POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

Imię i nazwisko studenta: Marcin Szmidt
Nr albumu: 188766
Poziom kształcenia: studia pierwszego stopnia
Forma studiów: stacjonarne
Kierunek studiów: Informatyka
Profil: Teleinformatyka

Imię i nazwisko studenta: Dzmitry Hurynovich
Nr albumu: 191529
Poziom kształcenia: studia pierwszego stopnia
Forma studiów: stacjonarne
Kierunek studiów: Informatyka
Profil: Systemy geoinformatyczne

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

Tytuł pracy w języku polskim: Migracja z języka programowania C++ na język Rust fragmentu programu udostępnionego przez fundację Mozilla

Tytuł pracy w języku angielskim: Migration of a part of an application released by the Mozilla foundation from C++ to the Rust programming language

Opiekun pracy: dr inż. Adam Kaczmarek

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy znajduje się opis procesu migracji kodu należącego do fundacji Mozilla z języka C++ na język Rust. Głównym celem pracy jest analiza oraz praktyczna realizacja migracji fragmentu programu udostępnionego przez fundację Mozilla z języka C++ do języka Rust w celu oceny korzyści związanych z bezpieczeństwem i nowoczesnością kodu. Oznacza to porównanie kodu przed i po migracji pod kątem zarządzania pamięcią, szybkością działania oraz utrzymania oprogramowania. Przedstawione zostają kolejne kroki podjęte w celu przeprowadzenia migracji. Najpierw wyznaczono kryteria według których dokonano wyboru fragmentu kodu, kolejne sekcje obejmują jego szczegółowa analiza i jego stopniowe przepisanie na język Rust.

Krótkie podsumowanie wniosków, wyników i ewentualnych proponowanych kolejnych kroków.

Słowa kluczowe: C++, Rust,

Dziedzina nauki i techniki, zgodnie z wymogami OECD: elektrotechnika, elektronika, inżynieria informatyczna

ABSTRACT

A short introduction.

The main part which should be a bit longer. The whole abstract should take approximately a half page.

A short summary of the outcomes, results, and proposed next steps (if any).

Keywords: C++, Rust

Field of science and technology in accordance with OECD requirements: electrical engineering, electronic engineering, information engineering

SPIS TREŚCI

PODSUMOWANIE WYMAGAŃ FORMALNYCH PRACY

0.1. WYKORZYSTANIE GENAI

Oświadczam, iż praca została wytworzona samodzielnie i bez wykorzystania narzędzi GenAI

0.2. AUTORSTWO ROZDZIAŁÓW I PODROZDZIAŁÓW

Tabela 1. Autorstwo poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów

rozdział	**autor**
Streszczenie	Marcin Szmidt
1. Wprowadzenie	TBD
2. Istniejące rozwiązania	Dzmitry Hurynovich
3. Migracja fragmentu kodu	Marcin Szmidt
4. Testowanie i wnioski końcowe	TBD
5. Podsumowanie	Marcin Szmidt

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

ABI – Application Binary Interface

API – Application Programming Interface

FFI – Foreign Function Interface

1. WPROWADZENIE

Tekst rozdziału do napisania w terminie późniejszym.

1.1. CEL PRACY

Celem pracy dyplomowej jest analiza oraz praktyczna realizacja migracji fragmentu programu udostępnionego przez fundację Mozilla z języka C++ do języka Rust w celu oceny korzyści związanych z bezpieczeństwem i nowoczesnością kodu.

1.2. PRZEGLĄD ROZDZIAŁÓW

W rozdziale drugim pracy przedstawiono istniejące rozwiązania dotyczące migracji kodu z języka C++ do języka Rust, ze szczególnym uwzględnieniem projektów realizowanych przez społeczność open source oraz inicjatyw fundacji Mozilla, które ilustrują praktyczne podejścia i narzędzia wspierające ten proces.
W rozdziale trzecim szczegółowo przedstawiono praktyczny proces migracji. Opis rozpoczyna się od omówienia kryteriów, które doprowadziły do wyboru migrowanego fragmentu kodu, a następnie prezentuje jego dogłębną analizę, przyjętą strategię działania, użyte narzędzia oraz finalny, wieloetapowy proces zastępowania kodu C++ kodem Rust.

2. ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIA

W niniejszym rozdziale przedstawiono kilka przykładowych rozwiązań wykorzystywanych w procesach migracji kodu źródłowego z języka C++ do języka Rust, ze szczególnym uwzględnieniem narzędzi automatyzujących ten proces oraz doświadczeń z projektów open source, takich jak te rozwijane przez fundację Mozilla.

2.1. NARZĘDZIA DO AUTOMATYCZNEJ KONWERSJI C++ NA RUST

W procesie migracji kodu z C++ do Rust wykorzystywane są narzędzia wspomagające automatyzację, choć pełna konwersja nadal wymaga ręcznego dostosowania ze względu na różnice semantyczne między językami. Przykładowe narzędzia to:

- **C2Rust** - framework umożliwiający translację kodu C (i częściowo C++) do Rust, wykorzystujący Clang do parsowania kodu źródłowego. Narzędzie generuje niskopoziomowy kod, który wymaga późniejszej refaktoryzacji (np. wprowadzenia bezpiecznych abstrakcji). [1]

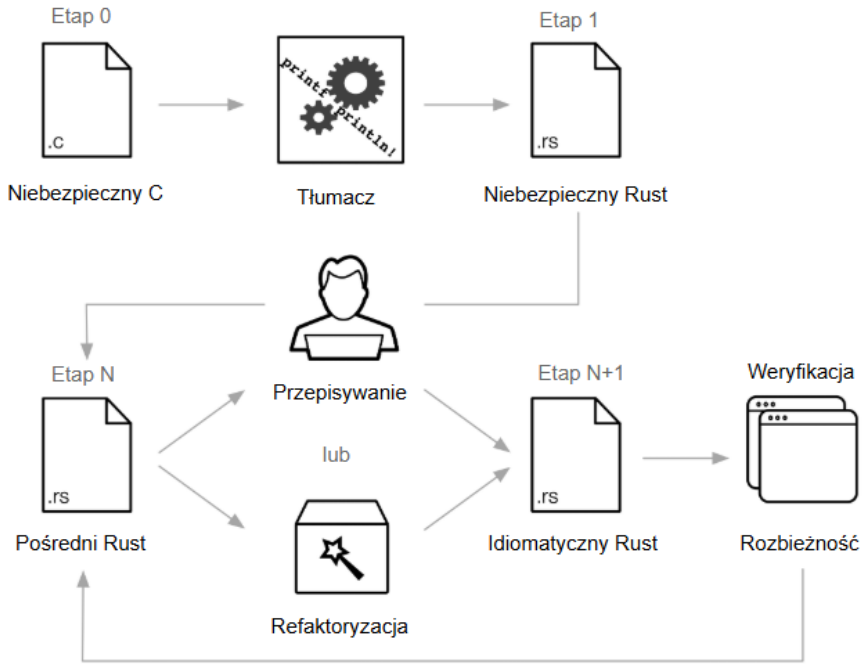
- **Bindgen** - narzędzie rozwijane przez Mozilla, automatycznie generujące powiązania (ang. bindings) kodu Rust do C/C++. [2]

