne używane są w wielu obszarach informatycznych,

¹W. M. Mckeeman. "Compiler Construction". W: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 1974, s. 1–36. ISBN: 9783540069584. DOI: 10.1007/978-3-662-21549-4_1. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-21549-4_1, s. 1–4.

²*Engineering a Compiler*. Elsevier, 2012. ISBN: 9780120884780. DOI: 10.1016/C2009-0-27982-7. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20090279827>, s. 3, 4.

od systemów operacyjnych po architektury procesorów języków programowania.

Dla programistów oraz użytkowników virtualizacja likwiduje tradycyjne interfejsy oraz ograniczenia zasobów związanych z różnymi urządzeniami. Maszyny wirtualne zwiększają interoperacyjność oprogramowania oraz wszechstronność platformy, dlatego też często się je wykorzystuje.

Maszyna wirtualna to nic innego jak program uruchamiany na prawdziwej maszynie, który potrafi obsługiwać pożądaną architekturę. W ten sposób można obejść rzeczywistą kompatybilność maszyny i ograniczenia zasobów sprzętowych. Pozwala to, między innymi na równoczesne tworzenie oprogramowania dla wielu platform, bez konieczności stosowania bezpośrednio interfejsów rzeczywistej maszyny, a jedynie wykorzystanie tych udostępnianych przez maszynę wirtualną.³

2.1.3 JavaScript

Jest to skryptowy język programowania, dzięki którego można realizować aplikacje w paradygmacie imperatywnym, obiektowym oraz funkcyjnym. Najczęściej jest wykorzystywany w stronach internetowych, gdzie kolejne instrukcje wykonywane są przez przeglądarkę sieci Web, ale również zyskuje popularność w innych środowiskach.⁴

JavaScript został wdrożony w roku 1995 roku, jako sposób dodawania programów do stron internetowych. Jako pierwszą przeglądarką obsługującą JavaScript to Netscape Navigator. Następnie inne, głównie graficzne przeglądarki wprowadzały możliwość uruchamiania kodu napisanego w JavaScript. Umożliwiło to tworzenie nowoczesnych stron internetowych z którymi można było bezpośrednio współpracować, bez konieczności ponownego pobierania strony po każdej wykonanej akcji.

W momencie kiedy zaczęto używać JavaScript poza Netscape, został stworzony dokument standaryzujący, który opisuje sposób działania języka. Utworzono go, aby wszystkie nowo tworzone oprogramowanie mające wykorzystywać JavaScript, faktycznie używały tego samego języka. Dokument ten nazywany jest standardem **ECMAScript**, który został nazwany po organizacji Ecma International, twórców tego dokumentu.

JavaScript jest językiem bardzo elastycznym, przez co ma też swoje wady i zalety. Przez swoją elastyczność pozwala na wykorzystywanie wielu technik i praktyk programistycznych które mogą być niemożliwe w innych językach.

Jako, że jest to język skryptowy, to tak jak podobne tego typu języki posiada dynamiczne typowanie zmiennych. Oznacza to, że każda ze zmiennej jest definiowana poprzez słowo kluczowe **var**, a w nowszej wersji można to zrobić już przy pomocy dwóch różnych słów **const** oraz **let**. Kolejną z podstawowych rzeczy w JavaScript są funkcje. Dzięki nim można pisać programy we wspomnianych wcześniej paradygmatach. Pozwalają one nie tylko na wydzielenie kodu na mniejsze części ale również na definiowanie bardziej złożonych struktur czy klas.⁵

³J.E. Smith i Ravi Nair. "The architecture of virtual machines". W: *Computer* 38.5 (2005), s. 32–38. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2005.173. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1430629/>.

⁴MDN contributors. *About JavaScript*. 2020 (dostępny Maj 28, 2020). URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript.

⁵Marijn Haverbeke. *Eloquent JavaScript: A Modern Introduction to Programming*. 2011. ISBN: 1593272820. DOI: 10.1190/1.9781560801597.

