

# Technika cyfrowa i mikroprocesorowa

**Omówienie popularnych systemów mikroprocesorowych.  
Perspektywy rozwoju systemów mikroprocesorowych**

Wojciech Tarnawski

[www.w-tarnawski.pl](http://www.w-tarnawski.pl)

[wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl](mailto:wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl)



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

# Plan wykładu

- Co to jest mikrokontroler?
- Historia
- Przegląd rodzin:
  - 8051
  - AVR
  - PIC
  - STM32F, STM32L, STM32G, ....      SoC STM32....
  - ESP8266, ESP32
  - Raspberry RP2040
  - Inne
- Minikomputery
- Perspektywy

# Co to jest mikrokontroler?

## **Mikroprocesor:**

składa się z jednostki centralnej i szczytkowej pamięci danych w postaci zbioru rejestrów. Większość mikroprocesorów zawiera również generator zegara. Mikroprocesory nie mają natomiast wbudowanej pamięci programu i układów wejścia/wyjścia ani układów peryferyjnych.

# Co to jest mikrokontroler?

## Mikrokontroler

może uważać za mikroprocesor z wbudowanymi dodatkowo układami pamięci i układami do komunikacji z otoczeniem. Ważna różnica dotyczy ponadto zbioru operacji realizowanych przez CPU, nazywanego listą instrukcji. W przypadku mikroprocesorów lista instrukcji jest zaprojektowana pod kątem ułatwienia obliczeń numerycznych i transmisji danych. Natomiast mikrokontrolery mają rozbudowane grupy instrukcji do obsługi urządzeń peryferyjnych.

# Co to jest mikrokontroler?

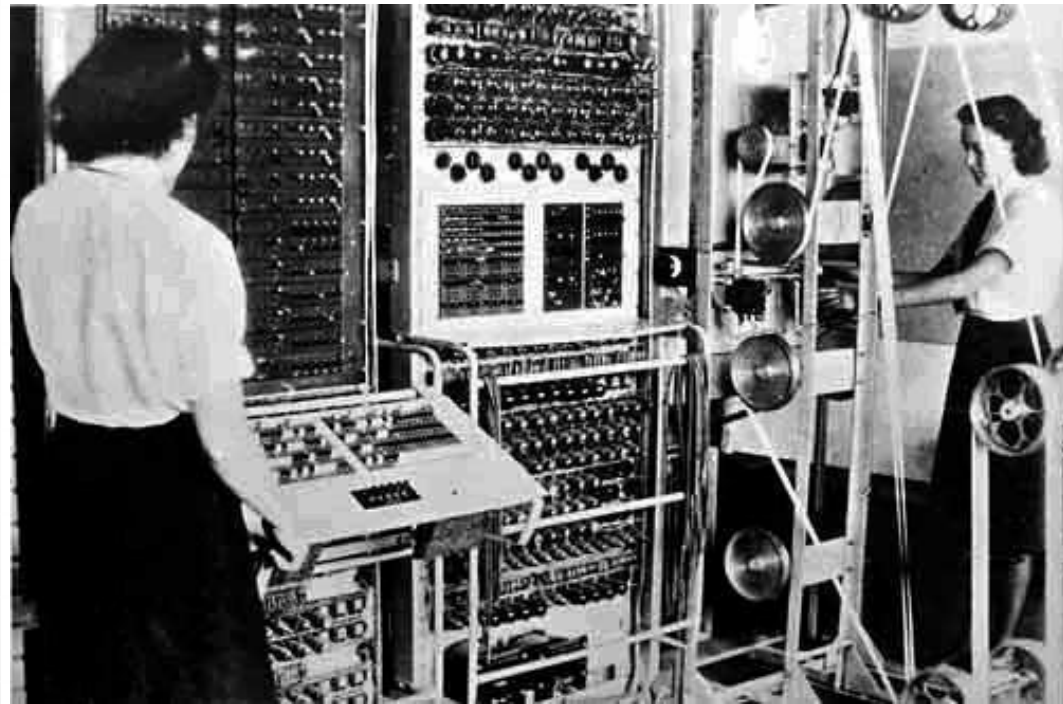
**Scalony system mikroprocesorowy, zrealizowany w postaci pojedynczego układu scalonego zawierający:**

- jednostkę centralną CPU
- pamięć RAM, pamięć FLASH,
- *pamięć EEPROM – zależne od rodziny*
- porty wejścia/wyjścia
- kontrolery przerwań
- układy czasowo-licznikowe
- układy peryferyjne

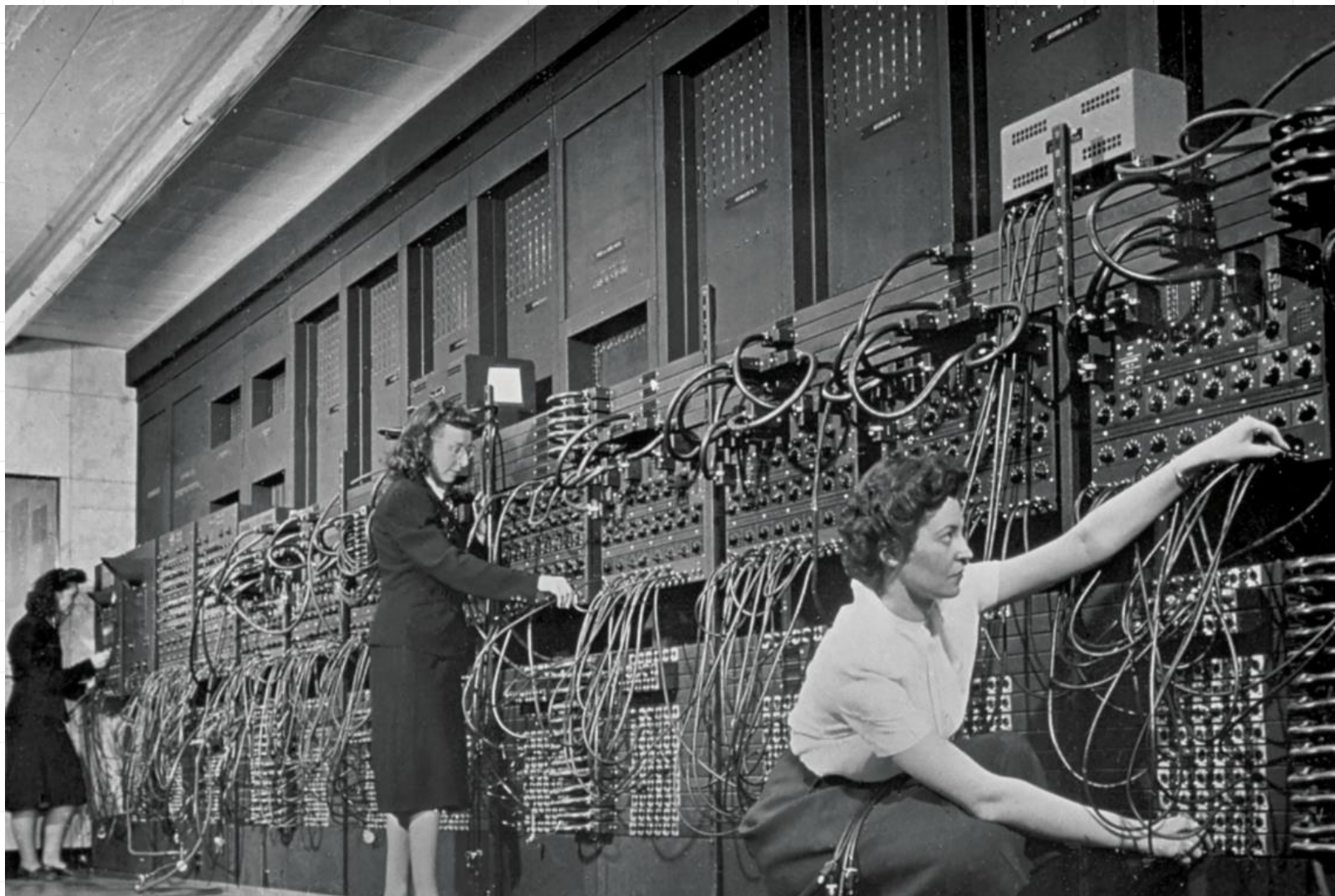
**nazywamy mikrokontrolerem**

# Historia

Pierwsze komputery cyfrowe powstały w czasie trwania II Wojny Światowej. Pracowały w ośrodkach łamania niemieckich szyfrów i innych miejscach, gdzie zachodziła potrzeba wykorzystania tego typu maszyn.



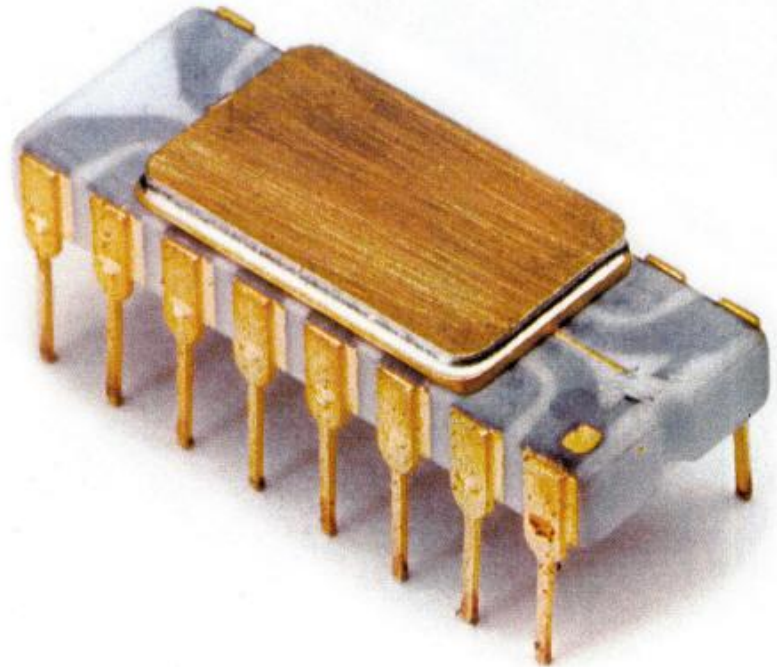
# Historia



# Historia

Przełom w technice cyfrowej nastąpił w roku 1971, gdy Federico Faggin uruchomił pierwszy na świecie mikroprocesor Intel 4004.

Poprzednio procesory komputerów budowane były z wielu układów scalonych. Mikroprocesor połączył je w jeden układ. W ten sposób zredukowano koszty komputerów oraz zwiększono ich niezawodność (mniej układów oznacza mniejsze prawdopodobieństwo zepsucia się urządzenia)





# Historia

Gdy Intel pracował nad swoim mikroprocesorem w roku 1971, Gary Boone z Texas Instruments stworzył podobny układ, który możemy dzisiaj nazwać pierwszym mikrokontrolerem. Koncepcja mikrokontrolera polega na tym, aby w pojedynczym układzie scalonym umieścić wszystkie niezbędne składniki komputera, tj. procesor do wykonywania obliczeń, pamięć na instrukcje dla procesora oraz przetwarzane dane, oraz układy komunikujące się z otoczeniem.

# Historia

Układ otrzymał oznaczenie TMS 1802 NC. Zawierał ponad 3 tys. tranzystorów i udostępniał 1KB na pamięć programu i 32B na pamięć danych. 4 –bitowy, taktowany zegarem: 300kHz. Można go było programować, aby wykonywał różne funkcje. Znalazł zastosowanie w kalkulatorach produkowanych przez Texas Instruments w latach 1971...1974. Sprzedawany był w różnych konfiguracjach do roku 1984. Ogółem sprzedano ponad 100 milionów sztuk.

Dla porównania Atmega328P:

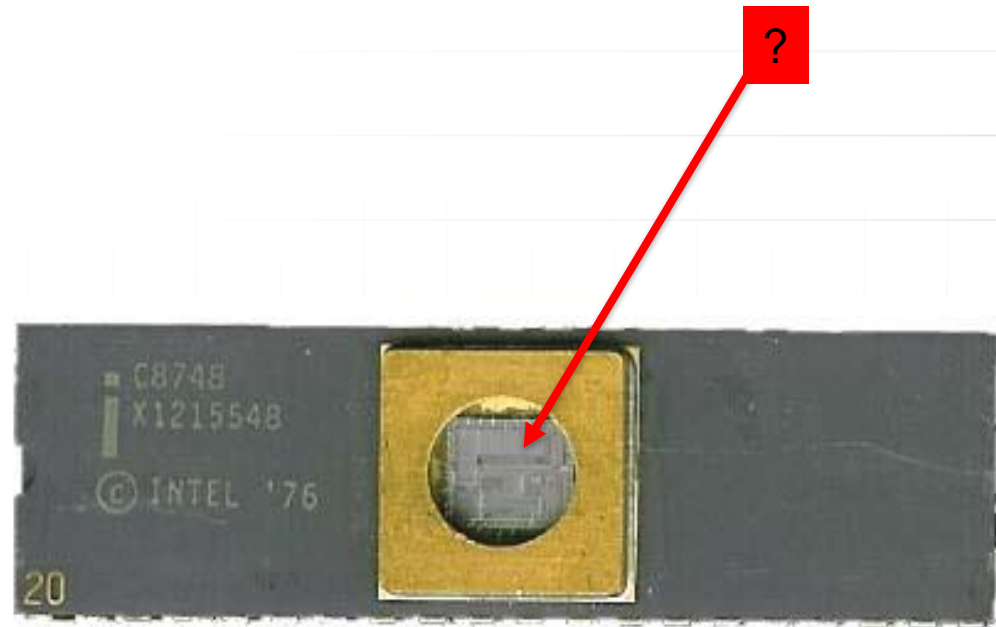
- FLASH: 32K
- SRAM: 2K



# Historia

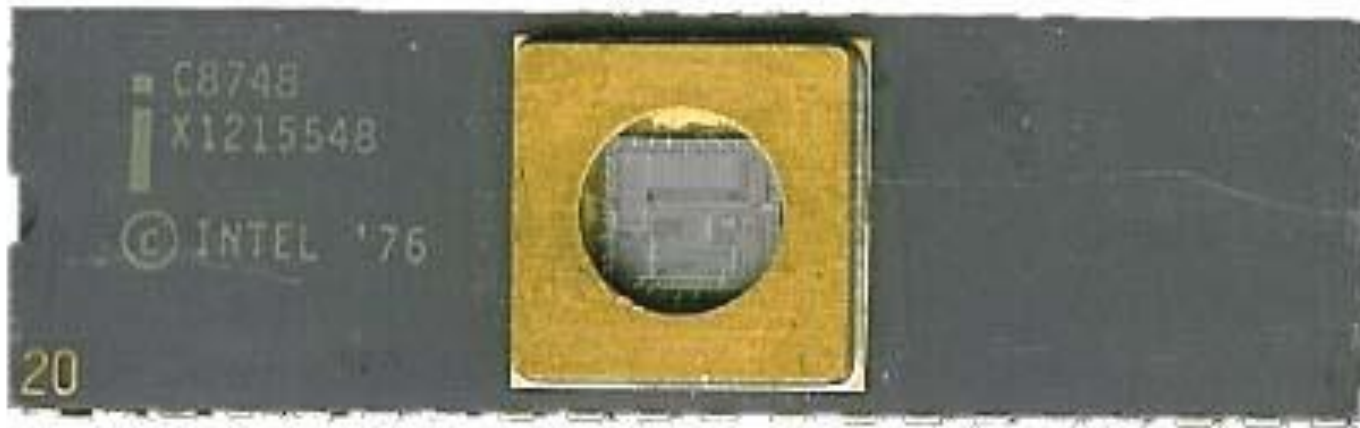
Intel zauważyła potencjał mikrokontrolerów i w roku 1976 weszła na rynek ze swoim układem Intel 8048, który zapoczątkował całą rodzinę mikrokontrolerów MCS-xx. Parametry tego układu wyglądają dzisiaj skromnie:

Producent	Intel
Model	C8748
Zegar	6MHz
Rok produkcji	1976
Obudowa	DIL40
Mikroprocesor	8-bitowy
Pamięć programu	1KB
Pamięć danych	64B



# Historia

Do czego służyło przezroczyste okienko?



EPROM (ang. Erasable and Programmable Read-Only Memory – wymazywalna, programowalna pamięć tylko do odczytu)

EEPROM (ang. Electrically Erasable and Programmable Read-Only Memory)

# Intel 8051

- Intel 8051 – mikrokontroler stworzony przez firmę Intel w 1980 roku. Zapoczątkował rodzinę mikrokontrolerów MCS-51 (od ang. MicroComputer System) będących udoskonalonymi lub wyspecjalizowanymi mikrokontrolerami o tej samej, ośmiobitowej architekturze i kompatybilnej z pierwowzorem liście rozkazów. Mikrokontrolery należące do rodziny MCS-51 do dziś znajdują szerokie zastosowanie w niemal każdej dziedzinie elektroniki.
- oprócz możliwości programowania mikrokontrolera w assemblerze rodziny MCS-51, istnieje również możliwość programowania w kompilowanych językach wysokiego poziomu – najczęściej wykorzystywany do tego celu jest język C.
- oryginalny układ 8051 firmy Intel jest przestarzały i od dawna nieużywany w nowych konstrukcjach, ale są zamienniki:
  - z rodziny Atmel AT89
    - AT90S44 - 4KB pamięci Flash, 256B pamięci EEPROM, 256B pamięci RAM
    - AT90S8515 - 8KB pamięci Flash, 512B pamięci EEPROM, 512B pamięci RAM
  - z rodziny Atmel AVR
    - ATMEGA161 - 16KB pamięci Flash, 512B pamięci EEPROM, 1KB pamięci RAM

# Historia – ARM architektura

- Acorn Computers produkuje ARM-y - pierwsza wersja testowa, nazywana ARM1, opracowana została w 1985 roku, a rok później ukończono wersję produkcyjną ARM2. ARM2 wyposażony był w 32-bitową szynę danych
- Apple Computer rozpoczyna współpracę z Acorn Computers i powstaje ARM6, udostępniony w roku 1990. Apple użył opartego na ARM6 procesora ARM610 w palmtopie (PDA) o nazwie Apple Newton.

1987: ARM2

1989: ARM3

1991: ARM6

1993: ARM7

1994: ARM8

1995: ARM9

1998: ARM10

2002: ARM11

2004: ARM Cortex-M (32-bitowe)

2005: ARM Cortex-A (32-bitowe)

2011: ARM Cortex-R (32-bitowe)

2012: ARM Cortex-A (64-bitowe)

2019: ARM Neoverse (64-bitowe)

2020: ARM Cortex-R (64-bitowe)

# AVR

- Układy AVR produkowane były od 1994 przez firmę ATMEL, którą w 2016 roku przejęła firma Microchip,
- Podstawową zaletą mikrokontrolerów AVR jest jednolita platforma AVR. Każdy mikrokontroler z tej rodziny posiada podobną budowę wewnętrzną oraz praktycznie identyczny mikroprocesor. Poszczególne modele różnią się dostępnymi modułami we/wy (np. obecność lub brak przetworników analogowo-cyfrowych), funkcjami wyprowadzeń oraz niektórymi rozkazami mikroprocesora (pominięte niektóre z instrukcji, dodatkowe instrukcje lub dodatkowe tryby adresowania, niezbędne przy dużych pamięciach). Takie rozwiązanie znakomicie ułatwia programowanie – wystarczy raz dobrze opanować jeden z nich (np. ATMEGA 8), a z resztą nie będzie większych problemów.

# AVR - ATtiny

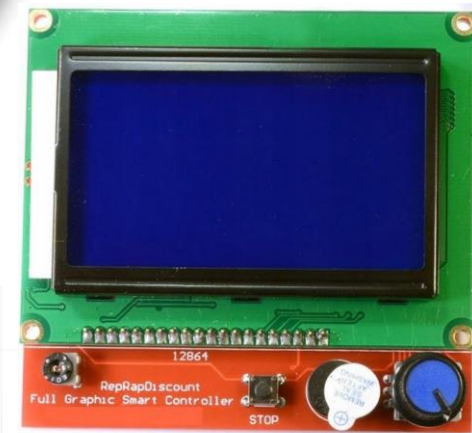
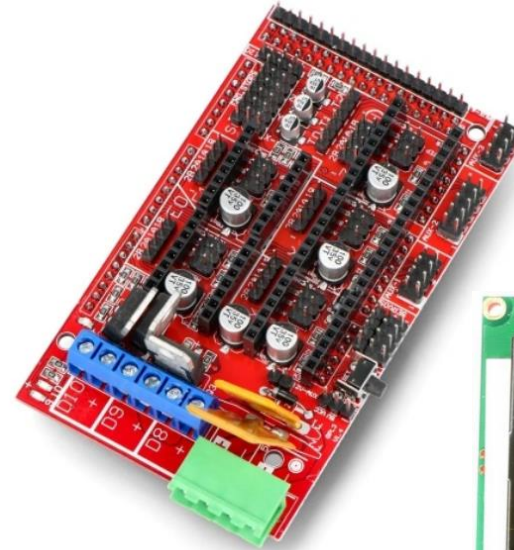
- Attiny są to układy przeznaczone do prostych i bardzo prostych zastosowań. Posiadają od 0,5 do 32KB pamięci FLASH na program, uproszczony zestaw instrukcji (np. brak instrukcji mnożenia, które trzeba wykonywać programowo) i są umieszczane w obudowach o 6...32 wyprowadzeniach.
- ATtiny4/5/9/10
- ATtiny11/12
- ATtiny13
- ATtiny15
- ATtiny20
- ATtiny2313/4313
- ATtiny24/44/84
- ATtiny25/45/85



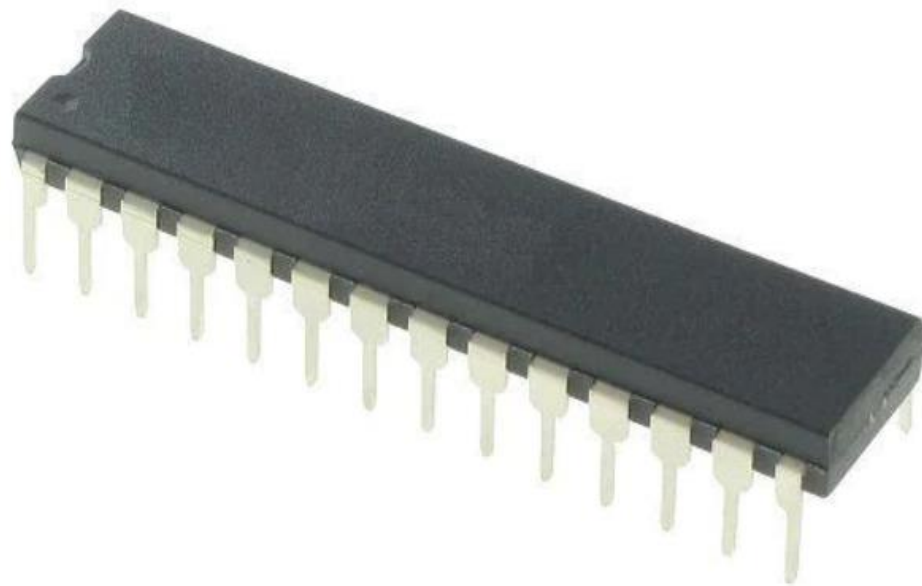


# AVR - ATMEGA

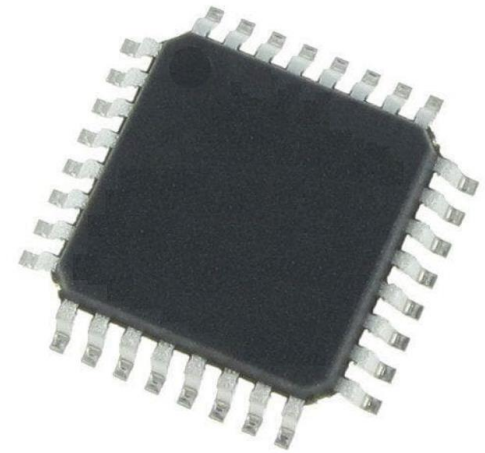
- ATMEGA- układy przeznaczone do dużych projektów, posiadają od 4 do 256KB pamięci FLASH programu, rozszerzony zestaw instrukcji oraz dużą wydajność. Umieszcza się je w obudowach o 28...100 wyprowadzeniach.
- ATmega8
- ATmega328
- ATmega16
- ATmega32
- ATmega64
- ATmega128
- ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P
- ATmega640/1280/1281/2560/2561



