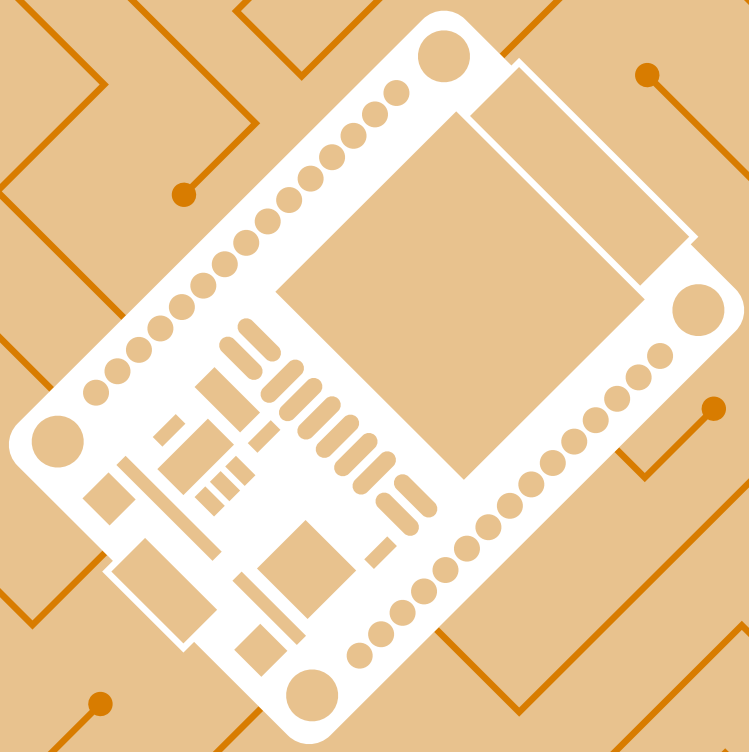
Martin Malý

ESP32 prakticky

Od základních obvodů k pokročilým aplikacím



Edice CZ.NIC

ESP32 PRAKTICKY
Od základních obvodů k pokročilým aplikacím

Martin Malý

Vydavatel:
CZ.NIC, z. s. p. o.
Milešovská 5, 130 00 Praha 3
Edice CZ.NIC
www.nic.cz

1. vydání, Praha 2024
Kniha vyšla jako 33. publikace v Edici CZ.NIC.
ISBN 978-80-88168-79-9

© 2024 Martin Malý
Toto autorské dílo podléhá licenci Creative Commons BY-ND 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/). Dílo však může být překládáno a následně šířeno v písemné či elektronické formě, na území kteréhokoliv státu, za předpokladu, že nedojde ke změně díla a i nadále zůstane zachováno označení autora a prvního vydavatele díla, sdružení CZ.NIC, z. s. p. o. Překlad může být šířen pod licencí CC BY-ND 4.0.

Tato kniha vyšla v Edici CZ.NIC. Chcete přispět na vznik dalších? Darujte libovolnou částku na **dar.nic.cz/kniha-ESP32**

Edice CZ.NIC je jednou z osvětových aktivit sdružení CZ.NIC, správce české národní domény.

cz.nic | SPRÁVCE DOMÉNY CZ

ISBN 978-80-88168-79-9

— Martin Malý

ESP32 prakticky

Od základních obvodů k pokročilým aplikacím

— Edice CZ.NIC

Poděkování

Poděkování

Pojďte, pane, budeme si hrát… Ale než začneme s hraním, rád bych poděkoval těm, bez nichž by tahle hra nebyla možná.

Předně děkuju lidem z Edice CZ.NIC. Je to už pátá kniha, kterou s nimi vydávám, a je to pro mne opravdu čest a radost spolupracovat s tak vstřícným vydavatelem. Speciální díky pak paní Kateřině Slavíkové, která mi dodala potřebný počáteční impuls ve chvíli, kdy jsem jen seděl a koukal na prázdný textový editor.

