



**Politechnika  
Śląska**

## **PROJEKT INŻYNIERSKI**

Język programowania dla mikrokontrolerów AVR

**Maciej WALERYN**

Nr albumu: 296441

**Kierunek:** Informatyka

**Specjalność:** Grafika komputerowa

**PROWADZĄCY PRACĘ**

**dr hab. inż. Krzysztof Simiński**

**KATEDRA Algorytmiki i Oprogramowania**

**Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki**

**OPIEKUN, PROMOTOR POMOCNICZY**

**⟨stopień naukowy imię i nazwisko⟩**

**Gliwice 2025**



## **Tytuł pracy**

Język programowania dla mikrokontrolerów AVR

## **Streszczenie**

Celem dyplomu jest zaprojektowanie języka programowania oraz napisanie kompilatora dla mikrokontrolera w architekturze AVR. Język ten ma spełniać cechę kompletności Turinga, posiadać znane dla współczesnych języków programowania funkcjonalności, systemy zapobiegające powstawaniu błędów w programie (np. *garbage collector*) i podstawowe algorytmy optymalizacji zmniejszające kod wynikowy oraz czas wykonania programów.

## **Słowa kluczowe**

język programowania, kompilator, mikrokontrolery AVR

## **Thesis title**

Programming language for AVR microcontrollers

## **Abstract**

(Thesis abstract – to be copied into an appropriate field during an electronic submission – in English.)

## **Key words**

programming language, compiler, AVR microcontrollers



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Języki programowania dla mikrokontrolerów AVR</b>	<b>3</b>
2.1	Mikrokontrolery AVR . . . . .	3
2.2	Popularyzacja platformy AVR za pośrednictwem Arduino . . . . .	4
2.3	Języki programowania . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Wymagania i narzędzia</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Specyfikacja zewnętrzna</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Specyfikacja wewnętrzna</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Weryfikacja i walidacja</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Podsumowanie i wnioski</b>	<b>15</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>17</b>
	<b>Spis skrótów i symboli</b>	<b>21</b>
	<b>Źródła</b>	<b>23</b>
	<b>Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy</b>	<b>25</b>
	<b>Spis rysunków</b>	<b>27</b>
	<b>Spis tabel</b>	<b>29</b>



# Rozdział 1

## Wstęp

Wytwarzanie oprogramowania dla systemów wbudowanych wymaga wiedzy specjalistycznej na wysokim poziomie. W przypadku tworzenia projektów amatorskich, przodującymi technologiami są płytki rozwojowe oparte o mikrokontrolery AVR serii ATMega. Ograniczenia tej architektury, tj. mała ilość pamięci operacyjnej i programowej, skłaniają programistów do korzystania z niskopoziomowych języków oraz bibliotek. Te czynniki są dużym utrudnieniem dla nowicjuszy, co w dużej mierze prowadzi do zniechęcenia do rozwoju w kierunku systemów wbudowanych, wydłuża czas realizacji projektów i zwiększa liczbę powstających błędów w wytwarzanym oprogramowaniu.

Celem tej pracy jest opracowanie języka programowania, posiadającego zalety języków wysokopoziomowych, ułatwiającego pracę z mikrokontrolerami AVR. Docelowym układem, dla którego generowany oraz testowany będzie kod wynikowy, jest mikrokontroler ATMega328, znany szeroko z występowania w płytkach rozwojowych Arduino Uno. Ze względu na rozmiar rodziny mikrokontrolerów AVR, kompilator będzie umożliwiał wprowadzenie parametrów konfiguracyjnych, pozwalając tym samym na wsparcie dla większości członków tej rodziny mikrokontrolerów.

Opis rozdziałów będzie gotowy po bliższym przygotowaniu listy rozdziałów :)

- wprowadzenie w problem/zagadnienie
- osadzenie problemu w dziedzinie
- cel pracy
- zakres pracy
- zwięzła charakterystyka rozdziałów
- jednoznaczne określenie wkładu autora, w przypadku prac wieloosobowych – tabela z autorstwem poszczególnych elementów pracy





# Rozdział 2

## Języki programowania dla mikrokontrolerów AVR

### 2.1 Mikrokontrolery AVR

Platforma mikrokontrolerów AVR, utworzona przez firmy Atmel i aktualnie będąca własnością Microchip, jest jedną z najbardziej popularnych platform wykorzystywanych w budowaniu urządzeń wbudowanych. Ośmio-bitowa architektura tych mikrokontrolerów powstała w roku 1996, na rynek wprowadzona została w roku 1997. Jej najważniejszymi cechami stały się prostota wytwarzania dla niej oprogramowania, niski pobór mocy oraz przystępna cena układów.