# AVR – ATMEGA328P

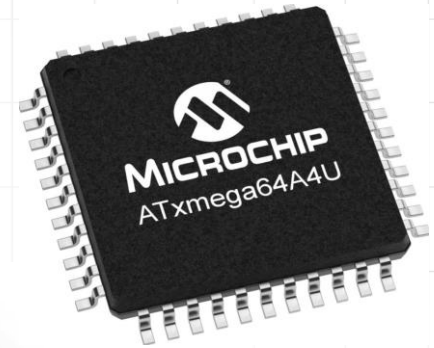


Cena: ~24zł



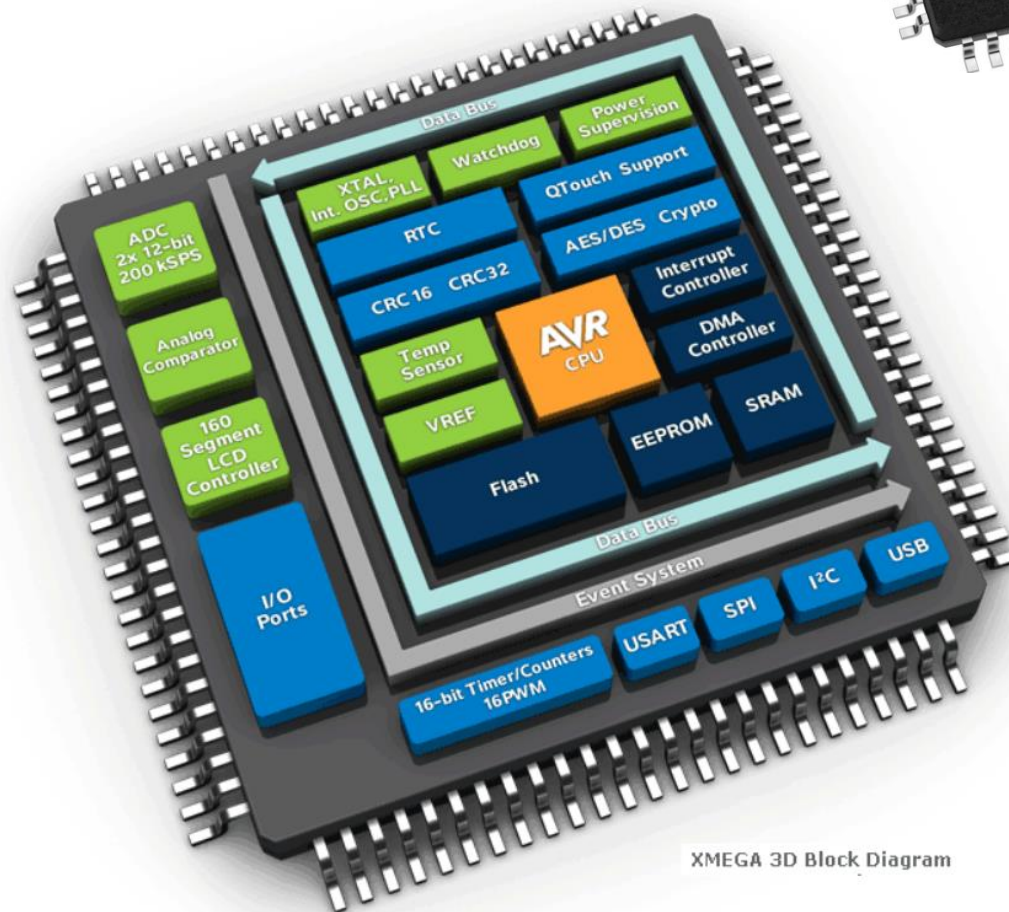
Cena: ~15zł

# AVR – XMEGA – 8/16-bit



## Rodzina A1

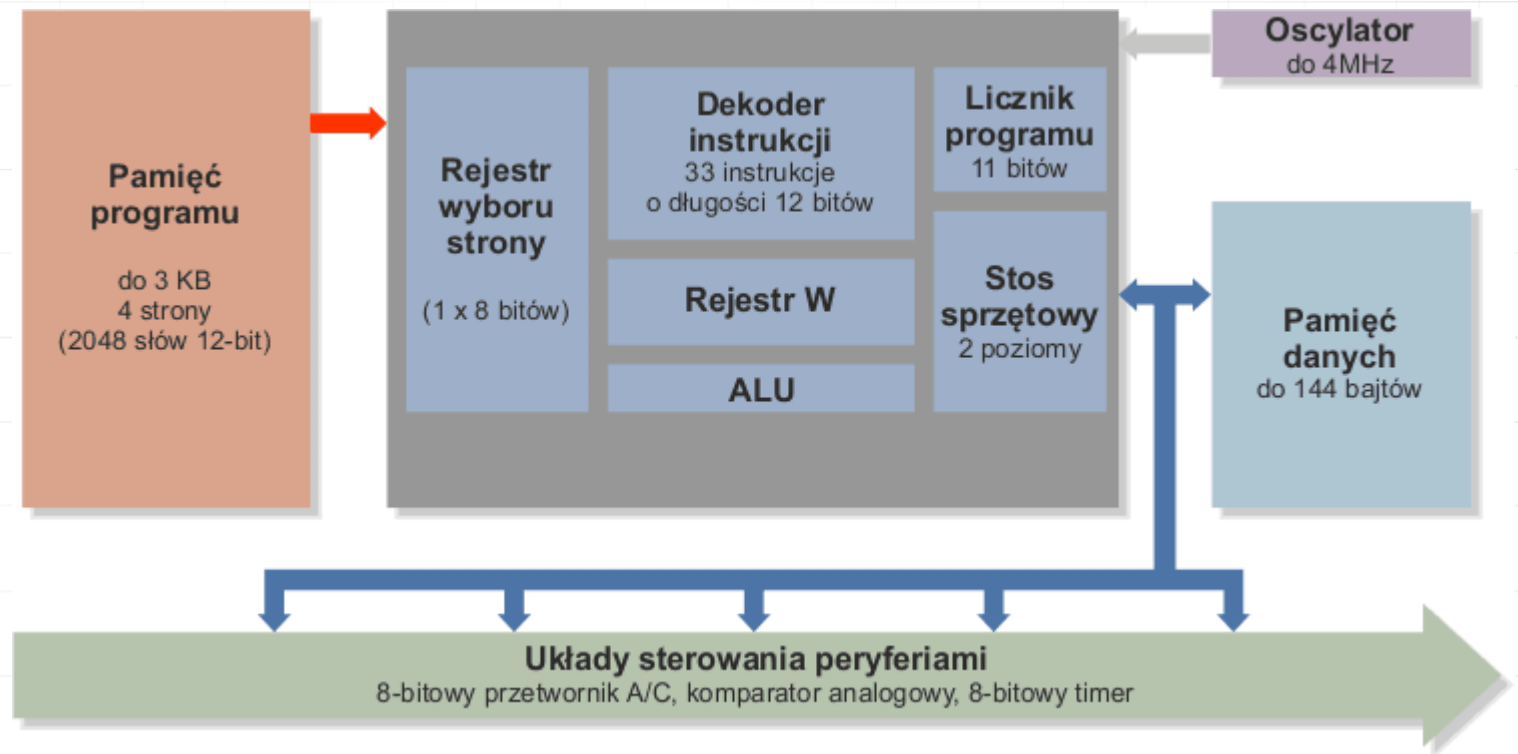
- 2 ADC 2MSPS
- 2 DAC
- 8 T/C
- 8 USART
- 4 SPI
- 4 TWI
- DMA
- CryptoEngine
- Int. pam.zew.



XMEGA 3D Block Diagram

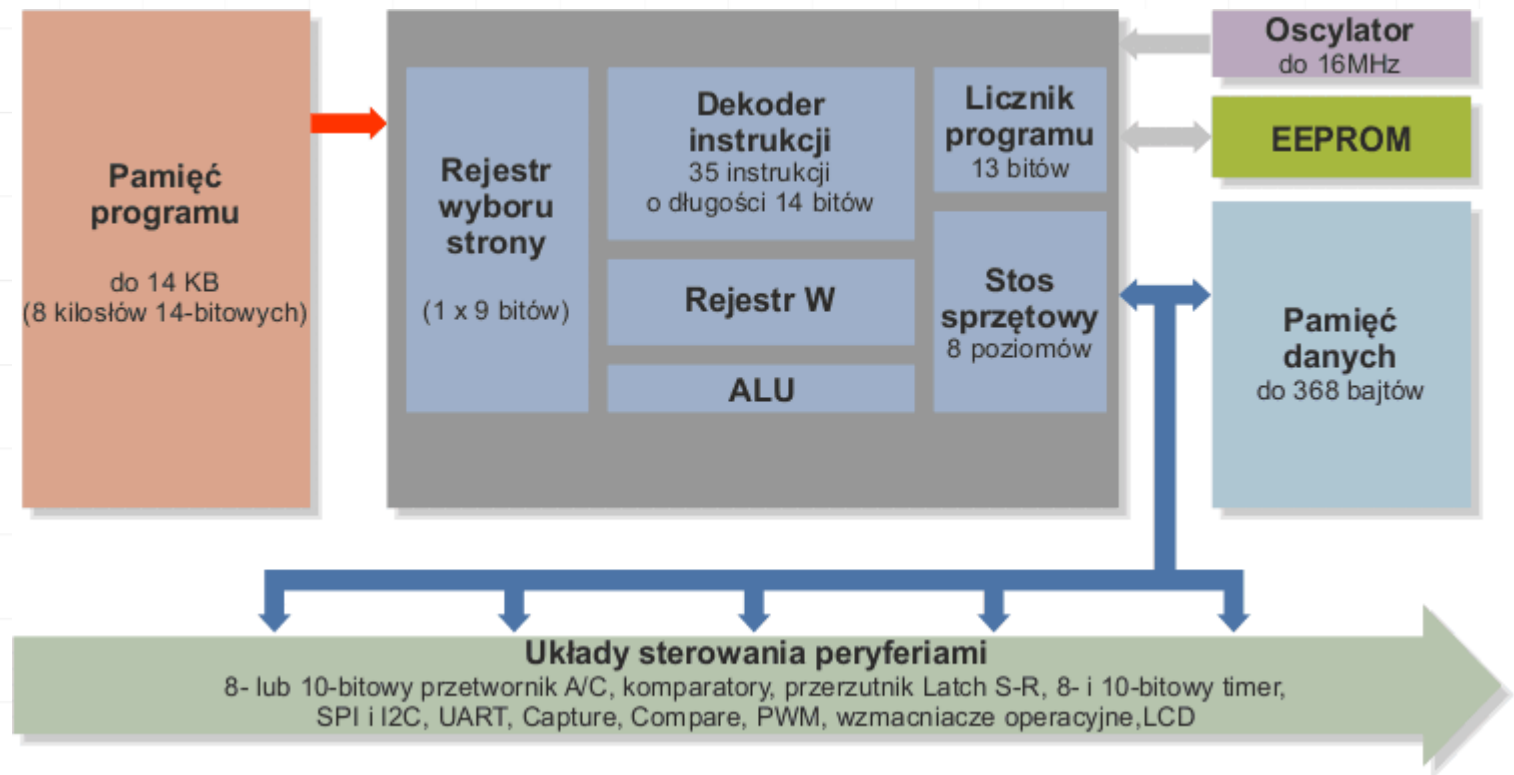
# PIC – rodzina podstawowa

- PIC10F2xx
- PIC12F5xx
- PIC16F5x
- PIC16F5xx



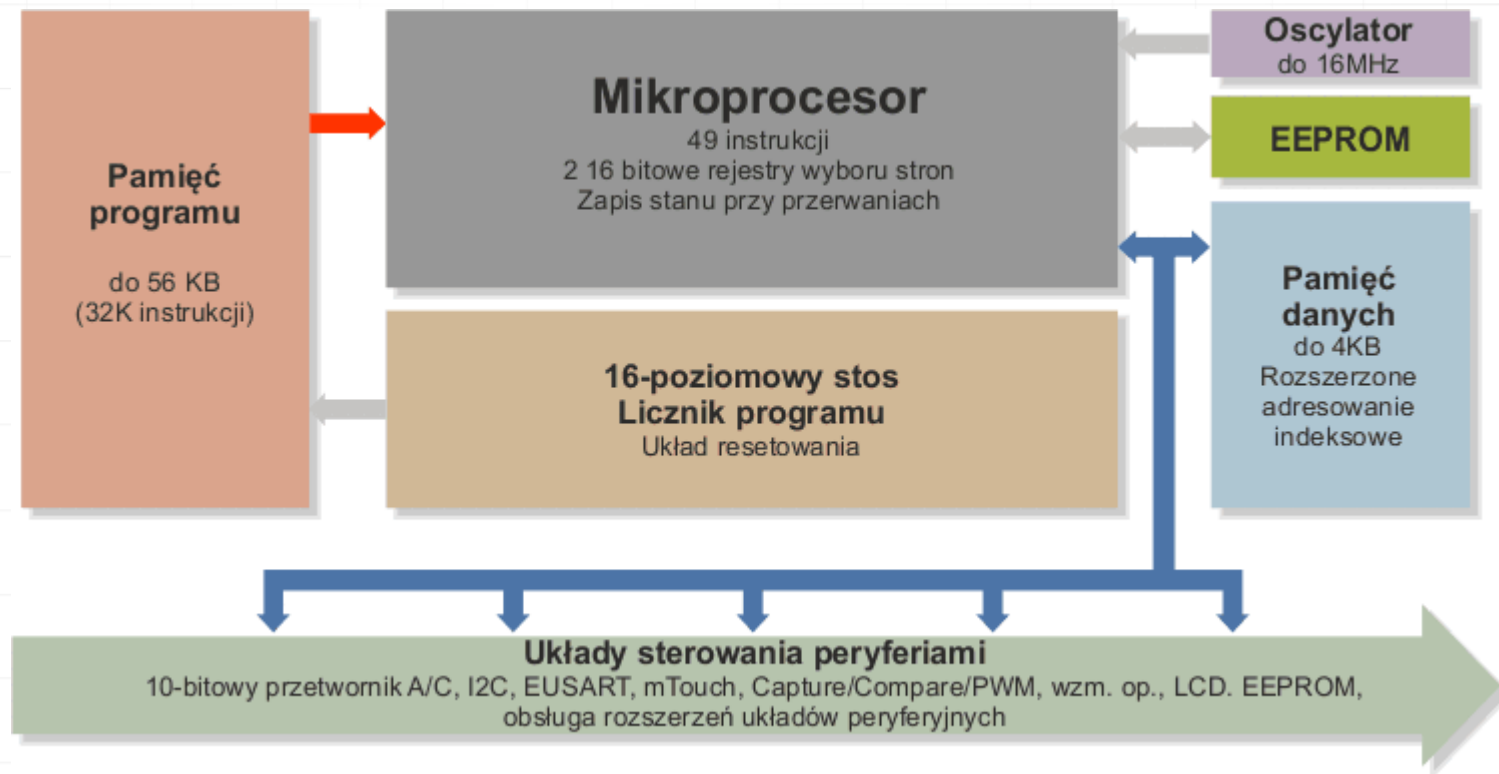
# PIC – rodzina średnia

- PIC10F3xx
- PIC12F6xx
- PIC12F7xx
- PIC16F6xx
- PIC16F7xx
- PIC16F8xx
- PIC16F9xx