2.1.4 Node.js

Jest to asynchroniczne środowisko uruchomieniowe dla języka JavaScript. Node.js został zaprojektowany do tworzenia skalowalnych aplikacji sieciowych. Pozwala na jednoczesne przetwarzanie wielu połączeń. Przy każdym połączeniu następuje wywołanie zwrotne, a w przypadku jeśli nie będzie żadnej pracy do wykonania, Node.js przejdzie w tryb uśpienia.⁶

Środowisko Node.js oparte jest na implementacji silnika “V8” stworzonego przez Google. Zaimplementowany głównie jest w języku C i C++, koncentrując się na wydajności i niskim zużyciu pamięci. Różnica polega na tym, że silnik “V8” obsługuje głównie JavaScript w przeglądarkach internetowych, a Node.js został stworzony z myślą o obsłudze długotrwałych procesów serwerowych.

W celu obsługi jednoczesnego wykonywania logiki biznesowej, Node.js opiera się na asynchronicznym modelu zdarzeń wejścia i wyjścia, w przeciwieństwie do większości innych współczesnych środowisk, które oparte są na wielowątkowości. Model zdarzeń jest obsługiwany na poziomie języka, a jest to możliwe ponieważ JavaScript obsługuje wywołania zwrotne zdarzeń oraz funkcjonalny charakter JavaScript sprawia, że niezwykle łatwo jest tworzyć anonimowe obiekty funkcji, które można zarejestrować jako programy obsługi zdarzeń.⁷

2.1.5 .NET Core

Jest to platforma programistyczna ogólnego zastosowania z otwartymi kodami źródłowymi. Pozwala na tworzenie aplikacji dla systemów Windows, macOS oraz Linux przy wykorzystaniu różnych języków programowania.⁸

Architektura środowiska .NET składa się z takich komponentów jak:

- CTS (Common Type System) - opisuje wszystkie wspierane przez platformę typy. Definiuje zasady korzystania z danych typów, dostarcza zorientowany obiektowo model dla różnych języków implementowanych w .NET oraz zapewnia bibliotekę zawierającą prymitywne typy danych (takich jak `Boolean`, `char` itp.).
- CLS (Common Language Specification) - definiuje w jaki sposób mają być definiowane obiekty i funkcje, w języku przeznaczonym na platformę .NET. CLS jest podzbiorem CTS, co oznacza, że wszystkie opisane zasady CTS dotyczą również CLS.⁹
- FCL (Framework Class Library) - jest to standardowa biblioteka zawierająca podstawę implementacji klas, interfejsów, typów wartości czy usług, które wykorzystywane są do tworzenia aplikacji.¹⁰

⁶Node.js. *About* — *Node.js*. 2017.

⁷Stefan Tilkov i Steve Vinoski. “Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs”. W: *IEEE Internet Computing* 14.6 (2010), s. 80–83. ISSN: 1089-7801. DOI: 10.1109/MIC.2010.145. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5617064/>.

⁸Paweł Łukasiewicz. *.NET Core vs .NET Framework*. (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://www.plukasiewicz.net/Artykuly/NetFrameworkVsNetCore>.

⁹MDN contributors. *Common Type System & Common Language Specification*. 2016 (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/common-type-system>.

¹⁰HOW TO ASP.NET. *.NET FCL (Framework Class Library)*. (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://www.howtoasp.net/net-fcl-framework-class-library/>.

- CLR (Common Language Runtime) - jest to środowisko uruchomieniowe, które uruchamia kod i zapewnia usługi ułatwiające proces programowania. Środowisko wykonawcze automatycznie obsługuje układ obiektów i zarządza referencjami no nich, zwalniając je w przypadku kiedy już nie są używane.¹¹

2.1.6 IL Assembler

Każdy z kompilatorów przeznaczonych na platformę .NET, bez względu na wybrany język, kompiluje kod do postaci pośredniej, jakim jest kod IL.

Wykonywalny kod IL jest w formacie binarnym i nie jest czytelny dla człowieka. Oczywiście jak inne wykonywalne kody binarne, mogą zostać przedstawione w postaci assemblera, tak i kod IL może zostać zaprezentowany w postaci IL Assemblera. Zestaw instrukcji jest taki jak w przypadku tradycyjnego assemblera. Przykładowo, aby dodać dwie liczby należy użyć instrukcji `add`, a w przypadku odejmowania, należy użyć instrukcji `sub`.