Mikrokontrolery AVR zostały oparte na ośmio-bitowym procesorze RISC w zmodyfikowanej architekturze Harvardzkiej z autorskim zestawem instrukcji. W zależności od rodziny, rdzeń procesora może pracować z zakresie częstotliwości 1-20 MHz lub 32 MHz dla rodziny XMEGA. W podstawowej wersji architektury, dyspozycji programisty zostały przekazane:

- pamięć Flash, wykorzystywana jako pamięć programu,
- pamięć SRAM, służąca przechowywaniu zmiennych,
- pamięć EEPROM, umożliwiającą przechowywanie dużych wartości statycznych,
- zbiór rejestrów wewnętrznych kontrolujących pracę mikrokontrolera oraz służących do wykonywania instrukcji,
- rejestry portów wejścia/wyjścia,
- w zależności od modelu: liczniki zegarowe, konwertery analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, sprzętowe interfejsy dedykowane dla protokołów tj. TWI, UART, SPI, USB, Ethernet.

Zależnie od wymagań projektowanego systemu wbudowanego, dostępne jest wiele modeli mikrokontrolerów. Ze względu na ich mnogość, można wyróżnić trzy najpopularniejsze podrodziny:

- tinyAVR - niska cena, mała ilość pamięci oraz wyprowadzeń (od 8 do 32),
- megaAVR - szeroka gama rozszerzeń i funkcji, większa ilość pamięci i wyprowadzeń (od 28 do 100) względem tinyAVR,
- XMEGA - wyższe taktowanie procesora.

## 2.2 Popularyzacja platformy AVR za pośrednictwem Arduino

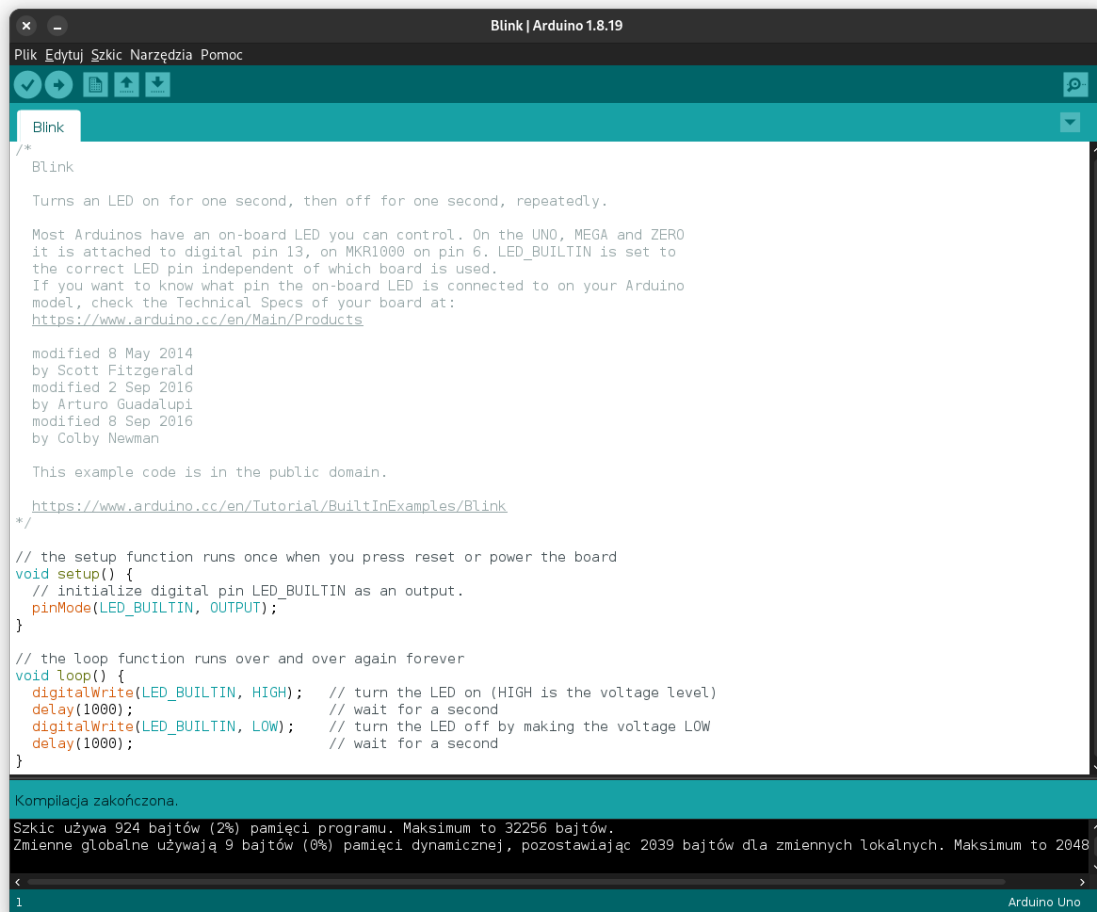
Prawdziwym przełomowym momentem dla platformy AVR stał się rok 2010, kiedy w trakcie wydarzenia Maker Faire w Nowym Yorku, zaprezentowano nową płytkę rozwojową firmy Arduino, nazwaną Arduino UNO. Pomimo istnienia poprzedników, płytka ta stała się najpopularniejszą platformą dla początkujących elektroników.