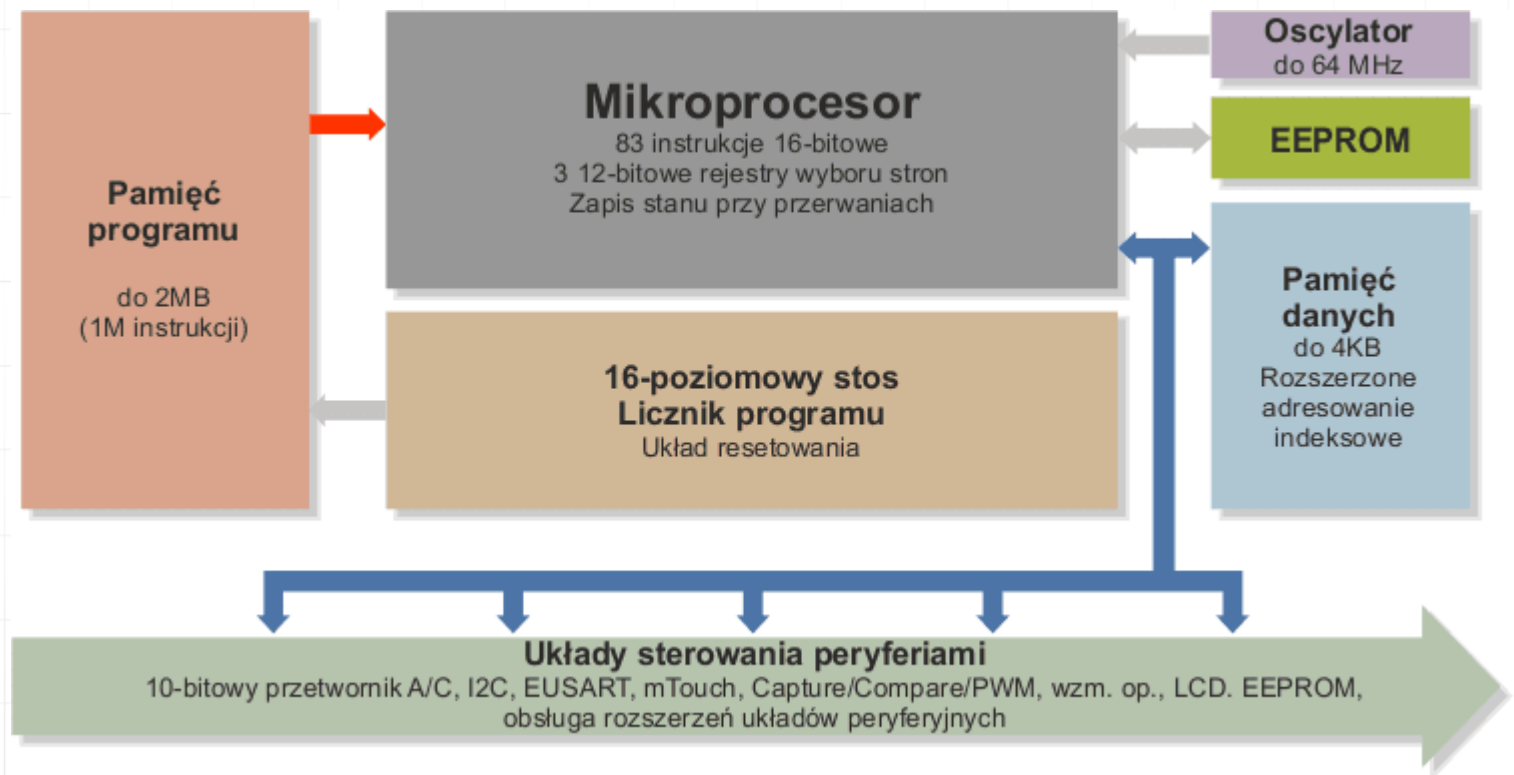
# PIC – rozszerzona rodzina średnia

- PIC12F1xxx
- PIC16F1xxx



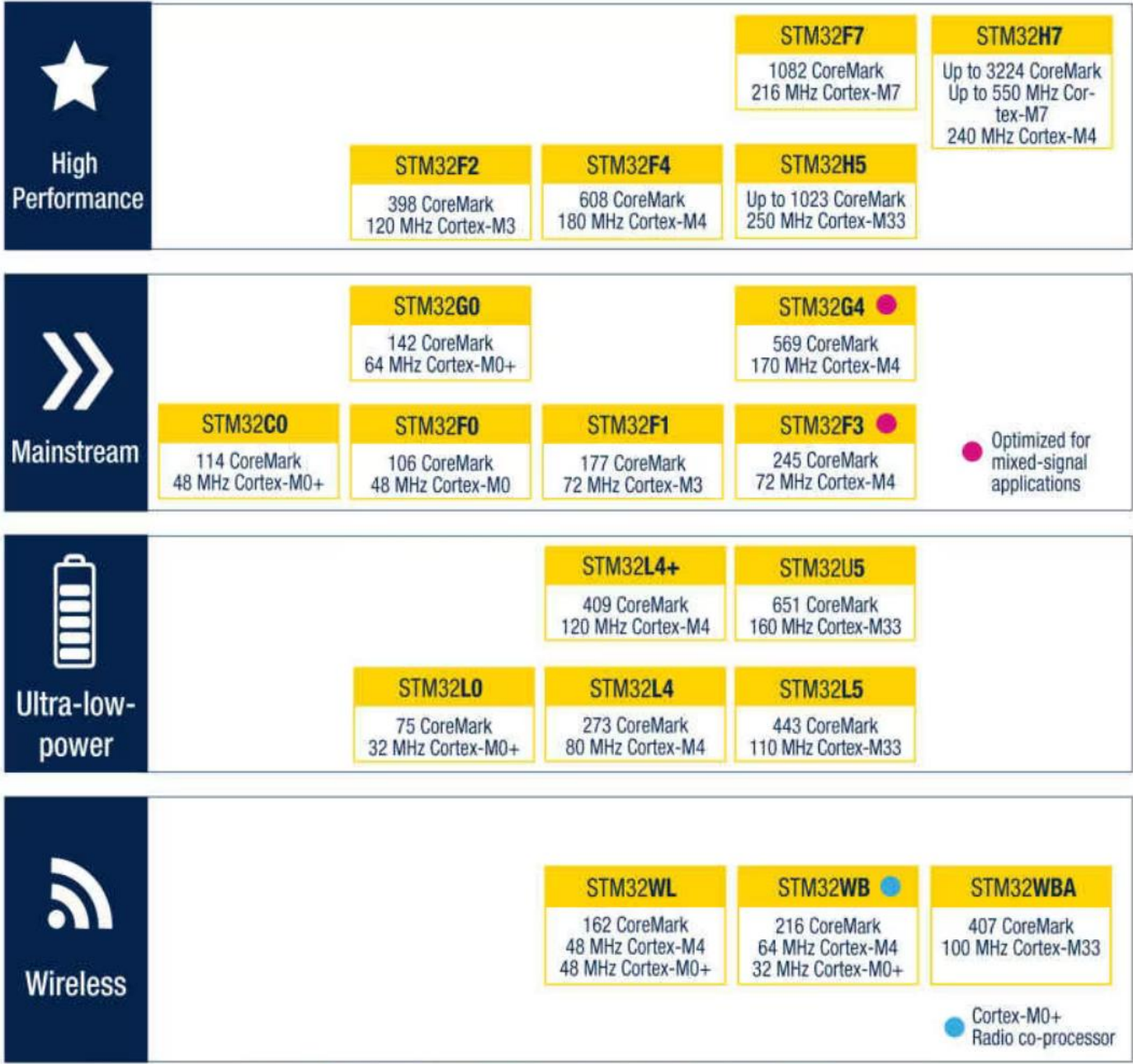
# PIC – rodzina wysokiej klasy

- PIC18F



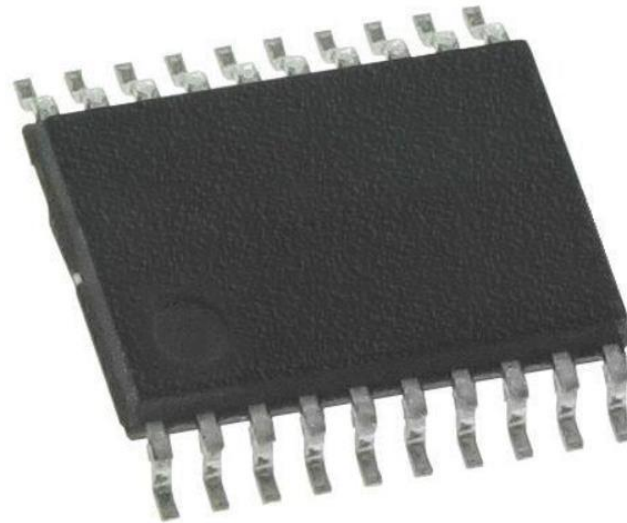
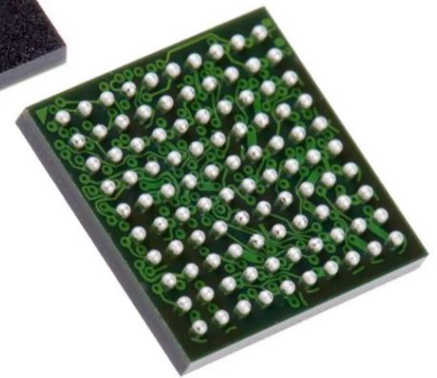
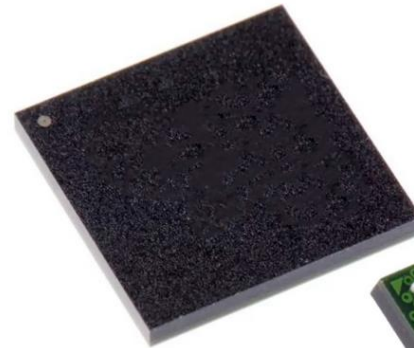
# STM32

## 32-bit



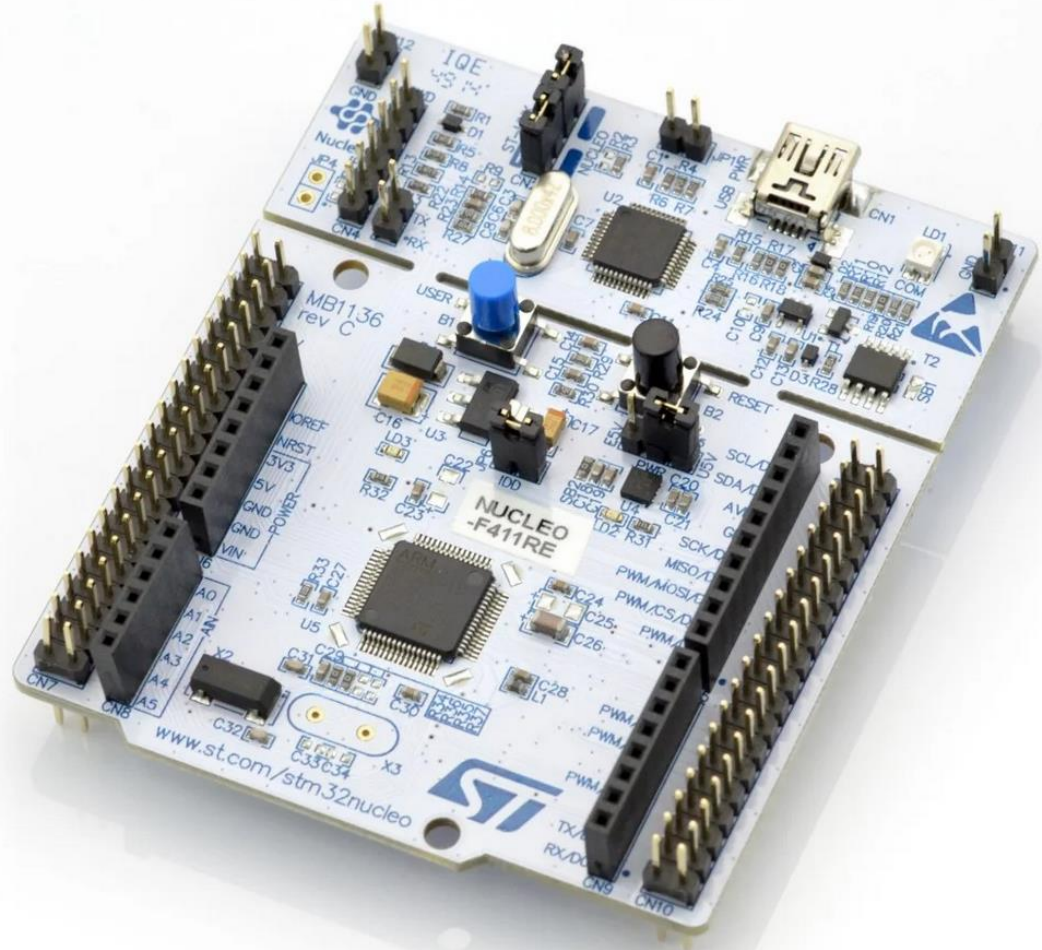


# STM32



Cena: ~4-100 zł

# STM32 – płytki dewloperskie Nucleo



Cena: ~60-150zł

# STM32 – STM32WL

Long-range wireless STM32WL microcontrollers



The world's first LoRa® SoC

Legend : \* WL available in 2 lines : dual-core or M4-based single-core

# STM32 – STM32WL

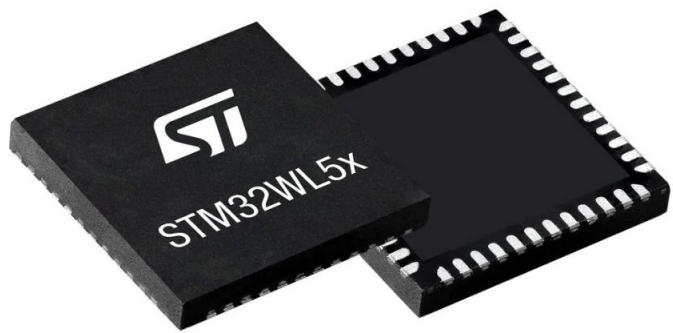


## STM32WL MCU Series 32-bit Arm® Cortex®-M4/-M0+



RADIO • Multi-modulation Sub-GHz radio • 2 programmable power outputs • Sensitivity down to -148 dBm	Product line	f <sub>cpu</sub>	Flash Memory (Kbytes)	RAM (Kbytes)	Modulations				Radio Frequency Range (MHz)	Dual Power Output	Advanced Security Features	Operating Temperature Range
					LoRa®	(G)FSK	(G)MSK	BPSK				
<b>SECURITY</b> • AES 128/256-bit • True Random Number Generator • Private Key Accelerator • PCROP / WRP • 48-/96-bit unique IDs  <b>CONNECTIVITY</b> • 2x SPI, 3x I2C, 1x ULPART, 2x USART • 16- and 32- bit timer  <b>ANALOG</b> • LDO and built-in DC/DC • 1x ADC 12-bit • 1x DAC 12-bit • Temperature sensor  <b>OTHER</b> • 2x DMA (7 channels) • 7x Timers (16 and 32 bits) • 2x ULP Comparators • ART Accelerator™ • Low voltage 1.8 to 3.6V	<b>Cortex®-M4 single-core line</b>											
	STM32WLE5	Up to 48	Up to 256	Up to 64	•	•	•	•	150 to 960	1 output up to 22dBm  1 output up to 15dBm (consumption-optimized)		-40 to 85°C (with radio)  -40 to 105°C (without radio)
	STM32WLE4	Up to 48	Up to 256	Up to 64		•	•	•	150 to 960	1 output up to 22dBm  1 output up to 15dBm (consumption-optimized)		-40 to 85°C (with radio)  -40 to 105°C (without radio)
	<b>Cortex®-M4 and -M0+ dual-core line</b>											
	STM32WL55	Up to 48	256	64	•	•	•	•	150 to 960	1 output up to 22dBm  1 output up to 15dBm (consumption-optimized)	Key Management Services Secure hardware isolation, secure boot, secure firmware update and secure firmware install	-40 to 85°C (with radio)  -40 to 105°C (without radio)
	STM32WL54	Up to 48	256	64		•	•	•	150 to 960	1 output up to 22dBm  1 output up to 15dBm (consumption-optimized)	Key Management Services Secure hardware isolation, secure boot, secure firmware update and secure firmware install	-40 to 85°C (with radio)  -40 to 105°C (without radio)