Velké díky patří Michalu Ševčíkovi za jeho práci na TMEP a Živý obraz. Michale, tyhle dvě služby jsou nejen užitečné a inspirativní, ale i praktické. Jsou jako dobře navržené moduly – člověk je jen zapojí, propojí drátky, a ono to funguje!

Děkuju všem kutilům, českým i zahraničním. Vaše nápady a konstrukce jsou jako nekonečný šuplík plný součástek a modulů. Někdy stačí jen trochu upravit, jindy se nechám inspirovat – a vznikne něco úplně nového.

A v neposlední řadě díky vám, čtenářům. Bez vás by to celé nemělo smysl. Jste jako proud v obvodu – nebýt vás, bylo by všechno ostatní jen mrtvou hromádkou součástek.

Díky!

Předmluva vydavatele

Předmluva vydavatele

Vážení čtenáři,

vydávat knihy Martina Malého je sázka na jistotu. Na jistotu, že čtenář dostane vyčerpávající informace o tématu stravitelnou a praktickou formou, která mu rozšíří znalosti a poodhalí svět, po kterém předtím jen nesměle pokukoval.

Nejinak je to i v případě této, v pořadí již páté, knihy, kterou nyní držíte v ruce. Autor nás uvádí do úžasného světa ESP32 určeného pro tvořivé duše, které touží vytvořit chytré domácí zařízení, ať už to má být meteostanice sbírající údaje o počasí nebo třeba digitální skleník. S přibývajícími stránkami se noříme do složitějšího programování, ale Martin Malý nám tu cestu srozumitelným výkladem usnadňuje a k tomu přidává praktické tipy a triky.

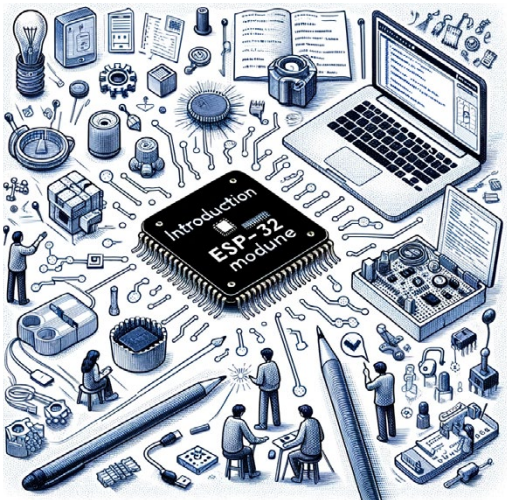
V úvodu své knihy Martin Malý vyzývá k hraní, zkoumání a zkoušení platformy ESP32, i za cenu objevování slepých uliček. S tím nelze než souhlasit. Je určitě lepší nadšeně objevovat, testovat, využívat svou fantazii a hledat řešení, než rezignovat na proces a radost z tvoření. Pevně věřím, že i Vám bude tato kniha skvělým průvodcem a praktickým pomocníkem.

Jaromír Novák, CZ.NIC
Praha, 14. září 2024

Pojďte, pane, budeme si hrát...

— Pojďte, pane, budeme si hrát…

Pojďte, pane, budeme si hrát…



Já vím, že to pravověrní pravoslavní nadšenci do elektroniky, či dokonce lidé z oboru, neuvidí rádi. Ty naše hry jsou totiž takové moc jednoduché, pane. Když potřebujeme zesilovač, koupíme si "modul zesilovač", nesestavujeme ho a nepájíme a neoživujeme… Když chceme připojit paměťovou kartu, nebudeme řešit, jak přesně připájet slot na plošný spoj, ale koupíme si modul, kde to někdo vyřešil za nás, a my jen pospojujeme drátky.

Dělám to, a dělám to bez výčitek, že *nepájím* a že *neleptám desky* a že *to není žádná pořádná elektrikařina*, když jen zapojuju hotové věci a propojuju je drátkama, *kdoví jestli vůbec umím pájet…* A už vůbec nemám výčitky z toho, že totéž doporučuju vám, čtenářům: montujte, sestavujte, zapojujte, propojujte, hlavně tvořte a hrajte si… Až budete potřebovat umět pájet, tak se to naučíte, o to se nebojím. Ale bál bych se o to, že než vás naučím pájet a vysvětlím Kirchhoffovy zákony, tak vás opustí nadšení a chuť cokoli dělat.