Środowisko uruchomieniowe .NET nie potrafi jednak odczytywać bezpośrednio IL Assemblera. Aby kod napisany w IL Assemblerze można było uruchomić, trzeba skompilować go do postaci binarnej IL.¹²

2.2 Technologie pokrewne

W tej sekcji będą przedstawione technologie pokrewne. Najpierw technologie konkurencyjne, następnie istniejące rozwiązania a na końcu rozwiązania podobne/nawiązujące w jakiś sposób do tematu.

2.2.1 ECMAScript

W sumie jest to standard języka na podstawie którego definiowana jest składnia JavaScript. Czy warto o tym wspominać?

2.2.2 ActionScript

Obiektowy język oparty na ECMAScript używany w Adobe Flash/

2.2.3 JScript

Jest to implementacja JavaScript przez Microsoft która jest uruchamiana w środowisku .NET. Istnieją pewne różnice w porównaniu do JavaScript.

2.2.4 TypeScript

Język programowania stworzony przez Microsoft. Uruchamiany na Node.js lub Deno. Może być przekompilowany do js es5 przez Babel.

¹¹MDN contributors. *Common Language Runtime (CLR) overview*. 2019 (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://docs.microsoft.com/pl-pl/dotnet/standard/clr>.

¹²Sameers Javed. *Introduction to IL Assembly Language*. 2003 (dostępny Lipiec 8, 2020). URL: <https://www.codeproject.com/Articles/3778/Introduction-to-IL-Assembly-Language>.

2.2.5 ?CoffeeScript

Język programowania kompilowany do JavaScript. Nie wiem czy warto wspominać.

Inne języki kompilowane do JavaScript: Roy, Kaffeine, Clojure, Opal

2.2.6 Babel

Kompiluje przykładowo TypeScript do JavaScript lub JavaScript ES6 do ES5.

2.2.7 Deno

Maszyna wirtualna dla języka JavaScript oraz TypeScript.

2.2.8 asm.js

Jeśli dobrze zrozumiałem jest to okrojony JavaScript który tak samo może być uruchamiany w przeglądarkach czy Node.js/Deno. Wykorzystywany przy kompilacji kodu c++ do uruchamiania na tych maszynach.

2.2.9 Emscripten

Kompilator kodu LLVM do JavaScript.

2.2.10 WebAssembly

Język niskopoziomowy, który działa z szybkością zbliżoną do rozwiązań natywnych i pozwala na kompilację kodu napisanego w C/C++ do kodu binarnego działającego w przeglądarce internetowej. (Pomija JavaScript).

2.2.11 C#

Czy opisywać rodzinę .NET?

Na maszynę .NET istnieją implementacje języków takich jak Python, Java, C++ i inne.

2.2.12 .NET Framework

Platforma programistyczna.

2.2.13 Mono

Implementacja open source platformy .NET Framework.

2.2.14 DotGNU

Alternatywa dla Mono.

2.2.15 ?Roslyn

.NET Compiler Platform

3 Projekt kompilatora

Opis

3.1 Środowisko i narzędzia

Opis sprzętu na którym będzie wszystko uruchomiane. Do implementacji będą wykorzystane:

- C#
- Visual Studio Code
- WSL (Ubuntu 20.04 LTS)
- JavaScript
- Node.js

3.2 Analiza języka JavaScript i określenie zakresu implementacji

Opis składni JavaScript. Implementacja JavaScript w standardzie ES5. Musi być Turing-complete. Dodatkowo implementacja funkcji.

3.3 Parser

Używamy ANTLR z gotową gramatyką

Rozważane możliwości i wykonano przegląd narzędzi: Opcje: 1. Napiszę własną implementację, która może być mało czytelna i mieć dużo błędów. (Baza: <http://informatyka.wroc.pl/node/391>) 2. Użyję ANTLR i napiszę własną gramatykę. 3. Użyję ANTLR i użyję gotowe gramatyki.

po 2 zdania: Gotowe narzędzia:

- LEX & YYAC
- ANTLR
- Coco/R
- ?gppg & gplex
- Owl (<https://github.com/ianh/owl>)

i więcej... https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_parser_generators

3.4 Struktura projektu

Diagramy i opisy. Jak będzie wyglądał ten rozdział zależy jak wyjdzie implementacja.