# STM32 – STM32WL

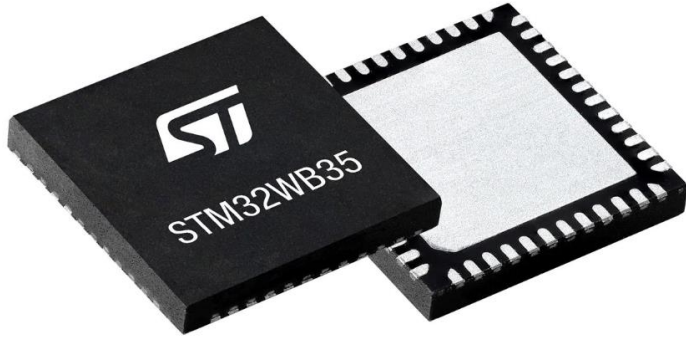


<p><b>Control</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Power supply 1.8 to 3.6 V w/ DCDC+ LDO POR/PDR/PVD/BOR</li> <li>Crystal oscillators 32 MHz (Radio + HSE) 32.768 KHz (LSE)</li> <li>Internal RC oscillators 32,768 KHz + 16 MHz + 48 MHz ± 1% acc. over V and T(°C)</li> <li>RTC/AWU/CSS</li> <li>PLL</li> <li>SysTick timer</li> <li>2 watchdogs (WWDG/IWDG)</li> <li>43 GPIOs</li> <li>Cyclic redundancy check</li> <li>Voltage scaling (2 modes)</li> </ul>	<p><b>Arm® Cortex®-M4 DSP 48 MHz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nested vector interrupt controller (NVIC)</li> <li>Memory protected unit (MPU)</li> <li>JTAG/SW debug</li> </ul>	<p><b>Memory</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Up to 256-Kbyte Flash</li> <li>Up to 64-Kbyte SRAM</li> <li>CM4 or CM0 Boot_Lock</li> <li>Boot loader</li> <li>Hide protect</li> </ul>
<p><b>Security</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>AES 256-bit + TRNG + PCROP</li> <li>Tamper Detection</li> <li>Secure Areas</li> <li>Secure FW Install</li> <li>Debug control</li> <li>Boot Selection</li> <li>Secure Sub-GHz, MAC Layer, SFI</li> <li>Key Management services</li> </ul>	<p><b>ART Accelerator™</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>AHB Bus matrix</li> <li>2x DMA 7 channels</li> </ul> <p><b>Radio</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>LoRa®, (G)FSK, (G)MSK, BPSK</li> <li>+15dBm &amp; +22dBm Power Outputs</li> <li>-148 dBm sensitivity (LoRa)</li> <li>150 MHz to 960 MHz</li> </ul>	<p><b>Timers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 x 32-bit timer</li> <li>3x 16-bit timers</li> <li>3x ULP 16-bit timers</li> </ul> <p><b>Analog</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1x 12-bit ADC SAR 2.5 Msps</li> <li>12-bit DAC</li> <li>2x ULP comparators</li> <li>Temperature sensor</li> </ul>
	<p><b>Arm® Cortex®-M0+ 48 MHz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nested vector interrupt controller (NVIC)</li> <li>Memory protected unit (MPU)</li> <li>SW debug</li> </ul>	<p><b>Connectivity</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2x SPI, 3x I2C</li> <li>2x USART LIN, smartcard, IrDA, Modem control</li> <li>1x ULP UART</li> </ul>

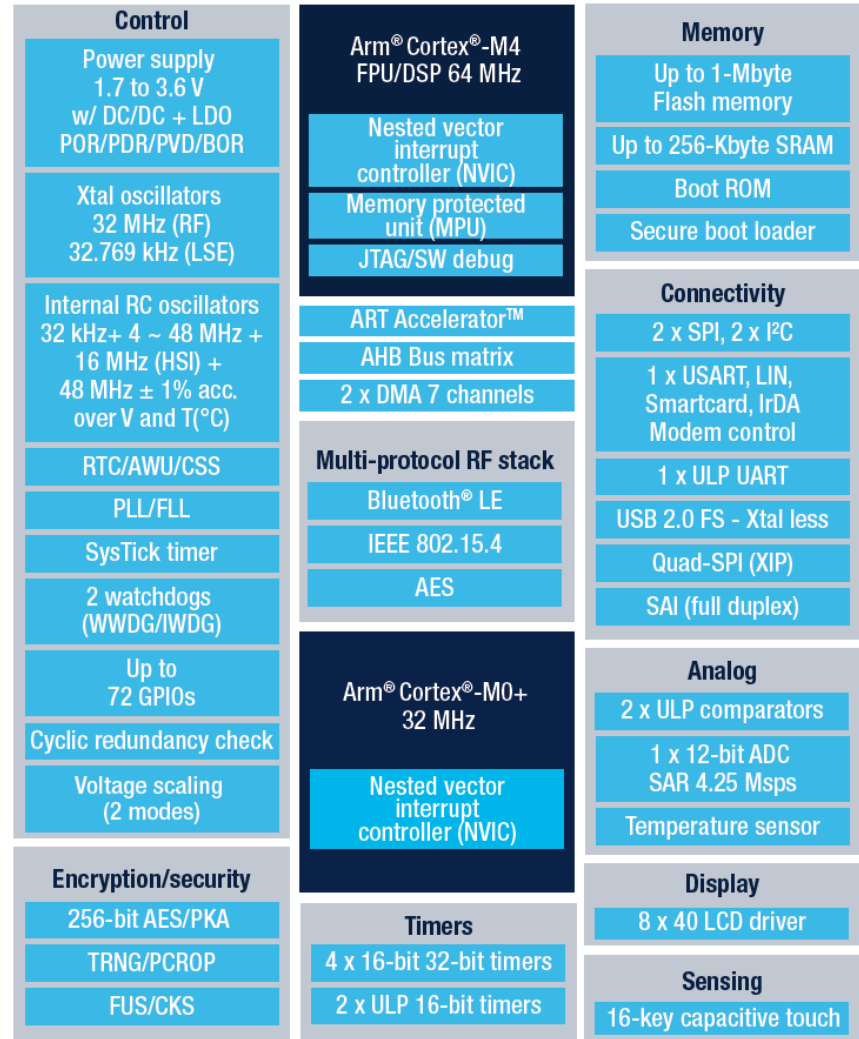


# STM32 – STM32WB

## STM32WB WIRELESS SERIES Bluetooth LE 5.2

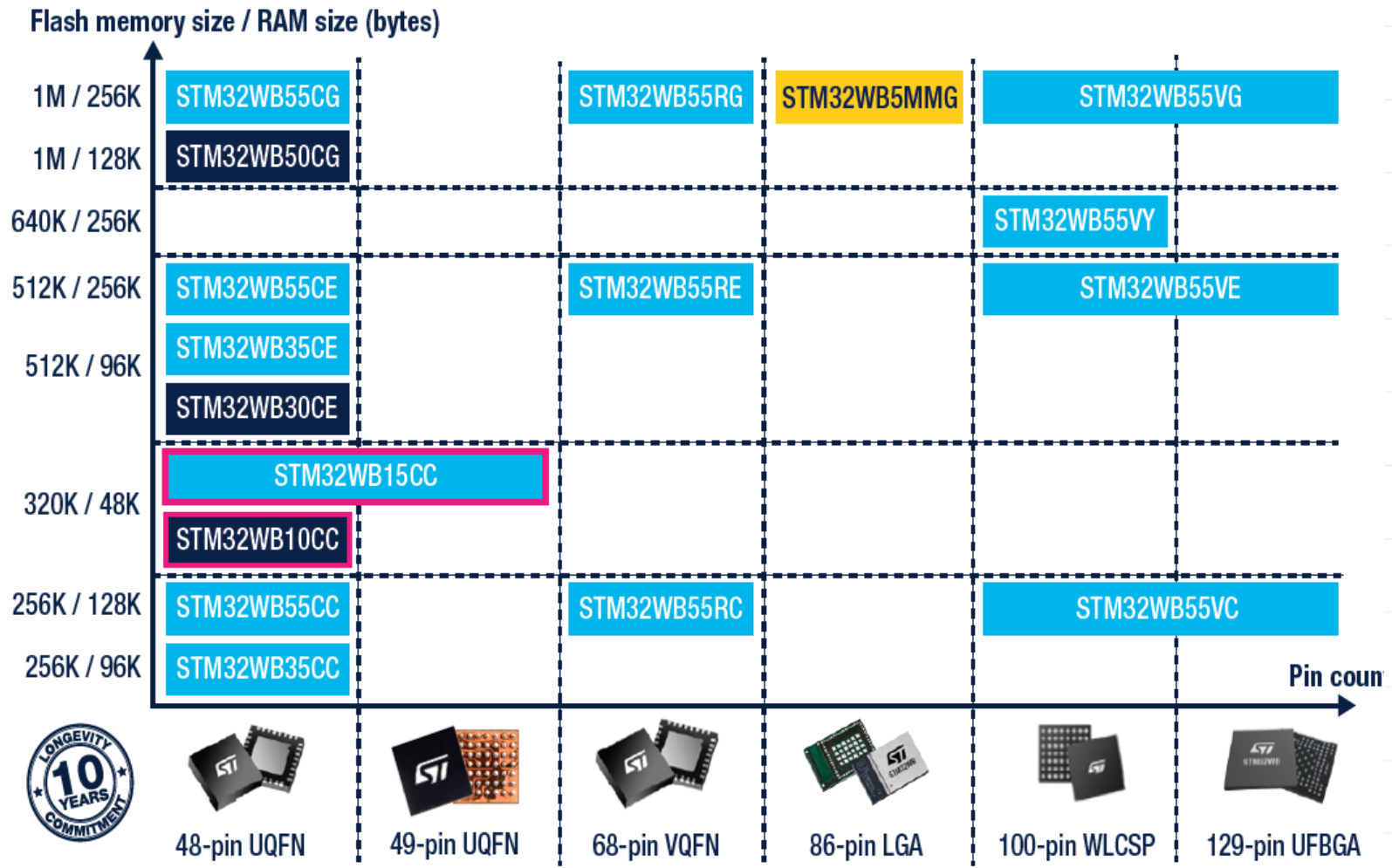


### STM32WB55 BLOCK DIAGRAM



# STM32 – STM32WB

## STM32WB PORTFOLIO



48-pin UQFN



49-pin UQFN



68-pin VQFN



86-pin LGA



100-pin WLCSP



129-pin UFBGA

Legend: ■ Standard line ■ Value line ■ Module line □ New from 1.7 to 3.6 V from -40°C to +105°C