Pro takové hraní je ESP32 docela dobrá platforma. Možná znáte Arduino, Micro:bit nebo Raspberry Pi. ESP32 do této široké rodiny po právu patří. Výkonem by patřilo někam mezi Micro:bit a Raspberry Pi. Co se týče vybavení a externích součástek, bylo by ESP32 druhé po Arduinu: šíře nabídky dostupných modulů, kitů a stavebnic je opravdu obrovská. O ESP32 se dnes dá říct, že je plnohodnotným nástupcem Arduina – jen s lepší výbavou a větším výkonem.

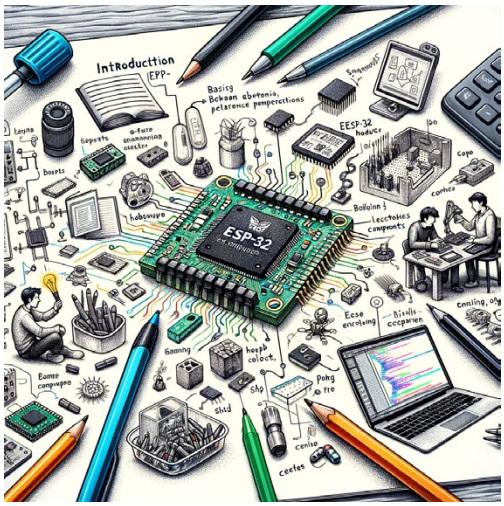
ESP32 je dnes tím, čím bylo Arduino před pár lety: pro spoustu aplikací „platforma první volby“. Chcete chytrý termostat? Použijete ESP32. Chcete domácí automatizaci? ESP32. Chcete něco s Bluetooth? ESP32! Chcete levný komunikační modul, který zvládne BLE, WiFi i Zigbee?

ESP32. Chcete nízkoodběrový čip, který bude pohánět vaše zařízení s elektronickým papírem? Chcete výkonný čip, který zvládne v reálném čase spoustu operací? Odpověď zní stále: ESP32.

Kupte kit, několik modulů – a zbytek je jen na vaší fantazii a schopnostech. Schopnosti se vám budou zlepšovat s tím, jak si budete hrát, jak budete přicházet na nové věci a prošlapávat slepé uličky. Ano, vyhnuli byste se jim, kdybyste nejdřív jen seděli a šprtali teorii. Já ale věřím, a ve svých knihách se toho držím, že nejlepší získávání vědomostí je, když při tom taky něco děláte a zkoušíte si to, co jste se naučili.

Pro koho je tato kniha

Pro koho je tato kniha



Je fér na úplný začátek říct, že tato kniha předpokládá, kromě zájmu o téma, i nějakou úroveň znalostí a dovedností. Kniha je určena všem kutilům a nadšencům do elektroniky, kteří mají chuť prozkoumat možnosti moderních technologií. Pokud máte alespoň základní zkušenosti s elektronikou a nebojíte se pájet nebo manipulovat s drátky a součástkami, jste na správné adrese.

Zájemci o internet věcí (IoT) zde najdou spoustu inspirace a praktických návodů, jak propojit své zařízení s okolním světem. Ať už vás láká monitorování prostředí, domácí automatizace nebo vytváření chytrých gadgetů, ESP32 nabízí široké spektrum možností, které čekají na vaše objevení.

Důležitý předpoklad pro čtení této knihy je znalost programování v Arduino IDE nebo obdobném prostředí. Nebudeme probírat programování od úplného začátku; předpokládám, že již máte nějaké zkušenosti, ať už s Arduinem, nebo s obdobnými kity, minimálně na úrovni znalostí toho, jak se programuje v C/C++, a že vám nejsou cizí pojmy jako „flashovat“, „bootovat“, „sériové rozhraní“ nebo „instalace ovladače“.