UNO posiada dwa mikrokontrolery AVR:

- ATmega328P będący głównym mikrokontrolerem podłączonym do portów wejścia/wyjścia na płytce rozwojowej,
- ATmega16U2 wykorzystywany jako programator USB oraz pozwalający na komunikację z głównym mikrokontrolerem poprzez port szeregowy. Po modyfikacji jego programu, możliwe jest także wykorzystanie innych trybów protokołu USB np. HID.

Użycie dwóch układów nie tylko zwiększyło możliwości płytki prototypowej. Miało także wpływ na łatwość korzystania z platformy poprzez brak wymogu instalacji sterowników dzięki protokołowi USB CDC (communications device class).

Dla płytki Arduino powstało także środowisko programistyczne i zestaw bibliotek skierowany do początkujących programistów. Wyróżniają się one prostotą i przejrzystością. Edytor pozwala na kompilację kodu i programowanie płytek rozwojowych bez skomplikowanej konfiguracji. Biblioteki dla języka C, dostarczone wraz ze środowiskiem, ukierunkowane są na prostotę i czytelność kodu, ukrywając przed programistą niskopoziomowe cechy programowania systemów wbudowanych.



Rysunek 2.1: edytor Arduino IDE z przykładowym programem Blink

## 2.3 Języki programowania

Oprogramowanie wytwarzane dla systemów wbudowanych wymaga niskopoziomowego dostępu do sprzętu. Ze względu na niską ilość zasobów i jednoczesną złożoność programów pracujących na mikrokontrolerach, wykorzystuje się języki ogólnego przeznaczenia (ang. general-purpose programming languages), które pozwalają na bezpośrednią manipulację pamięcią. Oficjalnie wspieranymi językami przez środowisko programistyczne AVR są C, C++ i Assembly, dostarczanych za pośrednictwem GNU Compiler Collection.

Wraz ze wzrostem popularności mikrokontrolerów AVR, powstały także alternatywne kompilatory i interpretery dla popularnych języków programowania. Implementacje niektórych z języków można znaleźć pod nazwami:

- AVR-Rust - zmodyfikowana wersja kompilatora Rust dla platformy AVR,
- AVR-Ada (AVR-GNAT) - kompilator języka Ada dla AVR,
- PyMite - minimalistyczny interpreter języka Python 2.5,

- NanoVM - wirtualna maszyna dla kodu bajtowego języka Java.

# Rozdział 3

## Wymagania i narzędzia

[Dość dokładnie wymagania dla języka. Czym on się będzie różnił od już istniejących rozwiązań?]