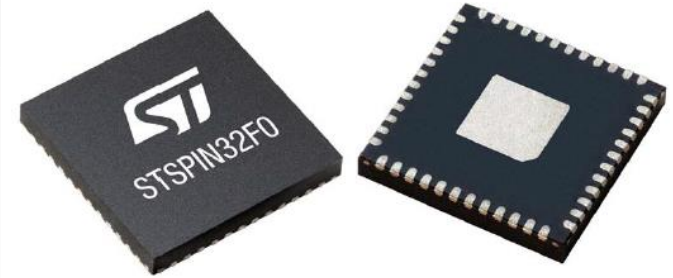


# STM32 - STSPIN32F0

## Advanced BLDC controller with embedded STM32 MCU

### Features

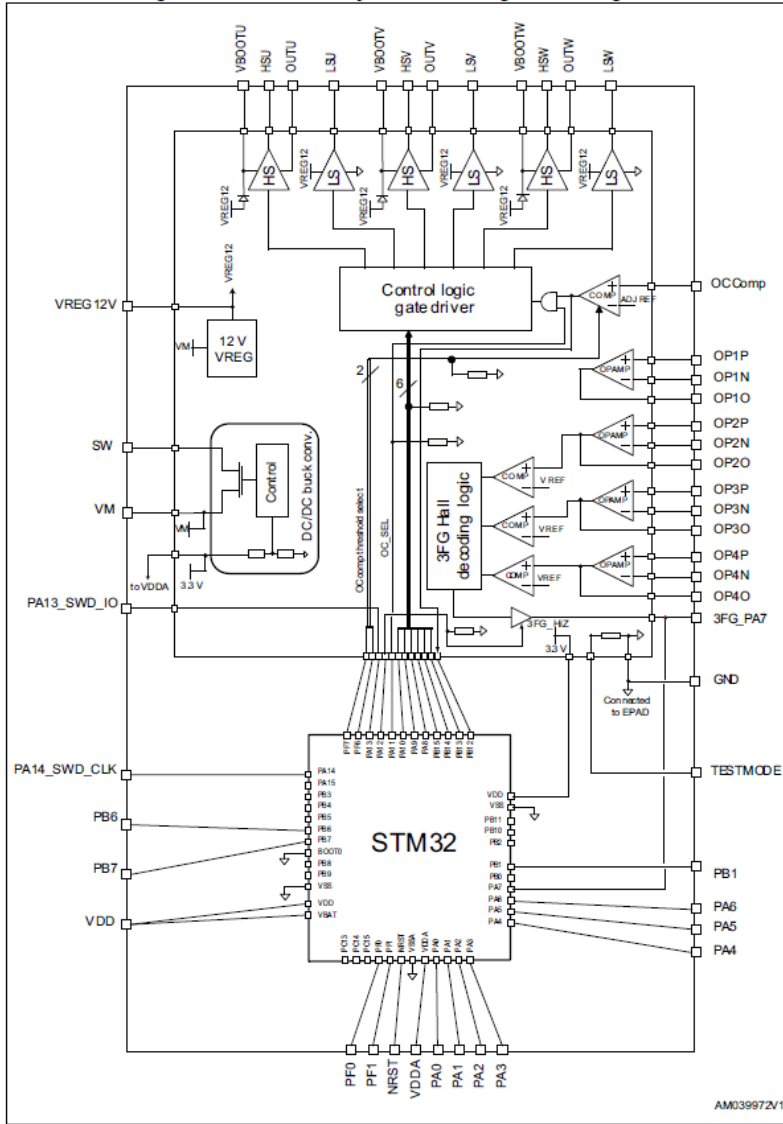
- Extended operating voltage from 8 to 45 V
- Three-phase gate drivers
  - 600 mA sink/source
  - Integrated bootstrap diodes
  - Cross-conduction prevention
- 32-bit ARM<sup>®</sup> Cortex<sup>®</sup>-M0 core:
  - Up to 48 MHz clock frequency
  - 4-kByte SRAM with HW parity
  - 32-kByte Flash memory with option bytes used for write/readout protection



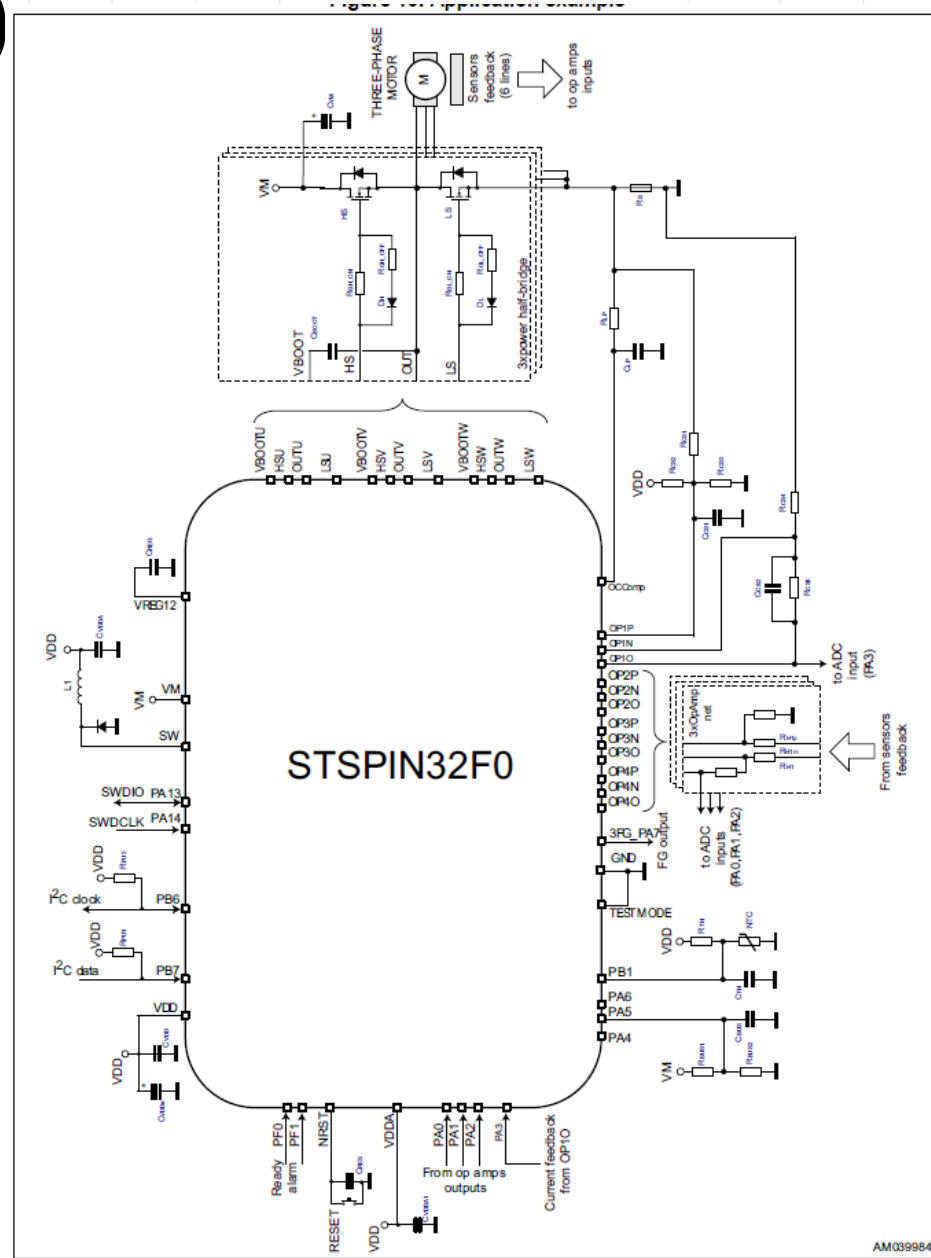


# STM32 - STSPIN32F0

Figure 1. STSPIN32F0 System-In-Package block diagram



AM03997ZV1



AM039984

# STM32 -STSPIN32F0



# ESP8266



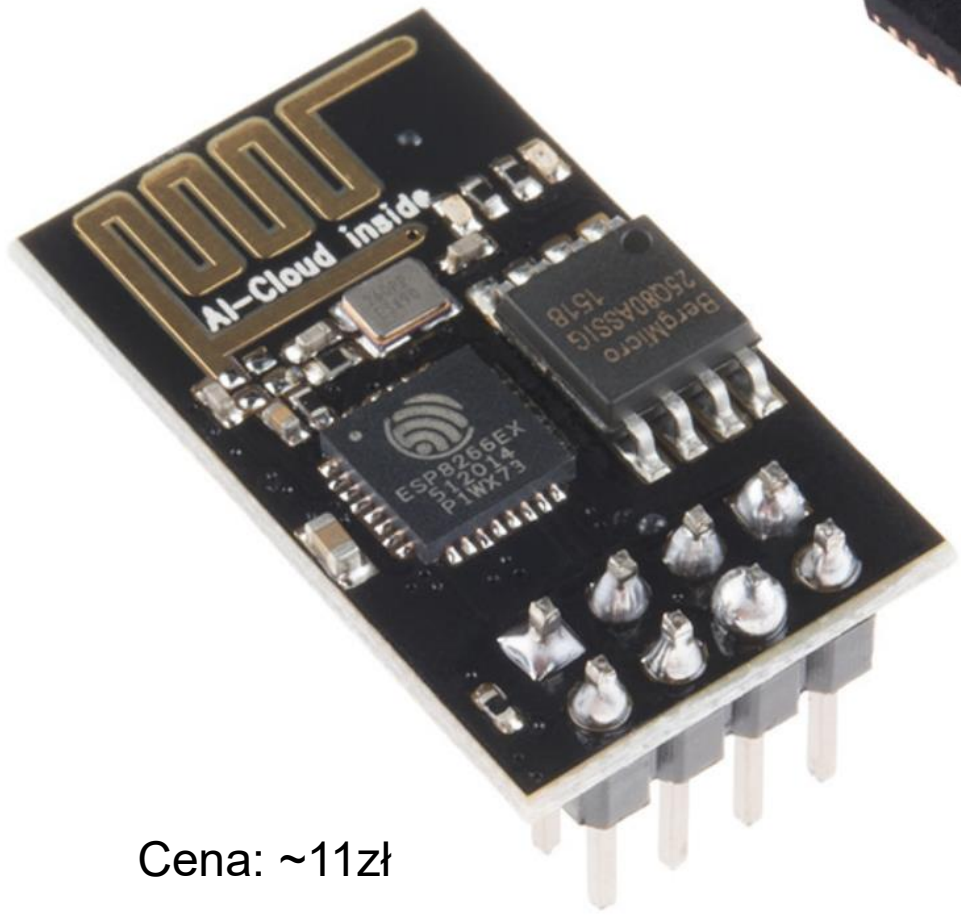
# ESPRESSIF

- ESP8266 jest układem SoC (ang. system on a chip, SoC)
- firma Espressif
- procesor RISC max. 160MHz Tensilica L106
- SRAM: 348KB
- pamięć programu jako zewnętrzny układ do 16MB
- integruje w sobie elementy niezbędne do komunikacji przez WiFi w standardzie 802.11 b/g/n
- bardzo popularne w IoT – wbudowany moduł WiFi, cena, dostępność

# ESP8266



Cena: ~8zł



Cena: ~11zł



Cena: ~15zł

# ESP32



# ESPRESSIF

- ESP32 jest układem typu SoC (ang. System-on-a-chip)
- firma Espressif
- CPU Xtensa<sup>®</sup> single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s) – 2 rdzenie po 240MHz
- SRAM: 520KB
- pamięć programu jako zewnętrzny układ
- WiFi (802.11 b/g/n)
- Bluetooth (klasyczny 4.2 i BLE)



## 1.4.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/Bluetooth functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog

# ESP32

## 1.4.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 34 × programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × I2S
- 2 × I2C
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- TWAI<sup>®</sup>, compatible with ISO 11898-1 (CAN Specification 2.0)
- RMT (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels

# ESP32

## 1.4.4 Security

- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
  - AES
  - Hash (SHA-2)
  - RSA
  - ECC
  - Random Number Generator (RNG)



# ESP32

## 1.5 Applications (A Non-exhaustive List)

- Generic Low-power IoT Sensor Hub
  - Agriculture robotics
- Generic Low-power IoT Data Loggers
- Cameras for Video Streaming
- Over-the-top (OTT) Devices
- Speech Recognition
- Image Recognition
- Mesh Network
- Home Automation
  - Light control
  - Smart plugs
  - Smart door locks
- Smart Building
  - Smart lighting
  - Energy monitoring
- Industrial Automation
  - Industrial wireless control
  - Industrial robotics
- Smart Agriculture
  - Smart greenhouses
  - Smart irrigation
- Audio Applications
  - Internet music players
  - Live streaming devices
  - Internet radio players
  - Audio headsets
- Health Care Applications
  - Health monitoring
  - Baby monitors
- Wi-Fi-enabled Toys
  - Remote control toys
  - Proximity sensing toys
  - Educational toys
- Wearable Electronics
  - Smart watches
  - Smart bracelets
- Retail & Catering Applications
  - POS machines
  - Service robots

# ESP32

- Wady:
  - mało pinów
  - bardziej do IoT...