Příklady a zdrojové kódy ke knize najdete na webu https://espx.cz

Obsah

Poděkování **7**

Předmluva vydavatele **11**

Pojďte, pane, budeme si hrát… **15**

Pro koho je tato kniha **19**

1 Co je ESP32? **29**
1.1 První projekt 29
1.2 Trocha historie 35
1.3 ESP32 36
1.4 ESP32: Nová generace 40
1.5 ESP8266 43

2 Co budeme používat? **47**
2.1 ESP-WROOM-32 (DOIT) 47
2.2 TTGO T-Display 48
2.3 TTGO LoRa32 V1.6 433Mhz 49
2.4 TTGO VGA32 50
2.5 LaskaKit ESP32-C3-LPKit 50
2.6 LaskaKit Meteo Mini 51
2.7 LaskaKit ESPink 51
2.8 AI-Thinker ESP32-CAM 52

3 Vývojová prostředí **57**
3.1 Arduino IDE 57
3.2 Platformio 63
3.3 ESP-IDF 64
3.4 Thonny / MicroPython 71
3.5 Rust 75
3.6 Wokwi 76

4 Jednoduché projekty **81**
4.1 Meteostanice 81
4.2 Aktualizace na dálku 103
4.3 Webserver pro meteostanici 114
4.4 Digitální skleník 131
4.5 Streamování videa 153

5 Interní komponenty **163**
5.1 GPIO, I²C a další… 163
5.2 Úložiště NVS 181
5.3 EEPROM 187
5.4 SD/MMC 188
5.5 Interní úložiště (FAT, SPIFFS, LittleFS) 193
5.6 Přerušení 200
5.7 Interní teploměr 206
5.8 Hallův senzor 208
5.9 Kryptografický akcelerátor 210
5.10 Šetření energií 221
5.11 Bezpečnost především 231

6 Komunikace s okolím **243**
6.1 WiFi 243
6.2 Bluetooth 283
6.3 BLE 289
6.4 ESPNow 296
6.5 NTP 311
6.6 ESP-MESH 313
6.7 LoRa 320
6.8 WebSocket a WebSerial 328
6.9 MQTT 333
6.10 Displej TFT / OLED 340
6.11 TTGO VGA32 a FabGL 355

7 Programování s ESP-IDF **367**
7.1 Projekt a komponenty 368
7.2 Kconfig 381
7.3 Logování 394
7.4 Ošetření chyb 396
7.5 Oddíly FLASH 396
7.6 Vytváření vlastních tabulek 398
7.7 Práce se SPIFFS 401
7.8 Pauza 404
7.9 Přerušení 405
7.10 Náhodná čísla 406
7.11 Ukázky kódu s ESP-IDF 407

8 FreeRTOS **425**
8.1 Multitasking 425
8.2 Semafory 433
8.3 Mutex 438
8.4 Fronty 441
8.5 Skupiny událostí (Event Groups) 444
8.6 FreeRTOS a Arduino IDE 447

9 Idea box **453**
9.1 Node-RED 453
9.2 Ovládání přes Telegram 456
9.3 IKEA Vindriktning 462
9.4 ChatGPT 462
9.5 ESPHome 468
9.6 TMEP.cz 480
9.7 Živý obraz 486
9.8 Meshtastic 487
9.9 Signály z vesmíru 489