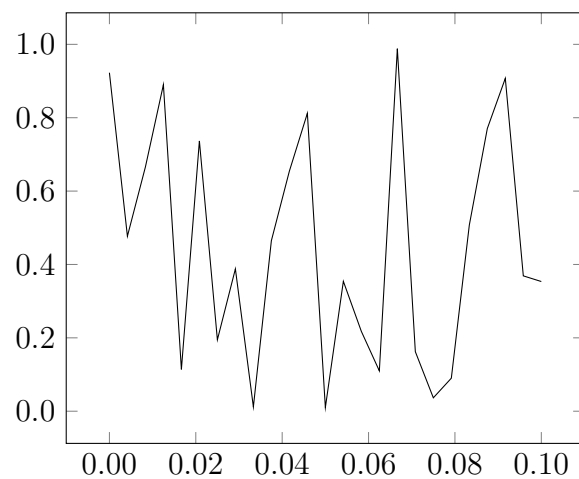
[Opis narzędzi. Dlatego te narzędzia? Dlaczego one wybrane?]



# Rozdział 4

## Specyfikacja zewnętrzna

- wymagania sprzętowe i programowe
- sposób instalacji
- sposób aktywacji
- sposób obsługi
- administracja systemem
- kwestie bezpieczeństwa
- przykład działania



Rysunek 4.1: Podpis rysunku po rysunkiem.





# Rozdział 5

## Specyfikacja wewnętrzna

Jeśli „Specyfikacja wewnętrzna”:

- przedstawienie idei
- architektura systemu
- opis struktur danych (i organizacji baz danych)
- komponenty, moduły, biblioteki, przegląd ważniejszych klas (jeśli występują)
- przegląd ważniejszych algorytmów (jeśli występują)
- szczegóły implementacji wybranych fragmentów, zastosowane wzorce projektowe
- diagramy UML



# Rozdział 6

## Weryfikacja i walidacja

- sposób testowania w ramach pracy (np. odniesienie do modelu V)
- organizacja eksperymentów
- przypadki testowe zakres testowania (pełny/niepełny)
- wykryte i usunięte błędy
- opcjonalnie wyniki badań eksperymentalnych



# Rozdział 7

## Podsumowanie i wnioski

[Zawsze na końcu.] [Pierwszy akapit: W ramach pracy dyplomowej powstało ... Jakie cechy? Jakie własności? ]

- uzyskane wyniki w świetle postawionych celów i zdefiniowanych wyżej wymagań
- kierunki ewentualnych danych prac (rozbudowa funkcjonalna ...)
- problemy napotkane w trakcie pracy



# Bibliografia

- [1] Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. *Tytuł strony internetowej*. 2021. URL: <http://gdzies/w/internecie/internet.html> (term. wiz. 30.09.2021).
- [2] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. „Tytuł artykułu konferencyjnego”. W: *Nazwa konferencji*. 2006, s. 5346–5349.
- [3] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. „Tytuł artykułu w czasopiśmie”. W: *Tytuł czasopisma* 157.8 (2016), s. 1092–1113.
- [4] Imię Nazwisko, Imię Nazwisko i Imię Nazwisko. *Tytuł książki*. Warszawa: Wydawnictwo, 2017. ISBN: 83-204-3229-9-434.





# Dodatki



# Spis skrótów i symboli

DNA kwas deoksyrybonukleinowy (ang. *deoxyribonucleic acid*)

MVC model – widok – kontroler (ang. *model-view-controller*)

$N$  liczebność zbioru danych

$\mu$  stopnień przyleżności do zbioru

$\mathbb{E}$  zbiór krawędzi grafu

$\mathcal{L}$  transformata Laplace’a



# Źródła

Jeżeli w pracy konieczne jest umieszczenie długich fragmentów kodu źródłowego, należy je przenieść w to miejsce.

---

```
1 if (_nClusters < 1)
2     throw std::string ("unknown_number_of_clusters");
3 if (_nIterations < 1 and _epsilon < 0)
4     throw std::string ("You should set a maximal number of
        iteration or minimal difference — epsilon.");
5 if (_nIterations > 0 and _epsilon > 0)
6     throw std::string ("Both number of iterations and minimal
        epsilon set — you should set either number of iterations
        or minimal epsilon.");
```

---



# Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy

W systemie do pracy dołączono dodatkowe pliki zawierające:

- źródła programu,
- dane testowe,
- film pokazujący działanie opracowanego oprogramowania lub zaprojektowanego i wykonanego urządzenia,
- itp.





# Spis rysunków

2.1	edytor Arduino IDE z przykładowym programem Blink . . . . .	5
4.1	Podpis rysunku po rysunkiem. . . . .	9



# Spis tabel