- **Corrode** - eksperymentalny translator C do Rust.[3]

Narzędzia takie jak C2Rust generują kod w języku Rust, który jest oznaczony jako niebezpieczny (ang. unsafe). Nie oznacza to, że kod jest z natury wadliwy, ale że kompilator Rusta nie jest w stanie zweryfikować jego poprawności pod kątem bezpieczeństwa pamięci. W bloku unsafe programista zyskuje dostęp do pięciu dodatkowych operacji, niemożliwych w bezpiecznym Ruście, takich jak dereferencja surowych wskaźników czy wywoływanie niebezpiecznych funkcji. W ten sposób programista przejmuje od kompilatora odpowiedzialność za zapewnienie, że operacje na pamięci są poprawne.[4]

Celem automatycznej translacji jest stworzenie działającego odpowiednika kodu C/C++, a nie wygenerowanie od razu bezpiecznego i idiomatycznego kodu Rust. Najlepszym podejściem jest stopniowe refaktoryzowanie kodu wygenerowanego przez translator, zastępując bloki unsafe bezpiecznymi abstrakcjami, aby w pełni wykorzystać gwarancje bezpieczeństwa, jakie oferuje Rust.[1]

Praca z tymi narzędziami może przebiegać w następujący sposób:



Rys. 2.1. Proces tłumaczenia i przekształcania kodu C na idiomatyczny kod w języku Rust(przygotowano na podstawie[1])

2.2. PROJEKTY OPEN SOURCE MIGRUJĄCE Z C++ DO RUST

- **Firefox (Mozilla)** - stopniowa migracja komponentów (np. silnik CSS Stylo), z wykorzystaniem Rust do poprawy bezpieczeństwa pamięci. Mozilla opracowała też RLBox, narzędzie do sandboxowania niebezpiecznego kodu C++.[5]

- **Servo** - eksperymentalna przeglądarka napisana całkowicie w Rust, której fragmenty (np. WebRender) zostały zintegrowane z Firefoxem.[6]

- **Deno** - (JavaScript lub TypeScript runtime) - używa Rust dla wydajnych modułów, podczas gdy core jest w C++.[7]

- **Linux Kernel** - od wersji 6.1 wspiera Rust jako drugi język systemowy, co umożliwia migrację wybranych modułów.[8]

Projekty te pokazują, że migracja często odbywa się modularnie, z zachowaniem interoperacyjności przez Foreign Function Interface(FFI).

2.3. MIGRACJA KOMPONENTU STYLO (CSS ENGINE) Z C++ DO RUST W PROJEKCIE FIREFOX

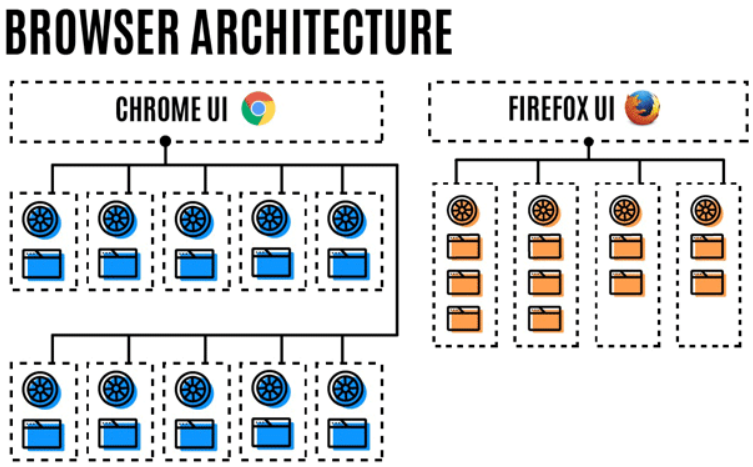
Przeglądarka Firefox, rozwijana przez fundację Mozilla, od wielu lat stanowi jedno z głównych środowisk testowych i produkcyjnych dla języka Rust. W ramach projektu *Quantum* zainicjowano serię modernizacji komponentów Firefox, której celem było poprawienie wydajności i bezpieczeństwa. Jednym z najbardziej znaczących efektów tej inicjatywy była migracja silnika CSS, znanego jako *Stylo* [9], z języka C++ do Rust. To przedsięwzięcie stanowi wzorcowy przypadek efektywnej migracji komponentu systemowego o wysokim stopniu złożoności.

2.3.1. PROJEKT STYLO

Silnik CSS odpowiada za przetwarzanie stylów arkuszy i ich stosowanie do drzewa DOM (Document Object Model) w czasie renderowania strony. Poprzedni silnik (*Gecko*), napisany w C++, miał ograniczoną możliwość wydajnej równoległości i był narażony na typowe problemy z zarządzaniem pamięcią. Rust, jako język systemowy bezpieczny pamięciowo, oferował realną szansę na poprawę niezawodności i skalowalności komponentu CSS[9].

Migracja Stylo została poprzedzona fazą eksperymentalną w ramach projektu Servo - nowej przeglądarki pisanej od podstaw w Rust. Na podstawie rezultatów z Servo, komponent *WebStylo* został przekształcony i zaadaptowany do Firefox jako *Stylo*.

Na rysunku 2.2 przedstawiono porównanie architektury wieloprocesowej w Chrome z hybrydowym podejściem zastosowanym w Firefox 57 (Quantum).



Rys. 2.2. Architektura Chrome w porównaniu do Firefox (na podstawie Firefox 57 "Quantum") [10]

Schemat pokazuje, że Chrome izoluje każdą kartę w osobnym procesie, podczas gdy Firefox Quantum grupuje karty w procesach treści, ograniczając tym samym zużycie pamięci.

Klasyczna architektura wieloprocesowa (Chrome):

- Wyspecjalizowane procesy: oddzielne dla każdej karty (tab), rozszerzeń (extensions) i GPU,
- Izolacja przez nadmiar: każda karta = nowy proces (wysokie zużycie RAM),
- Hierarchia kontrolna: proces główny (browser) zarządza procesami potomnymi.