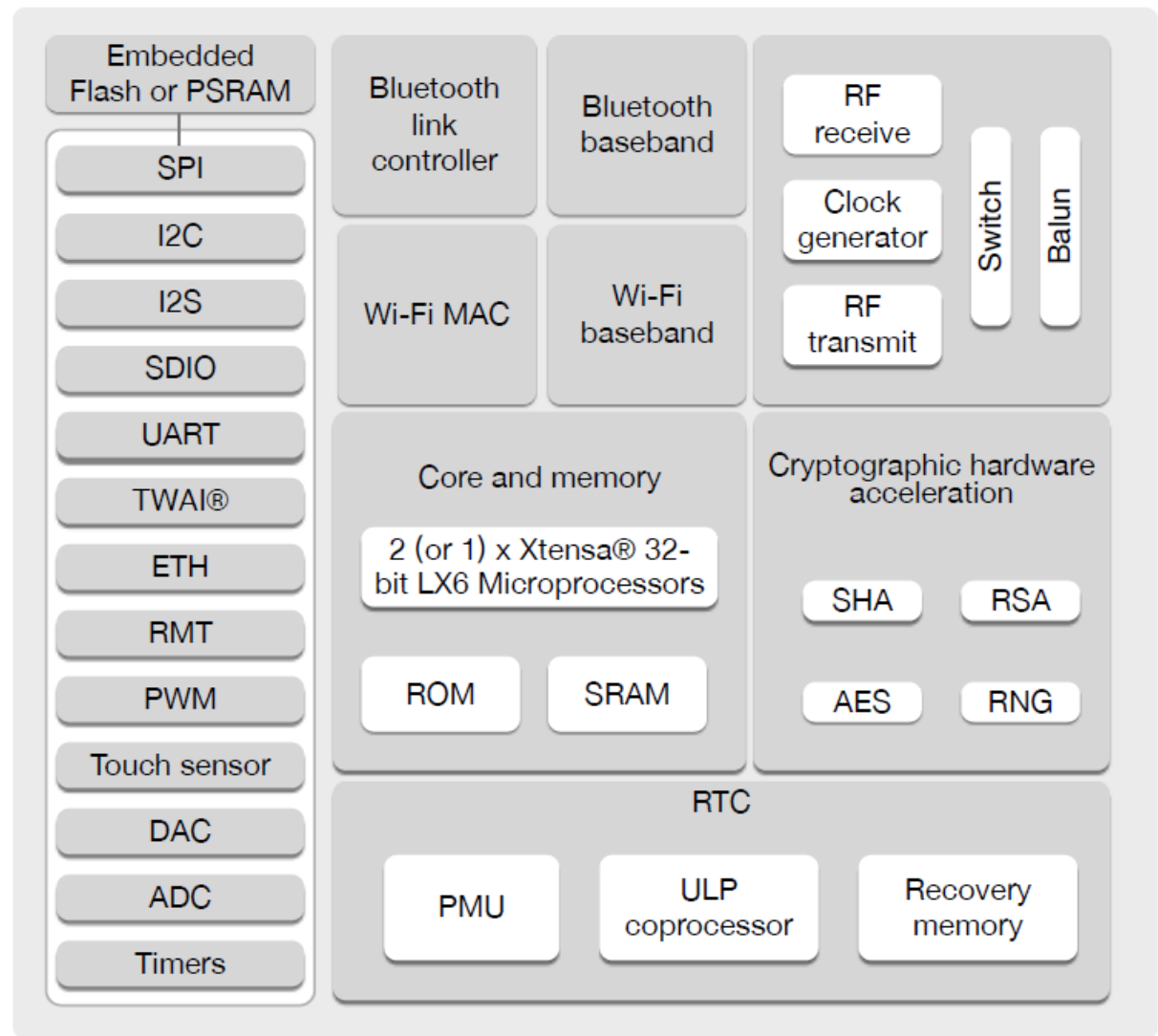
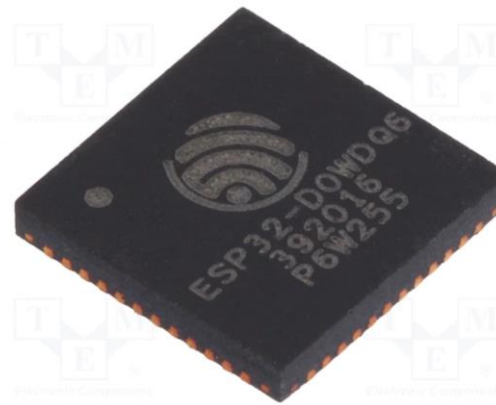


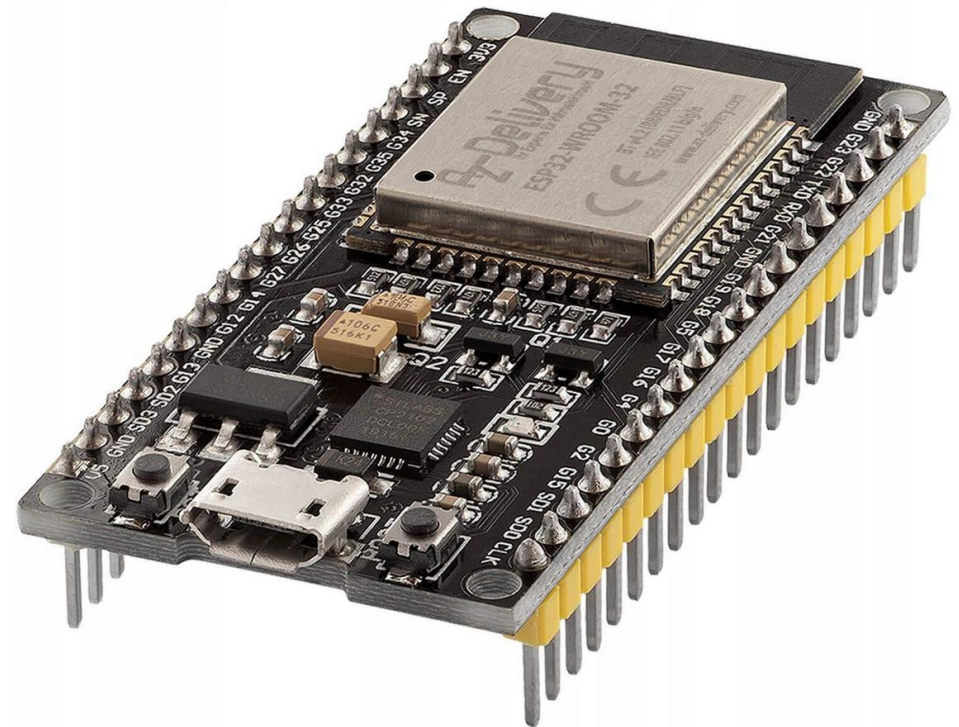
Figure 1: Functional Block Diagram

# ESP32

Cena: ~18zł



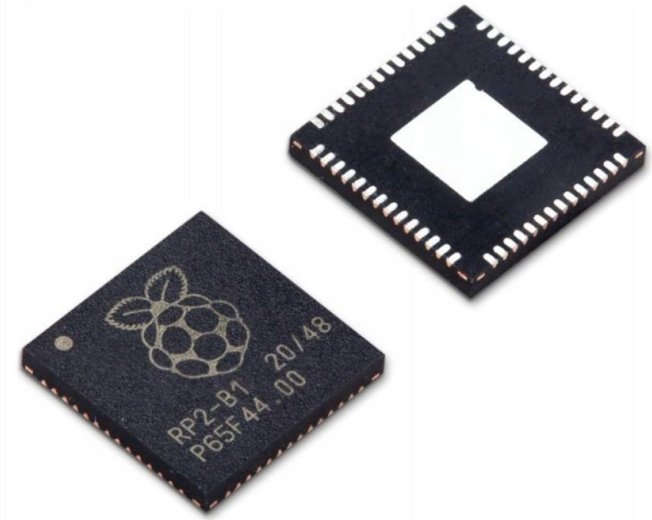
Cena: ~21zł



Cena: ~40zł

# Raspberry - RP2040

- Specyfikacja mikrokontrolera RP2040
- Procesor: dwurdzeniowy ARM Cortex-M0+
- Taktowanie: 133 MHz
- Pamięć SRAM: 264 kB
- Pamięć Flash: opcjonalna do 16 MB przez dedykowaną szynę QSPI
- Napięcie pracy: 1,8 V / 3,3 V
- Ilość GPIO: 30
- 4 x wejścia analogowe
  - 2 x UART, 2 x SPI, 2 x I2C, 16 x PWM
  - 1 x USB 1.1 oraz PHY
  - 8 x PIO
- Przetwornik ADC: 12-bit
- Obudowa: QFN-56
- Wymiary: 7,75 x 7,75 mm

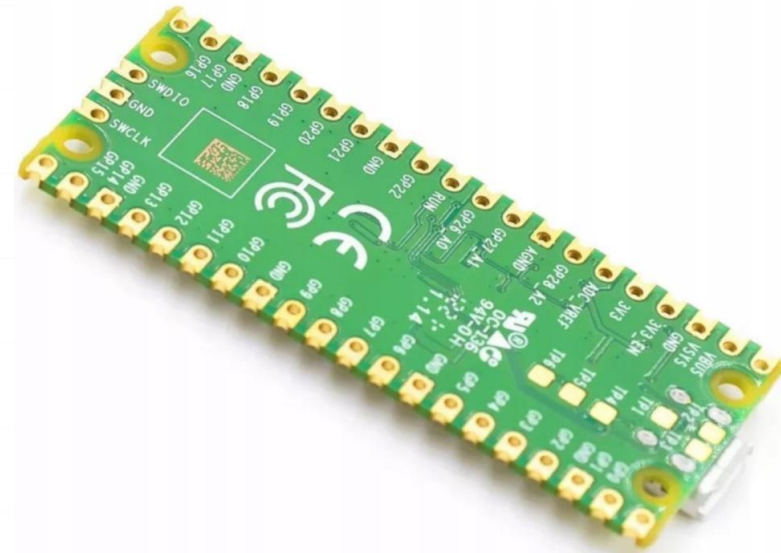
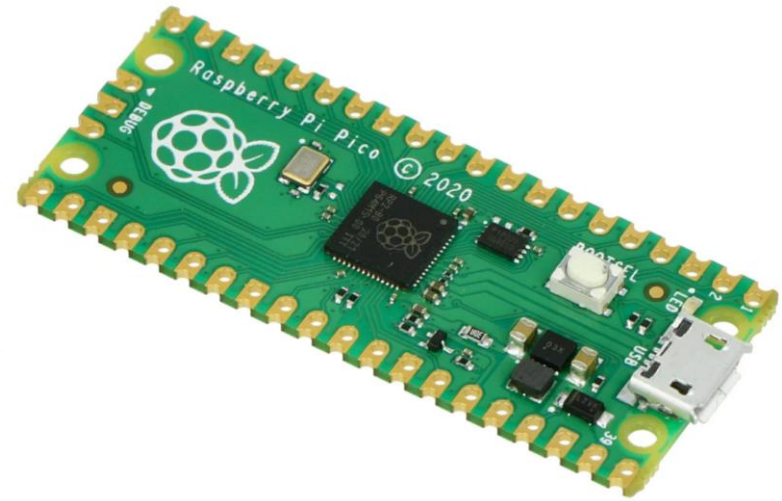


Cena: ~6zł

# Raspberry - RP2040

Niewielki moduł Raspberry Pi Pico z autorskim mikrokontrolerem Raspberry RP2040 wykonanym w UK. RP2040 to dwurdzeniowy układ oparty na ARM Cortex M0+ o taktowaniu 133 MHz. Moduł posiada 264 kB pamięci SRAM oraz 2 MB pamięci Flash. Układ wyposażono w 26 pinów GPIO, które pracują z napięciem 3,3 V oraz czujnik temperatury.

**Raspberry Pi Pico programowane jest w języku C/C++ lub MicroPython**



Cena: ~24zł

# Minikomputery

Co to jest?

- jednopłytkowy komputer – procesor, pamięć ram, karta graficzna, karta dźwiękowa, dysk
- możliwość uruchomienia standardowego systemu operacyjnego jak linux
- często dostępne dodatkowe interfejsy komunikacyjne znane z systemów embedded
- często dostępne dodatkowe wejścia/wyjścia
- łatwe zasilanie
- „energooszczędne”
- brak możliwości rozbudowy



Minikomputer a mikrokontroler:

- większa moc obliczeniowa
- mniejsza ilość interfejsów,
- ograniczone układy licznikowe i zasoby sprzętowe
- potrzebny system operacyjny

# Minikomputer a mikrokontroler

- większa moc obliczeniowa
- większa pamięć
- mniejsza ilość interfejsów komunikacyjnych,
- ograniczone układy licznikowe i zasoby sprzętowe
- potrzebny system operacyjny, sterowniki
- raczej nie do sterowania i kontroli procesów szybkich, krytycznych
- wyższa cena
- platforma zbierania i wizualizacji danych
- serwer multimediiów w domu

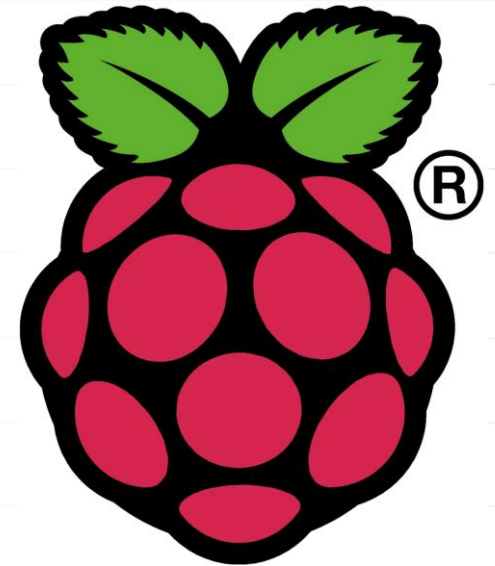
Minikomputer można umieścić pomiędzy komputerem PC a mikrokontrolerem.



# Minikomputery – Raspberry Pi

Raspberry Pi (RPI) to najpopularniejszy na świecie jednopłytkowy komputer. Platforma ta sprawdza się świetnie w zastosowaniach edukacyjnych (nauka elektroniki i programowania) oraz podczas budowy rozbudowanych, przemysłowych projektów.

Na płytce znajdziemy m.in. procesor, układ graficzny, pamięć RAM, gniazdo na karty microSD, gniazda microHDMI, USB 3.0 oraz gniazdo Ethernetu. Oprócz tego na pokładzie malinki znajdziemy również moduł komunikacji Bluetooth oraz WiFi.