4 Implementacja aplikacji kompilatora

4.1 Parser

Sposób implementacji lub przygotowania i użycia gotowych narzędzi.

4.2 Analiza leksykalna

Tekst

4.3 Gramatyka

Tekst

4.4 Funkcjonalności

Opis sposobu przetwarzania instrukcji

4.5 Generowanie assemblera

Opisać jak wygenerować kod .NET

5 Testy

Opis zakresu testów i jak będą przebiegać. Każdy z poniższych testów będzie sprawdzany pod kątem poprawności wykonywania działań, czasu wykonywania w porównaniu do wykonania kodu na Node.js (dla bardziej złożonych testów z czasem będzie więcej), zajętość pamięci (również tylko przy tych których to ma sens) oraz porównaniu kodu z assemblerowego wygenerowanego za pośrednictwem języka C#.

5.1 Proste operacje matematyczne

Test dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, przypisywania.

5.2 Kolejność wykonywania działań

Test na bardziej złożonych wyrażeniach. Sprawdzenie poprawności działania nawiasów oraz kolejności wykonywania działań.

5.3 Wyrażenia warunkowe

Test wyrażeń warunkowych. Kolejność wykonywania operacji and i or.

5.4 Tablice

Test obsługi tablic jedno i wielowymiarowych.

5.5 Obiekty

Test obsługi obiektów.

5.6 Klasy

Jeśli będzie implementacja. Test działania obiektów klas.

5.7 Funkcje

Test działania funkcji. 1. Funkcja "void" bez parametrów. 2. Funkcja "void" z parametrami. 3. Funkcja zwracająca różne typy (proste, tablice, obiekty) bez parametrów. 4. Funkcje zwracające różne typy z parametrami. 5. inne

5.8 Algorytm 1

5.8.1 Opracowanie pseudokodu algorytmu 1

5.8.2 Implementacja algorytmu 1

5.8.3 Testy algorytmu 1

5.9 Algorytm 2

5.9.1 Opracowanie pseudokodu algorytmu 2

5.9.2 Implementacja algorytmu 2

5.9.3 Testy algorytmu 2

6 Podsumowanie

Bibliografia

- ASP.NET, HOW TO. *.NET FCL (Framework Class Library)*. (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://www.howtoasp.net/net-fcl-framework-class-library/>.
- contributors, MDN. *About JavaScript*. 2020 (dostępny Maj 28, 2020). URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript.
- *Common Language Runtime (CLR) overview*. 2019 (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://docs.microsoft.com/pl-pl/dotnet/standard/clr>.
- *Common Type System & Common Language Specification*. 2016 (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/common-type-system>.
- Engineering a Compiler*. Elsevier, 2012. ISBN: 9780120884780. DOI: 10.1016/C2009-0-27982-7. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20090279827>.
- Haverbeke, Marijn. *Eloquent JavaScript: A Modern Introduction to Programming*. 2011. ISBN: 1593272820. DOI: 10.1190/1.9781560801597.
- Javed, Sameers. *Introduction to IL Assembly Language*. 2003 (dostępny Lipiec 8, 2020). URL: <https://www.codeproject.com/Articles/3778/Introduction-to-IL-Assembly-Language>.
- McKeeman, W. M. “Compiler Construction”. W: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 1974, s. 1–36. ISBN: 9783540069584. DOI: 10.1007/978-3-662-21549-4_1. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-21549-4_1.
- Node.js. *About — Node.js*. 2017.
- Smith, J.E. i Ravi Nair. “The architecture of virtual machines”. W: *Computer* 38.5 (2005), s. 32–38. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2005.173. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1430629/>.
- Tilkov, Stefan i Steve Vinoski. “Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs”. W: *IEEE Internet Computing* 14.6 (2010), s. 80–83. ISSN: 1089-7801. DOI: 10.1109/MIC.2010.145. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5617064/>.
- Łukasiewicz, Paweł. *.NET Core vs .NET Framework*. (dostępny Lipiec 6, 2020). URL: <https://www.plukasiewicz.net/Artykuly/NetFrameworkVsNetCore>.