Podejście Quantum (Firefox):

- Hybrydowy model procesów:
  - ⋆ jeden główny proces zarządzający (Parent),
  - ⋆ procesy treści (Content) współdzielone między kartami,
  - ⋆ dedykowane procesy dla krytycznych komponentów (GPU, Network),
- Optymalizacja zasobów:
  - ⋆ współdzielenie pamięci dla podobnych stron,
  - ⋆ dynamiczne alokowanie procesów wg potrzeb,

- Modułowość: wymienne komponenty i lepsza skalowalność.

Kluczowe komponenty nowej architektury:

- **Quantum Flow**
  - ⋆ Priorytetyzacja zadań: System kolejek oparty o krytyczność operacji
  - ⋆ Pipeline renderingu: Równoległe przetwarzanie etapów wyświetlania strony
  - ⋆ Przeplot wątków: Wykorzystanie wszystkich rdzeni CPU
- **Quantum CSS**
  - ⋆ Równoległe drzewo stylów: Podział pracy na niezależne fragmenty
  - ⋆ Cache współdzielony: Jedna kopia stylów dla identycznych elementów
  - ⋆ Inkrementalne aktualizacje: Minimalizacja przeróbek przy dynamicznych zmianach
- **Quantum Render (WebRender)**
  - ⋆ Kompozytowanie na GPU: Traktowanie strony jako sceny 3D
  - ⋆ Listy wyświetleń: Optymalizacja przekazywania danych do karty graficznej
  - ⋆ Wektorowy pipeline: Bezstratne skalowanie elementów UI

2.3.2. PRZEBIEG MIGRACJI I INTEGRACJA STYLO Z FIREFOX

Stylo został zaprojektowany jako komponent kompatybilny z istniejącym systemem budowania Firefoksa. Umożliwiło to tzw. *dual compilation* – kompilowanie części przeglądarki w Rust, a pozostałych w C++. Komunikacja między językami odbywa się poprzez FFI (Foreign Function Interface), co wymagało stworzenia bezpiecznych interfejsów i utrzymania zgodności ABI.

Migracja przebiegała etapami, zaczynając od funkcji odpowiedzialnych za selekcję stylów, a następnie przekształcając kolejne moduły[11]. Każdy etap podlegał intensywnemu testowaniu, zarówno funkcjonalnemu, jak i porównawczemu z poprzednią implementacją C++. Wprowadzenie Rust pozwoliło na równoległe przetwarzanie drzew stylów, co znacząco poprawiło wydajność renderowania.

2.3.3. REZULTATY I ZNACZENIE PROJEKTU STYLO

Migracja silnika Stylo do Rust przyniosła korzyści:

- **Wydajność:** znaczący wzrost wydajności przeglądarki, szczególnie w obszarach dotyczących równoległego stylowania złożonych drzew DOM,
- **Bezpieczeństwo:** redukcja błędów pamięci typowych dla C++,
- **Inspiracja:** projekt stał się wzorem dla dalszych migracji komponentów Firefoksa.

Stylo jest wyłącznym rozwiązaniem Mozilla, rozwijanym tylko dla przeglądarek Servo i Firefox. Od wersji Firefox 57 (Quantum) zastąpił tradycyjny silnik Gecko CSS, wykorzystując architekturę zapoczątkowaną w projekcie Servo. Stylo działa jako hybrydowy silnik - w Firefox wykorzystuje zarówno komponenty Rust (Servo) jak i C++ (Gecko), podczas gdy w Servo istnieje jako czyste rozwiązanie w Rust.

- 80% redukcji błędów bezpieczeństwa pamięci

Tabela 2.1. Porównanie tradycyjnych silników CSS i Stylo (Quantum CSS)

Cecha	Gecko (C++)	Stylo (Rust)
Przebieg stylowania	Sekwencyjny	Równoległy
Bezpieczeństwo	Manualne zarządzanie pamięcią	Automatyczne (Rust)
Wydajność	1x	Do 18× na wielordzeniowych CPU
Kompatybilność	Wszystkie przeglądarki	Tylko Firefox/Servo

- 2-4× szybsze stylowanie stron
- 30% mniejsze zużycie RAM przy złożonych stylach

Projekt Stylo dowodzi, że migracja nawet bardzo złożonych komponentów systemowych jest możliwa i opłacalna, pod warunkiem dobrej integracji narzędzi, testów oraz wsparcia ze strony zespołu inżynierów. Stylo pozostaje jednym z flagowych przypadków użycia Rust w produkcyjnym środowisku i fundamentem sukcesu projektu Quantum.

2.3.4. SUKCES RYNKOWY FIREFOX QUANTUM

Wprowadzenie silnika Stylo w Firefox 57 (*Quantum*) w listopadzie 2017 roku stanowiło punkt zwrotny dla przeglądarki Mozilli:

- Firefox odzyskał 15% użytkowników w ciągu 6 miesięcy od premiery,
- powstało ponad 100 nowych rozszerzeń stworzonych specjalnie dla Quantum,
- nagroda *WebAward* dla najszybszej przeglądarki 2018.

2.3.5. WNIOSKI PROJEKTU STYLO

Przykład migracji Stylo pokazuje, że sukces transformacji kodu do Rust zależy nie tylko od możliwości technicznych, ale również od przyjętej strategii organizacyjnej i zdolności utrzymania kompatybilności z istniejącą bazą kodu. Mozilla, jako pionier wykorzystania Rust w praktyce, wyznaczyła kierunek rozwoju dla innych organizacji poszukujących nowoczesnych metod poprawy jakości oprogramowania systemowego.

2.4. EKSPERYMENTALNA PRZEGLĄDARKA SERVO

Servo to eksperymentalna przeglądarka internetowa rozwijana przez fundację Mozilla, napisana całkowicie w języku Rust. Głównym celem projektu było stworzenie nowoczesnego silnika przeglądarkowego, który wykorzystuje zalety Rust do poprawy wydajności i niezawodności. Servo stał się poligonem doświadczalnym dla wielu innowacyjnych rozwiązań, które później zintegrowano z Firefoxem[6].

2.4.1. ARCHITEKTURA I KLUCZOWE KOMPONENTY SERVO

Servo został zaprojektowany z myślą o modularności i równoległym przetwarzaniu. Jego architektura obejmuje:

- Silnik renderowania *WebRender*: wykorzystuje GPU do komponowania stron, traktując je jako sceny 3D,
- Silnik stylów *Stylo*: równoległe przetwarzanie CSS, które później zostało włączone do Firefoxa,

- Parser HTML i DOM: zoptymalizowany pod kątem bezpieczeństwa i wydajności,
- Wsparcie dla WebAssembly: umożliwia wykonywanie wysokowydajnego kodu w przeglądarce.