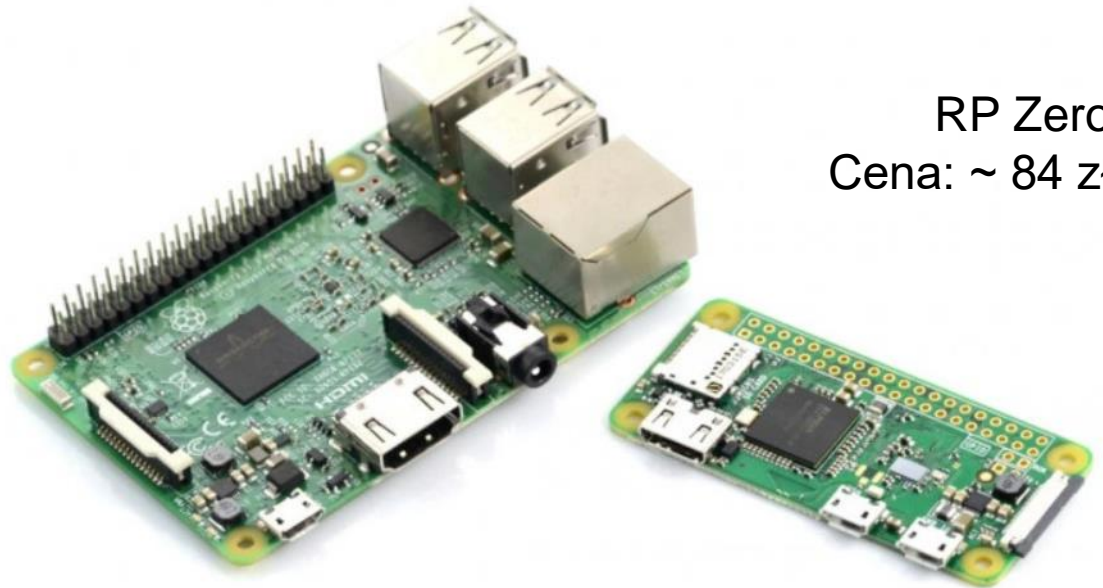
# Minikomputery – Raspberry Pi

## Specyfikacja Raspberry Pi 4B

- SoC Broadcom BCM2711:
  - CPU: czterordzeniowy ARM-8 Cortex-A72 64-bit 1,5 GHz,
  - GPU: Broadcom VideoCode VI
  - OpenGL ES 1.1, 2.0, 3.0.
- RAM 1/2/4 GB LPDDR4.
- Interfejs USB:
  - 2x USB 2.0,
  - 2x USB 3.0.
- Wyjścia audio/video:
  - 3,5 mm 4-pinowy jack (PAL, NTSC),
  - 2x micro HDMI (H.265 do 4K 60 kl/s),
  - gniazdo DSI.
- Kamera: gniazdo CSI.
- Komunikacja:
  - Bluetooth 5.0/BLE,
  - WiFi b/g/n/ac (2,4 GHz, 5 GHz),
  - Gigabit Ethernet 100/1000 Mb/s,
  - magistrale: UART, SPI, I2C.
- Zasilanie:
  - napięcie pracy: 3,3 V,
  - napięcie wejściowe: 5 V,
  - maksymalny pobór prądu 3 A,
  - złącze USB typu C.
- Wymiary płytki: 85 × 56 × 17 mm.

RP4

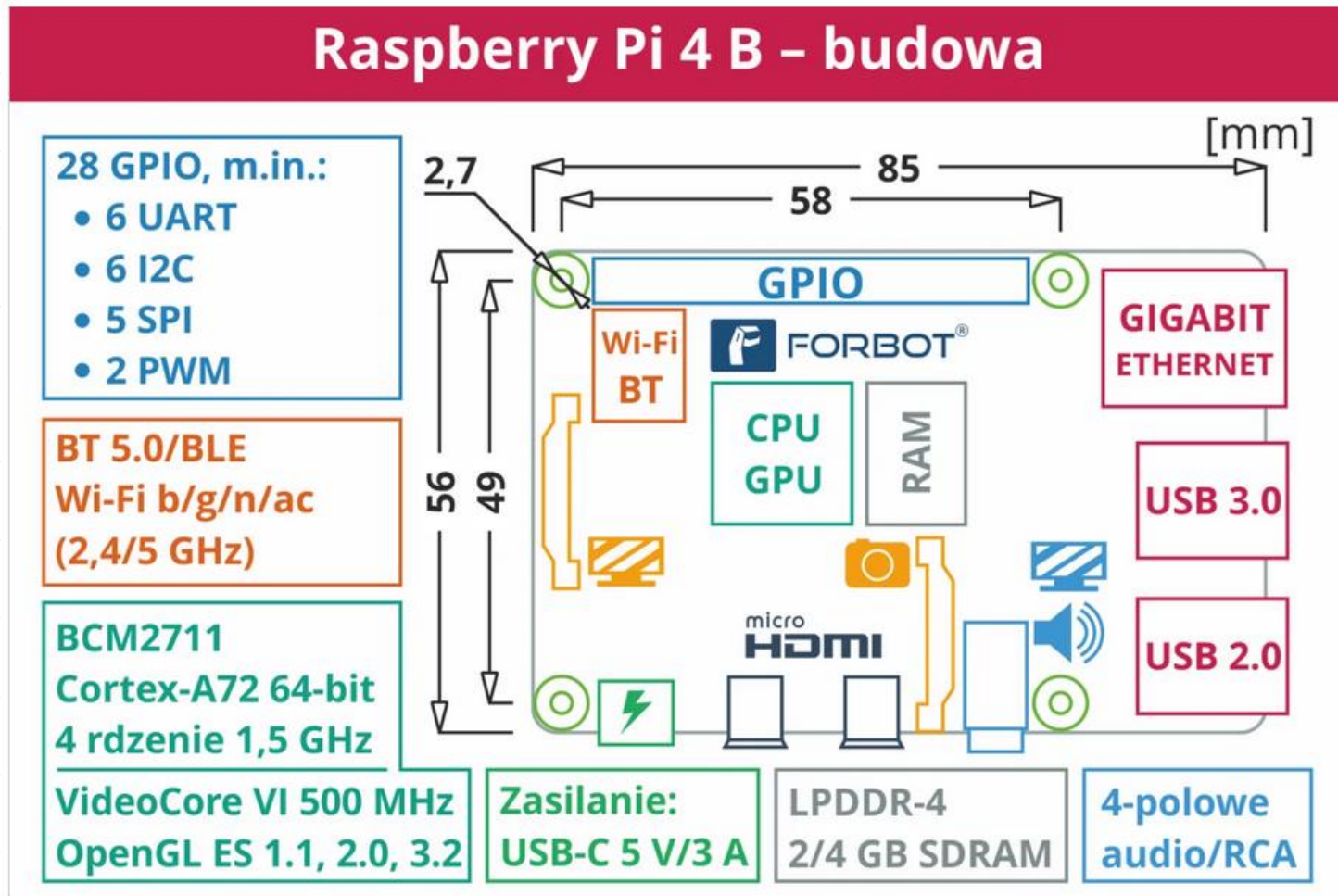
Cena: ~ 300-600zł



RP Zero

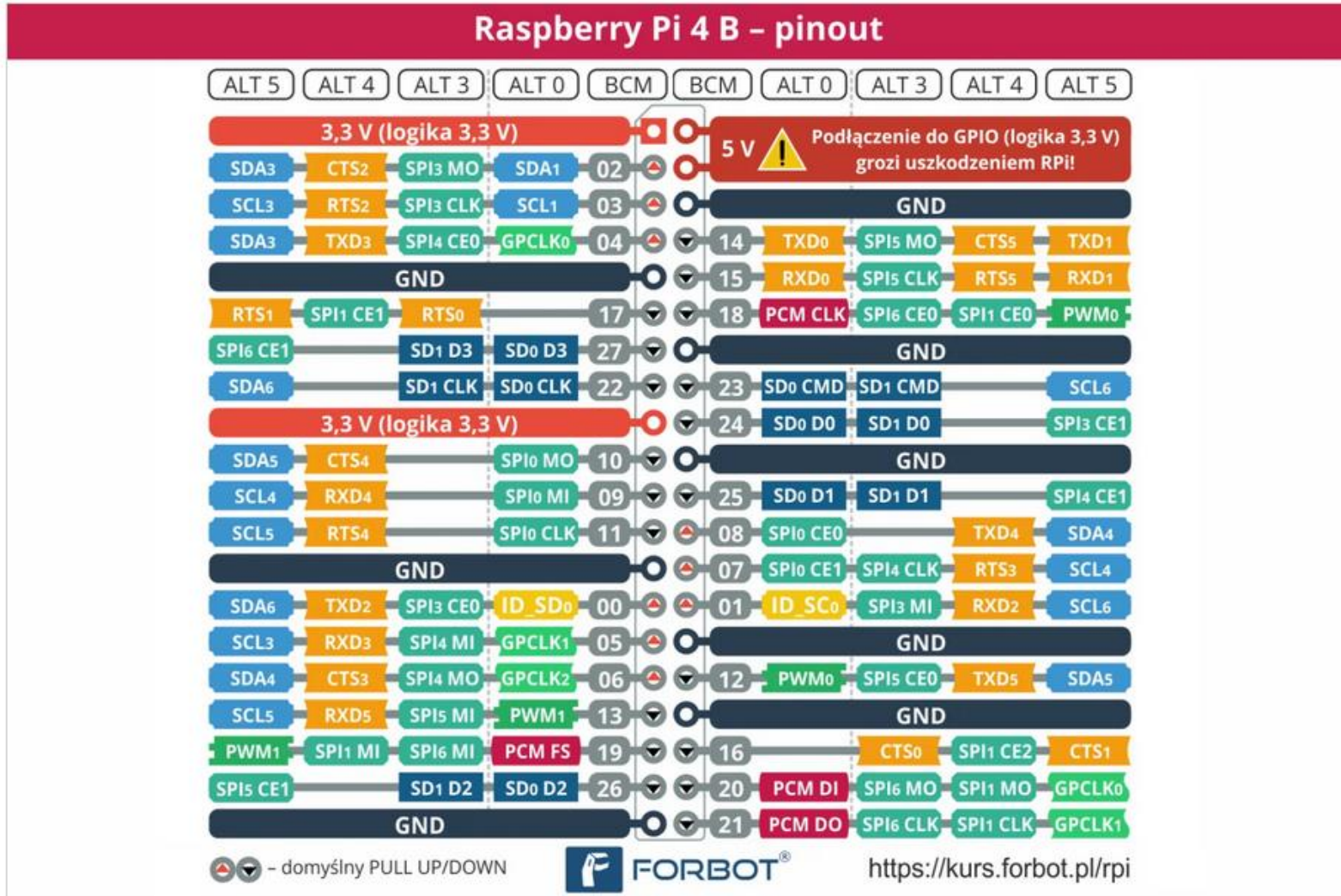
Cena: ~ 84 zł

# Minikomputery – Raspberry Pi



Opis najważniejszych elementów na RPi 4

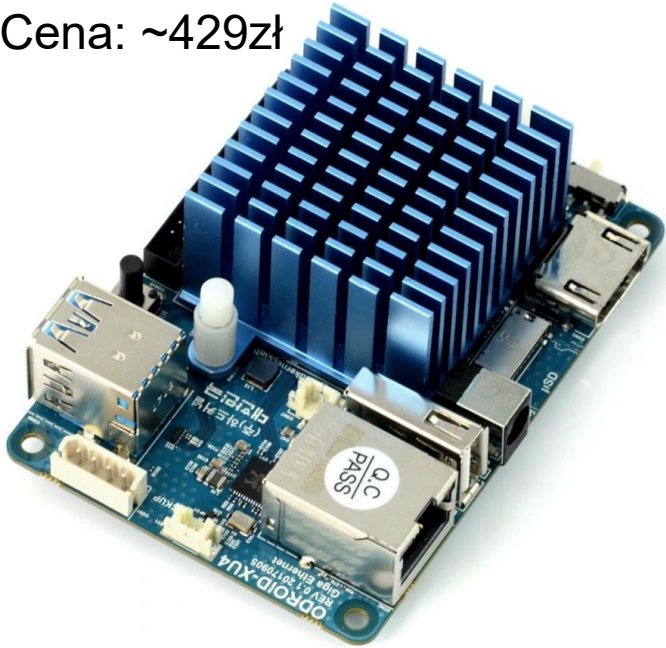
# Minikomputery – Raspberry Pi



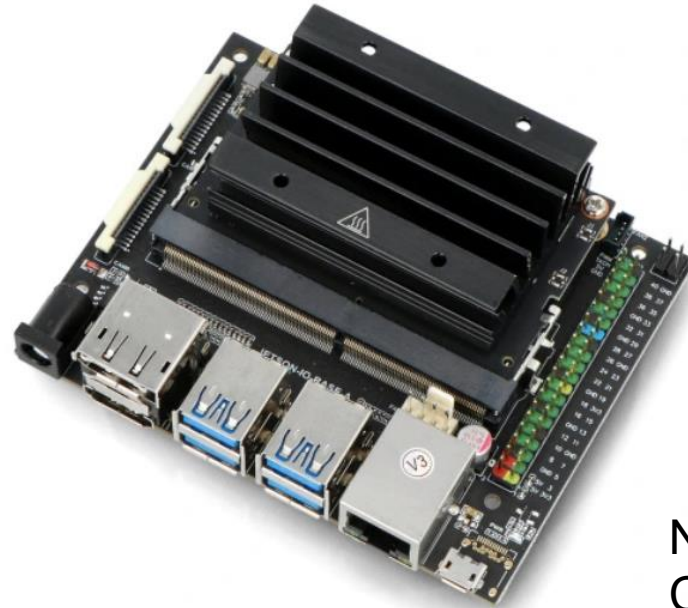
Pinout Raspberry Pi 4

# Minikomputery

Odroid XU4Q  
Cena: ~429zł



Banana PI  
Cena: ~229zł



Nvidia Jetson  
Cena: ~1500zł

# Perspektywy – kierunki rozwoju

- szybsze układy, wyższe taktowania
- Energooszczędność, praca na zasilaniu bateryjnym
- rozbudowane układy wspomagające (DMA, szyfrowania)
- bardziej zintegrowany- rozmiar, więcej funkcji w jednym krzemie,
- lepsze układy wewnętrzne – precyzyjniejsze ADC, rozbudowane możliwości układów licznikowych
- różne integracje SoC
- moduły „szyte na miarę” – bardziej specjalistyczne układy do dedykowanych zastosowań
- łatwiejszy start dla deweloperów – przykłady, oprogramowanie dostarczone przez producentów

?