2.4.2. PRZEBIEG ROZWOJU I INTEGRACJA SERVO Z FIREFOXEM

Projekt Servo rozpoczął się w 2012 roku jako eksperyment mający na celu przetestowanie możliwości Rust w kontekście przeglądarki. W miarę rozwoju kluczowe komponenty Servo, takie jak *WebRender* i *Stylo*, zostały zintegrowane z Firefoxem w ramach projektu *Quantum*. Dzięki temu Firefox zyskał nowoczesne funkcje, zachowując jednocześnie kompatybilność z istniejącym kodem C++[5].

2.4.3. REZULTATY I ZNACZENIE PROJEKTU SERVO

Servo przyniósł następujące korzyści:

- **Wydajność:** zastosowanie równoległego przetwarzania znacznie przyspieszyło renderowanie stron,
- **Bezpieczeństwo:** brak błędów pamięciowych (typowych dla C++),
- **Innowacje:** Servo stał się inspiracją dla innych projektów wykorzystujących Rust (np. Deno).

2.4.4. WNIOSKI SERVO

Projekt Servo pokazał, że Rust nadaje się do budowy złożonych systemów, takich jak przeglądarki internetowe. Jego modularność i interoperacyjność z C++ umożliwiły stopniowe wdrażanie nowych rozwiązań w istniejących projektach, co jest kluczowe dla dużych organizacji.

2.5. ŚRODOWISKO WYKONAWCZE DENO DLA JAVASCRIPT, TYPESCRIPT I WEBASSEMBLY

Deno[7] to nowoczesne środowisko wykonawcze dla JavaScript, TypeScript i WebAssembly. Deno zostało napisane w Rust, co zapewnia mu wysoką wydajność i bezpieczeństwo. Głównym celem projektu było rozwiązanie problemów Node.js, takich jak złożony system zarządzania zależnościami i brak wsparcia dla TypeScript out-of-the-box.

2.5.1. ARCHITEKTURA I KLUCZOWE KOMPONENTY DENO

Deno opiera się na następujących komponentach:

- Rust jako podstawa: większość funkcji systemowych jest zaimplementowana w Rust,
- Modułowy system bezpieczeństwa: Deno domyślnie uruchamia kod w sandboxie, co minimalizuje ryzyko zagrożeń,
- Wsparcie dla WebAssembly: umożliwia wykonywanie kodu napisanego w innych językach,
- Silnik V8: ten sam silnik JavaScript używany w Chrome i Node.js.

Deno wykorzystuje język Rust do implementacji niskopoziomowych funkcji, takich jak operacje wejścia/wyjścia (I/O) czy zarządzanie procesami. Komunikacja między JavaScriptem a Rust odbywa się za pośrednictwem interfejsu Foreign Function Interface (FFI), co umożliwia zachowanie wysokiej wydajności przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa.

2.5.2. REZULTATY I ZNACZENIE PROJEKTU DENO

Deno przyniósł następujące korzyści:

- **Wydajność:** dzięki Rust Deno osiąga lepszą wydajność niż Node.js (w niektórych zadaniach),
- **Bezpieczeństwo:** sandboxing i domyślne ograniczenia minimalizują ryzyko ataków,
- **Nowoczesne funkcje:** wsparcie dla TypeScript i WebAssembly out-of-the-box.

2.5.3. WNIOSKI DENO

Deno jest przykładem udanego połączenia JavaScript i Rust, pokazując, że migracja wybranych komponentów do Rust może przynieść znaczące korzyści w zakresie wydajności i bezpieczeństwa.

2.6. INICJATYWY MOZILLA WSPIERAJĄCE MIGRACJĘ

Mozilla, jako jeden z głównych fundatorów rozwoju Rust, prowadzi projekty ułatwiające przejście z C++:

- **Oxidization** - wewnętrzny program Mozilla mający na celu identyfikację komponentów Firefox, których migracja do Rust przyniesie największe korzyści bezpieczeństwa[12],
- **CXX** - biblioteka do bezpiecznej interoperacyjności C++ i Rust, minimalizująca ryzyko błędów na styku języków[13],
- **Rust-C++ dual compilation** - wsparcie w build systemie Firefox dla mieszanych projektów[14].

Działania te pokazują, że migracja w dużych projektach wymaga nie tylko narzędzi, ale też wsparcia organizacyjnego i rozwoju oprogramowania.

3. MIGRACJA FRAGMENTU KODU Z JĘZYKA PROGRAMOWANIA C++ NA JĘZYK RUST

Niniejszy rozdział szczegółowo opisuje proces migracji wybranego komponentu z języka programowania C++ na język Rust. Zgodnie z założeniami projektu, poszukiwania odpowiedniego fragmentu kodu ograniczono do oprogramowania rozwijanego przez Fundację Mozilla, co w praktyce skierowało uwagę na bazę kodu przeglądarki Firefox. Główną motywacją dla podjętych działań jest dążenie do poprawy bezpieczeństwa pamięci i ogólnej stabilności aplikacji, co jest jednym ze strategicznych celów wykorzystania języka Rust w dojrzałych projektach. W dalszej części rozdziału przedstawiono kolejne etapy pracy: począwszy od kryteriów, które zadecydowały o wyborze komponentu, przez jego szczegółową analizę, aż po opis przyjętej strategii migracji, wykorzystanych narzędzi i finalnego przebiegu implementacji.

3.1. KRYTERIA WYBORU FRAGMETU KODU DO MIGRACJI

Podczas wyboru fragmentu kodu kierowaliśmy się kilkoma kluczowymi kryteriami:

- **Wysoki potencjał poprawy bezpieczeństwa:**
  - ⋆ **Zarządznie pamięcią:** Kandydat do migracji powinien operować w obszarze, w którym błędy zarządzania pamięcią, typowe dla języka C++, mogą prowadzić do poważnych luk w zabezpieczeniach. Przykładem może być praca z surowymi danymi, takimi jak zrzuty pamięci.
  - ⋆ **Zastąpienie przestarzałej zależności:** Komponent opiera się na zewnętrznej bibliotece C++, uznawanej za przestarzałą lub posiadającej nowocześniejszy i bezpieczniejszy odpowiednik w języku Rust.
- **Wykonalność i modularność:** Fragment kodu musiał być na tyle odizolowany, aby jego migracja nie pociągała za sobą konieczności przepisywania znacznych części przeglądarki. Biblioteka o jasno zdefiniowanym API i konkretnym zadaniu ułatwia proces zastępowania implementacji bez naruszania reszty systemu.
- **Zgodność ze strategicznymi celami Fundacji Mozilla:** Wybrany komponent powinien wpisywać się w długofalową strategię Mozilli polegającą na stopniowym zwiększaniu ilości kodu napisanego w Rust w celu poprawy bezpieczeństwa i wydajności przeglądarki. Zgodnie z incjatywą "Oxidation". [12]

3.2. WYBRANY FRAGMENT KODU - BIBLIOTEKA DYNAMICZNA TESTCRASHER

Pierwszym etapem prac było zidentyfikowanie w kodzie źródłowym należącym do fundacji Mozilla odpowiedniego kandydata do migracji, który spełniałby wcześniej zdefiniowane kryteria. W procesie tym wykorzystano dwa narzędzia. Pierwszym z nich był Searchfox, narzędzie które indeksuje kod źródłowy oraz umożliwia szybkie wyszukiwanie kodu i plików źródłowych. Drugim narzędziem była Bugzilla, system śledzenia zadań Mozilli, służący do zarządzania zgłoszeniami błędów, propozycjami zmian i zadaniami deweloperskimi. Przy użyciu tych narzędzi oraz na podstawie powyżej opisanych kryteriów do migracji została wybrana wewnętrzna biblioteka testcrasher.dll. Na decyzję dodatkowo wpłynął fakt istnienia w systemie śledzenia błędów Mozilli zadania o numerze Bug 1798688[15], które jawnie definiuje cel jako "Replace breakpad with

rust-minidump in the testcrasher library"[1].

3.2.1. CEL BIBLIOTEKI TESTCRASHER

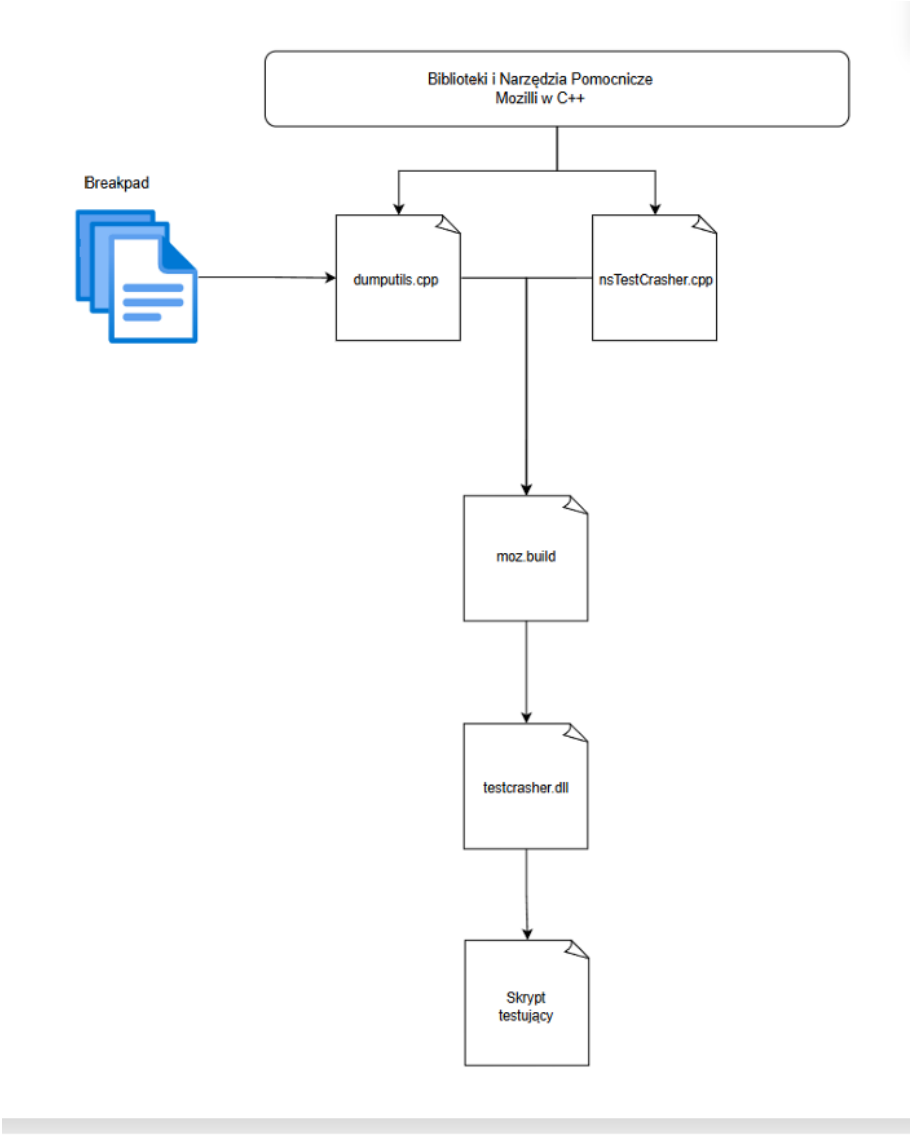
Biblioteka dynamiczna testcrasher jest narzędziem deweloperskim które używane jest jako tester działania komponentu Crashreporter - wewnętrznego mechanizmu przeglądarki Firefox, odpowiedzialnego za zbieranie i raportowanie informacji o awariach aplikacji. Działa poprzez wywoływanie awarii procesu a następnie analizę pliku zrzutu pamięci (.dmp) który został wytworzony przez moduł Crashreporter. Jej działanie skupia się na dwóch obszarach:

- **Analiza zrzutu pamięci:** Za tą część odpowiada plik dumputils.cpp. API tej części zawiera:
  - ⋆ **DumpHasStream()** - Zwraca wartość `true`, jeśli dany zrzut pamięci zawiera strumień określonego typu.
  - ⋆ **DumpHasInstructionPointerMemory()** - Zwraca wartość `true`, jeśli dany zrzut pamięci zawiera region pamięci który zawiera wskaźnik instrukcji z rekordu wyjątku.
  - ⋆ **DumpCheckMemory()** - Sprawdza, czy zrzut pamięci zawiera region rozpoczynający się pod adresem określonym w pliku `crash-addr` w bieżącym katalogu roboczym. Region ten musi mieć długość 32 bajtów i zawierać wartości od 0 do 31 w porządku rosnącym.
- **Wywoływanie awarii procesu:** Za tą część odpowiada plik nsTestCrasher.cpp. API tej części zawiera:
  - ⋆ **Crash()**
  - ⋆ **EnablePHC()**
  - ⋆ **GetWin64CFITestFnAddrOffset()**
  - ⋆ **TryOverrideExceptionHandler()**
  - ⋆ **SaveAppMemory()**

3.2.2. ARCHITEKTURA BIBLIOTEKI TESTCRASHER PRZED MIGRACJĄ

Rdzeniem biblioteki dynamicznej testcrasher są dwa pliki źródłowe C++: dumputils.cpp i nsTestCrasher.cpp. Moduł dumputils.cpp wykorzystuje do swojego działania zewnętrzną bibliotekę Google Breakpad. Jest to projekt open-source napisany w C++, dostarczający API do obsługi plików minidump. Jednym z głównych zadań tej pracy jest pozbycie się tej zależności.
Kod źródłowy biblioteki korzysta w niewielkim stopniu z kluczowych mechanizmów i konwencji specyficznych dla bazy kodu Firefoksa. Powoduje to że migracja kodu z Języka C++ na Język Rust nie będzie wiązać się z przepisywaniem/modyfikacjami kodu poza biblioteką testcrasher.
System budowania Mozilli, w przypadku biblioteki testcrasher stosuje metodę gdzie pliki .cpp są łączone w jedną jednostkę kompilacji w celu przyspieszenia procesu. Następnie skompilowany kod obiektowy jest linkowany w ostateczną bibliotekę dynamiczną testcrasher.dll.
Głównym sposobem użycia biblioteki sa zautomatyzowane testy, najczęściej pisane w JavaScripcie i uruchamiane w specjalnym frameworku testowym Mozilli(xpcshell-test). Skrypt testowy wywołuje wyeksportowaną funkcję z testcrasher.dll w celu spowodowania awarii i sprawdzenia czy moduł Crash Reporter wygenerował poprawny plik zrzutu pamięci.

[1] Zastąpienie breakpad przez rust-minidump w blibliotece testcrasher



Rys. 3.1. Architektura biblioteki testcrasher - opracowanie własne

3.3. STRATEGIA MIGRACJI I WYKORZYSTANE NARZĘDZIA

Po wyborze biblioteki testcrasher jako fragmentu kodu do migracji na język Rust kolejnym ważnym aspektem był dobór odpowiedniej strategii oraz narzędzi. Obrane podejście musiało uwzględniać specyfikę pracy z dużą bazę kodu jaką, jest projekt Mozilla Firefox. Priorytetem stało się zatem zapewnienie bezpieczeństwa samego procesu migracji, zdefiniowanego jako brak regresji - istniejące i działające funkcjonalności nie zostaną uszkodzone przez wprowadzane zmiany podczas procesu migracji oraz zachowanie stabilności binarnej (ABI zgodne z językiem C). Aby to osiągnąć, każda nowo napisana w Rust funkcja była natychmiast integrowana i weryfikowana za pomocą istniejącego zestawu testów automatycznych, co gwarantowało jej pełną kompatybilność z resztą systemu.

3.3.1. STRATEGIA MIGRACJI BIBLIOTEKI TESTCRASHER

Przyjęta strategia migracji opiera się na stopniowym i iteracyjnym zastępowaniu kodu C++ kodem Rust, przy jednoczesnym zachowaniu w pełni kompatybilnego publicznego API. Fundamentalnym założeniem jest, że z perspektywy klienta biblioteki, którym w tym przypadku są skrypty

testujące, proces migracji jest całkowicie niewidoczny. Wymaga to utrzymania stabilnego interfejsu binarnego aplikacji (ABI) zgodnego z językiem C. Dzięki temu poszczególne funkcje, a docelowo całe moduły zaimplementowane w C++, mogą być zastępowane ich odpowiednikami w Rust, a następnie weryfikowane za pomocą istniejącego zestawu testów. Proces migracji został zaplanowany w następujących, logicznie następujących po sobie etapach:

1. **Konfiguracja procesu budowania:** Pierwszym krokiem jest modyfikacja systemu budowania Mozilli (moz.build) w celu umożliwienia współistnienia kodu C++ i Rust. Polega to na zdefiniowaniu reguł kompilacji dla nowego kodu Rust do postaci biblioteki statycznej (rust_testcrasher.lib). Następnie, ta biblioteka statyczna jest dołączana do finalnej biblioteki dynamicznej (testcrasher.dll), a jej publiczne symbole są eksportowane w taki sposób, aby zachować zgodność z oryginalnym API.

2. **Iteracyjna migracja logiki analitycznej (dumputils.cpp):** Proces właściwej migracji rozpoczyna się od komponentów analitycznych. Poszczególne funkcje odpowiedzialne za parsowanie i analizę plików minidump są reimplementowane w języku Rust, wykorzystując do tego celu crate rust-minidump. Po zaimplementowaniu każdej funkcji w Rust, jej oryginalna wersja w C++ jest usuwana, a nowa implementacja zostaje zintegrowana w procesie budowania.

3. **Migracja logiki inicjującej awarie (nsTestCrasher.cpp):** Po pomyślnej weryfikacji poprawności działania modułu analitycznego, analogiczny proces jest stosowany do kodu odpowiedzialnego za inicjowanie stanów awaryjnych. Funkcje C++ są zastępowane przez ich odpowiedniki w Rust, które wykorzystują bibliotekę sadness-generator.

4. **Finalizacja i czyszczenie konfiguracji:** Po zakończeniu migracji całości kodu funkcjonalnego do języka Rust, oryginalne pliki źródłowe C++ (dumputils.cpp oraz nsTestCrasher.cpp) są ostatecznie usuwane z drzewa projektu. Konfiguracja w pliku moz.build jest upraszczana, eliminując reguły dotyczące kompilacji C++ dla tej biblioteki.

Dzięki takiemu podejściu, w dowolnym momencie procesu migracji biblioteka pozostaje w pełni funkcjonalna, zawierając mieszankę działającego kodu C++ i Rust.

3.3.2. WYKORZYTANE NARZĘDZIA I TECHNOLOGIE

Do przeprowadzenia migracji wybranego fragmentu kodu użyto:

- **Biblioteki Rust(Crate):**
  - ⋆ **rust-minidump:** Kolekcja bibliotek służąca do odczytu i analizy plików zrzutu pamięci, modelowana na podstawie Google Breakpad[16]. W celu przeprowadzenia migracji użyta została biblioteka minidump-processor.

3.4. MIGRACJA CZĘŚCI ODPOWIEDZIALNEJ ZA ANLIZĘ ZRZUTÓW PAMIĘCI

Proces migracji komponentu odpowiedzialnego za analizę zrzutów pamięci, zaimplementowanego pierwotnie w pliku dumputils.cpp, rozpoczęto od przygotowania środowiska deweloperskiego. Celem było umożliwienie kompilacji kodu Rust i jego integracji z istniejącą, opartą na C++, strukturą biblioteki testcrasher.

3.4.1. PRZYGOTOWANIE ŚRODOWISKA

Integracja nowego kodu w języku Rust z rozbudowanym ekosystemem przeglądarki Firefox wymagała przeprowadzenia kilku operacji konfiguracyjnych w systemie budowania.

Pierwszym krokiem było zdefiniowanie nowego crate - podstawowej jednostki kompilacji i dystrybucji w ekosystemie Rust. W tym crate docelowo miała znaleźć się cała nowa implementacja funkcjonalności biblioteki testcrasher.
Następnie, nowo utworzony crate musiał zostać włączony do głównego "workspace"projektu Firefox. Workspace w kontekście narzędzia Cargo (menedżera pakietów Rust) to zbiór crate'ów, które są zarządzane i kompilowane wspólnie. Dodanie testcrasher do tej struktury formalnie uczyniło go częścią przeglądarki.
Kolejnym krokiem było zsynchronizowanie zależności dla całego projektu. Wykonano to za pomocą polecenia `cargo update -p workspace-hack`. Polecenie to aktualizuje plik Cargo.lock dla całego workspace, zapewniając spójność wersji wszystkich zależności i umożliwiając systemowi budowania poprawne przetwarzanie nowego komponentu.
Ostatnim, etapem było zmodyfikowanie pliku konfiguracyjnego systemu budowania - moz.build w folderze testcrasher oraz dodanie nowego pliku moz.build w folderze zawierającym kod źródłowy Rust. Pliki moz.build, są skryptami w języku Python, jednak ich działanie jest określone poprzez specjalne zasady określone przez Mozille. Ich celem jest określienie funkcjonalności plików w folderze w którym się znajdują[17]. W przypadku biblioteki testcrasher plik moz.build po modyfikacjach wyglądał następująco:

```
# -*- Mode: python; indent-tabs-mode: nil; tab-width: 40 -*-
# vim: set filetype=python:
# This Source Code Form is subject to the terms of the Mozilla Public
# License, v. 2.0. If a copy of the MPL was not distributed with this
# file, You can obtain one at http://mozilla.org/MPL/2.0/.
FINAL_TARGET = "_tests/xpcshell/toolkit/crashreporter/test"

XPCSHELL_TESTS_MANIFESTS += ["unit/xpcshell.toml", "unit_ipc/xpcshell.toml"]
if CONFIG["MOZ_PHC"]:
    XPCSHELL_TESTS_MANIFESTS += ["unit/xpcshell-phc.toml", "unit_ipc/xpcshell-phc.toml"]

TEST_DIRS += [
    "gtest",
]

OS_LIBS += [
    "bcrypt",
    "synchronization",
]

DIRS+= ["rust"]

USE_LIBS += [
    "rust_testcrasher",
]

USE_STATIC_MSVCRT = True

BROWSER_CHROME_MANIFESTS += ["browser/browser.toml"]

UNIFIED_SOURCES += [
    "nsTestCrasher.cpp",
]

SOURCES += [
    "ExceptionThrower.cpp",
]

if CONFIG["OS_TARGET"] == "WINNT" and CONFIG["TARGET_CPU"] == "x86_64":
    if CONFIG["CC_TYPE"] not in ("gcc", "clang"):
        SOURCES += [
            "win64UnwindInfoTests.asm",
        ]

```

Rys. 3.2. Zawartość pliku konfiguracyjnego moz.build budujący biblioteke testcrasher - etap 1 cz.1

```
45 if CONFIG["CC_TYPE"] == "clang-cl":
46     SOURCES["ExceptionThrower.cpp"].flags += [
47         "-Xclang",
48         "-fcxx-exceptions",
49     ]
50 else:
51     SOURCES["ExceptionThrower.cpp"].flags += [
52         "-fexceptions",
53     ]
54
55 if CONFIG["MOZ_PHC"]:
56     DEFINES["MOZ_PHC"] = True
57
58 GeckoSharedLibrary("testcrasher", linkage="dependent")
59
60 DEFINES["SHARED_LIBRARY"] = "%s%s%s" % (
61     CONFIG["DLL_PREFIX"],
62     LIBRARY_NAME,
63     CONFIG["DLL_SUFFIX"],
64 )
65
66 TEST_HARNESS_FILES.xpcshell.toolkit.crashreporter.test.unit += [
67     "CrashTestUtils.sys.mjs"
68 ]
69 TEST_HARNESS_FILES.xpcshell.toolkit.crashreporter.test.unit_ipc += [
70     "CrashTestUtils.sys.mjs"
71 ]
72
73 include("/toolkit/crashreporter/crashreporter.mozbuild")
74
75 NO_PGO = True
76
77 DEFFILE = "testcrasher.def"
```

Rys. 3.3. Zawartość pliku konfiguracyjnego moz.build budujący biblioteke testcrasher - etap 1 cz.2

Modyfikacje dokonane w pliku moz.build umożliwiają współistnienie kodu C++ oraz Rust w ramach finalnej biblioteki testcrasher.dll. Konfiguracja ta instruuje system budowania, aby dołączył rust_testcrasher.lib - bibliotekę statyczną zawierającą skompilowany kod Rust do finalnej biblioteki testcrasher.dll. Szczegółowa lista zmian wraz z ich celem znajduje się w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Opis zmian w pliku konfiguracyjntm moz.build budującym biblioteke testcrasher - etap 1

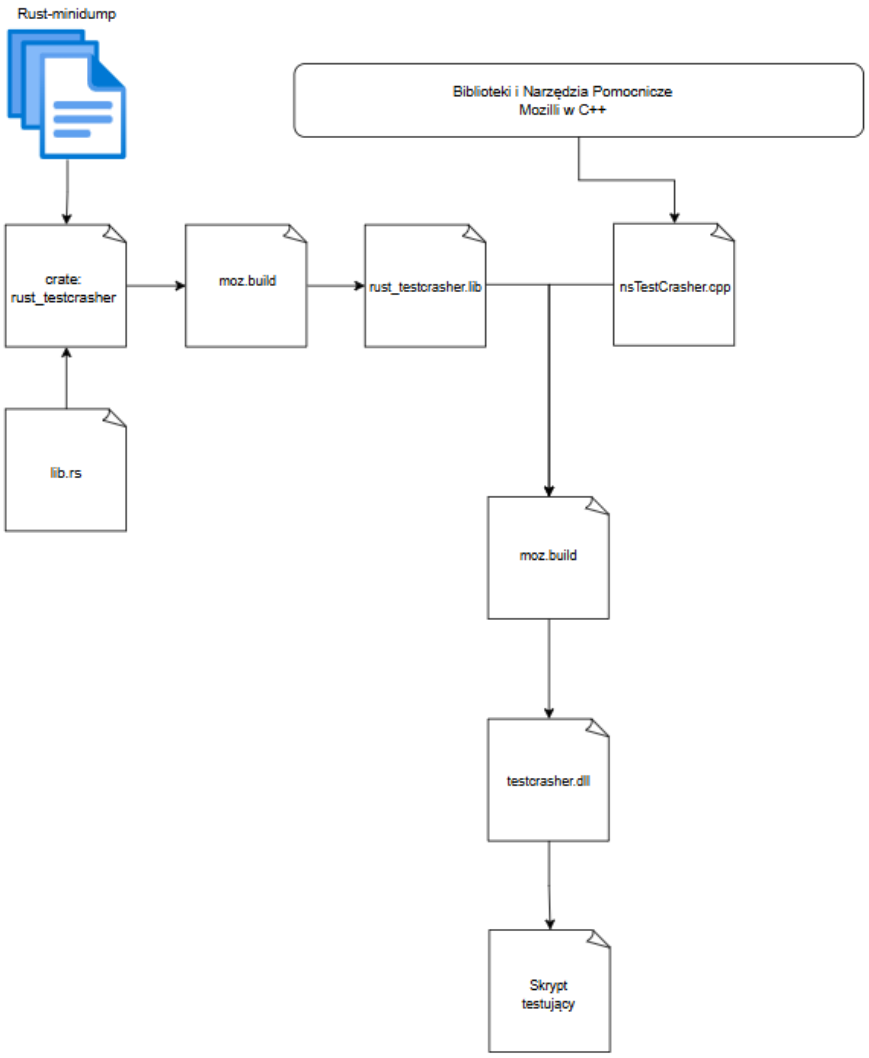
Element	Cel zmiany
DIRS	Wskazanie lokalizacji statycznej biblioteki rust_testcrasher
UNIFIED_SOURCES	Usunięcie przemigrowanego dumputils.cpp oraz zależności od Google Breakpad
DEFFILE	Definiuje symbole eksportowane z biblioteki statycznej rust_testcrasher
USE_STATIC_MSVCRT	Flaga użyta aby kod C++, jak i Rust używał tej samej, statycznej wersji biblioteki wykonawczej MSVC
USE_LIBS	Wskazanie linkerowi biblioteki statycznej rust_testcrasher aby skompilowany kod z Rust został dodany do biblioteki finalnej testcrasher.dll
OS_LIBS	Dodanie bibliotek systemowych potrzebnych do działania bibliotece rust_testcrasher

3.4.2. REIMPLEMETACJA CZĘŚCI ODPOWIEDZIALNEJ ZA ANALIZĘ W JĘZYKU RUST

3.5. MIGRACJA FRAGMENTU ODPOWIEDZIALNEGO ZA WYWOŁYWANIE AWARII PROCESU

Kolejny etap prac obejmował migrację fragmentu kodu którego zadaniem było wywoływanie awarii procesu, logika za to odpowiedzialna orginalnie była zaimplementowana z pliku nsTestCrasher.cpp. Ta część migracji w odróżnieniu od poprzedniej nie zakłada zastąpienia zależności napisanej w języku C++. Jako że środowisko budowania zostało już wcześniej przygotowane do obsługi kodu Rust, prace mogły skupić się wyłącznie na implementacji.

3.5.1. ARCHITEKTURA BIBLIOTEKI TESTCRASHER PO MIGRACJI CZĘŚCI ODPOWIEDZIALNEJ ZA ANALIZĘ PLIKÓW ZRZUTU PAMIĘCI



Rys. 3.4. Architektura biblioteki testcrasher po 2 etapie - opracowanie własne

4. TESTOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Tekst do napisania w terminie późniejszym.

5. PODSUMOWANIE

WYKAZ LITERATURY

[1] Galois, Inc. and Immunant, Inc. *C2Rust Manual*. https://c2rust.com/manual. 2023.

[2] The Rust Programming Language. *The bindgen User Guide*. https://rust-lang.github.io/rust-bindgen. 2025.

[3] J. Sharp. *Corrode: C to Rust Translator*. https://github.com/jameysharp/corrode. 2021.

[4] rust-lang. *Unsafe Rust - The Rust Programming Language - Rust Documentation*. https://doc.rust-lang.org/book/ch20-01-unsafe-rust.html. 2025.

[5] Mozilla Foundation. *Quantum/Stylo Project*. https://wiki.mozilla.org/Quantum/Stylo. 2017.

[6] Servo Project. *Servo*. https://github.com/servo/servo. 2025.

[7] Deno Team. *Deno Runtime Documentation*. https://docs.deno.com/runtime/. 2024.

[8] Linux Kernel Developers. *Rust in the Linux Kernel – Quick Start*. https://docs.kernel.org/rust/quick-start.html. 2024.

[9] L. Clark. *Inside a super fast CSS engine: Quantum CSS (aka Stylo)*. https://hacks.mozilla.org/2017/08/inside-a-super-fast-css-engine-quantum-css-aka-stylo. 2017.

[10] R. Ayeshani. *How web browsers use process & Threads ? (Firefox VS Chrome)*. https://randiayeshani.medium.com/how-web-browsers-use-process-threads-305b5a2164d4. 2020.

[11] Wikipedia contributors. *Quantum/Stylo*. https://wiki.mozilla.org/Quantum/Stylo. 2018.

[12] Mozilla Foundation. *Oxidation Initiative*. https://wiki.mozilla.org/Oxidation. 2020.

[13] CXX Project. *CXX: Safe FFI between Rust and C++*. https://cxx.rs/. 2024.

[14] Mozilla Build Team. *Rust in Firefox Build System*. https://firefox-source-docs.mozilla.org/build/buildsystem/rust.html. 2024.

[15] G. Svelto. *Replace breakpad with rust-minidump in the testcrasher library*. https://bugzilla.mozilla.org/show_bug.cgi?id=1798688. 2022.

[16] rust-minidump. *rust-minidump*. https://github.com/rust-minidump/rust-minidump. 2025.

[17] Mozilla Foundation. *moz.build Files*. https://firefox-source-docs.mozilla.org/build/buildsystem/mozbuild-files.html. 2025.

WYKAZ RYSUNKÓW

WYKAZ TABEL