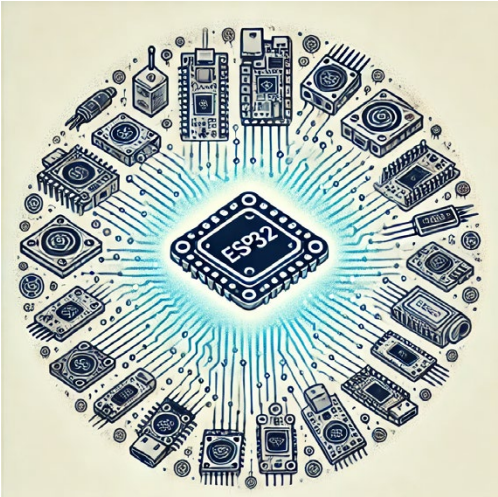
10 Tipy a triky **501**
10.1 ESPtool 501
10.2 Idf.py 503
10.3 Řetězce a pole znaků v C/C++ 505
10.4 ESP-DASH: Nástroj pro vytváření webových dashboardů 510
10.5 Flash Modes 513
10.6 Boot Modes 514
10.7 Problém s nahráváním 515
10.8 Řešení problémů s nahráváním firmware na desky s ESP32-C3 515

11 Závěr **519**

Přílohy **523**
Zapojení běžných modulů 523
Disclaimer 524
Další knihy tohoto autora: 530

1 Co je ESP32?

1 Co je ESP32?



1.1 První projekt

Přemýšlel jsem, jakým projektem začít, a nakonec jsem si řekl, že ideální bude začít něčím jednoduchým, tedy systémem domácí automatizace, která využívá mesh síť a řídí spotřebiče podle senzorů, připojuje se na HomeKit a komunikuje přes Amazon Alexa, zatímco odpovědi formuluje GPT4. Je to opravdu jednoduché a pojďme rovnou na to!

Ne, promiňte, dělám si legraci. Samozřejmě že popsaný projekt lze udělat. A velmi pravděpodobně to po dočtení této knihy zvládnete sami. Ale rozhodně to není projekt, kterým se začíná. Začíná se od něčeho jednoduššího. Co takhle oblíbený „Hello world“?

1.1.1 Hello world

Známý „Hello world“, v češtině jako „Ahoj světe“, je první příklad, jakým začíná většina návodů a učebnic. Je jednoduchý, a přitom je vidět, že to, co děláte, dobře dopadlo a funguje to. Což člověka povzbudí mnohem víc, než když složitě opíše dlouhý kód, chce ho spustit – a obdrží sérii chybových hlášení, v horším případě nesmyslných výstupů, v tom nejhorším jen ticho.

Takže začneme „ahojsvětem“. Jenže zatímco třeba u Arduina nebo Micro:bitu máte jeden nebo několik málo typů zařízení, u ESP32 tomu tak není. Je k dispozici obrovské množství modulů s těmito obvody (protože ESP32 taky není jen jeden obvod, ale celá rodina různých obvodů) a pravděpodobnost, že máte doma zrovna ten, o kterém píšu já, je poměrně malá. Ale na druhou

stranu je pravda, že minimálně sériový port mít bude, a bude umět poslat ono „ahoj světe“ do počítače.

Dejme tomu, že máte nějaký kit s ESP32, třeba nejznámější, nejběžnější a nejdostupnější kit DOIT s označením ESP-WROOM-32. Dejme tomu, že jej máte připojený k PC, na PC máte nainstalované vývojové prostředí (IDE) Arduino a v něm nainstalovanou platformu ESP32.

Výběru modulů, popisu jejich funkcí, stejně jako vývojovým prostředím a jejich instalaci se budou věnovat další kapitoly knihy. Pokud v tuto chvíli ještě nemáte modul nebo vývojové prostředí připravené, pročtěte si patřičné kapitoly a pak se vraťte, nebo použijte emulátor – jak na to si ukážeme za chviličku.

Zadejte následující kód:

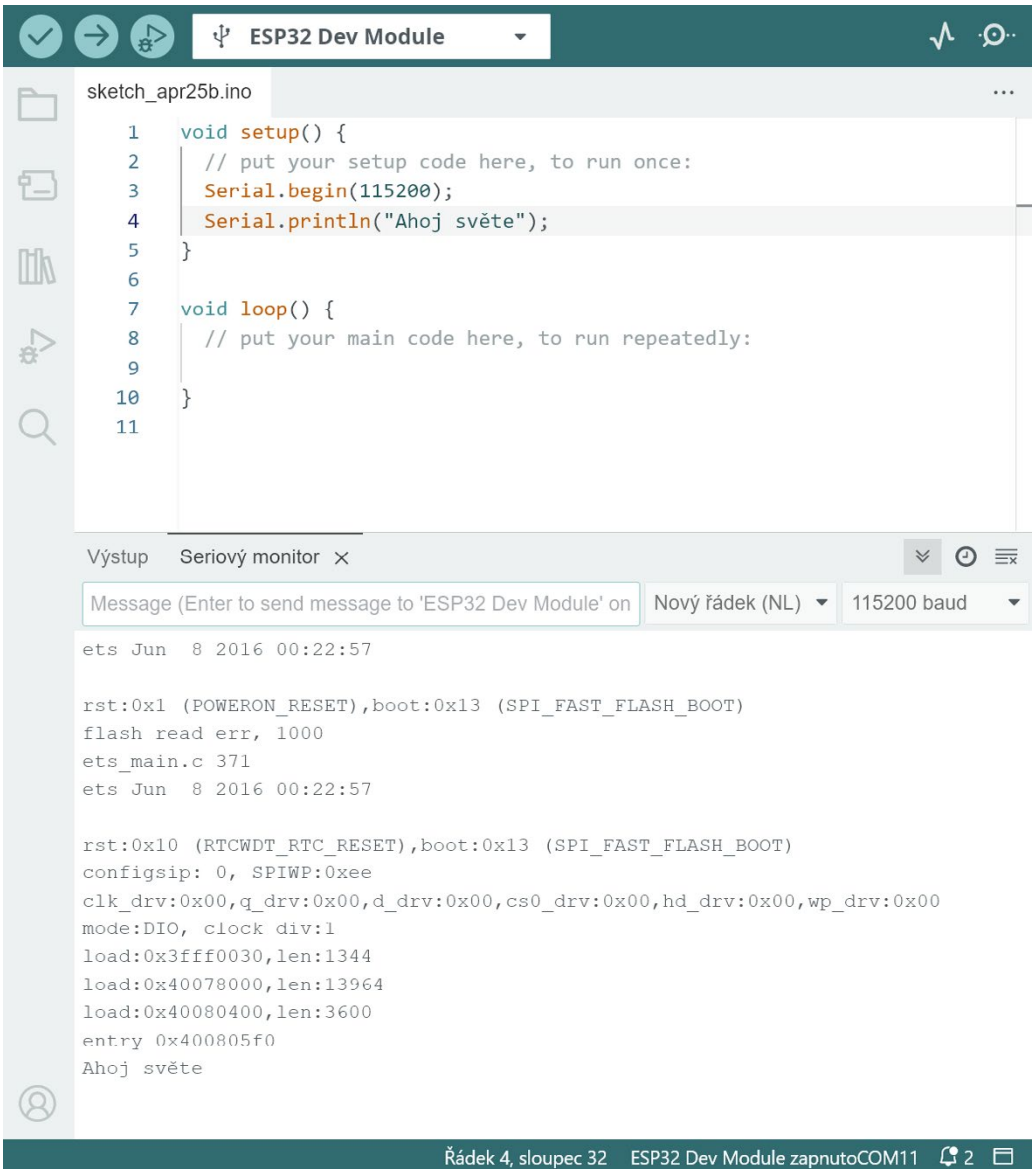
```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Ahoj světe");
}


void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Vlastně je potřeba dopsat jen dva řádky do funkce `setup()`:

```
Serial.begin(115200);
Serial.println("Ahoj světe");
```

První nastaví přenosovou rychlost sériového portu na 115200 baudů (bitů za sekundu) a druhý vypíše zadaný řetězec na sériový port.

Pokud správně nastavíte typ desky (záleží na tom, který máte, u ESP-WROOM-32 zvolte „ESP32 Dev Module“) a číslo portu (to je přiřazeno při připojení desky k PC), měl by kód jít přeložit a nahrát (ikona Nahrát / Upload, klávesová zkratka Ctrl+U, volba menu Sketch > Nahrát).

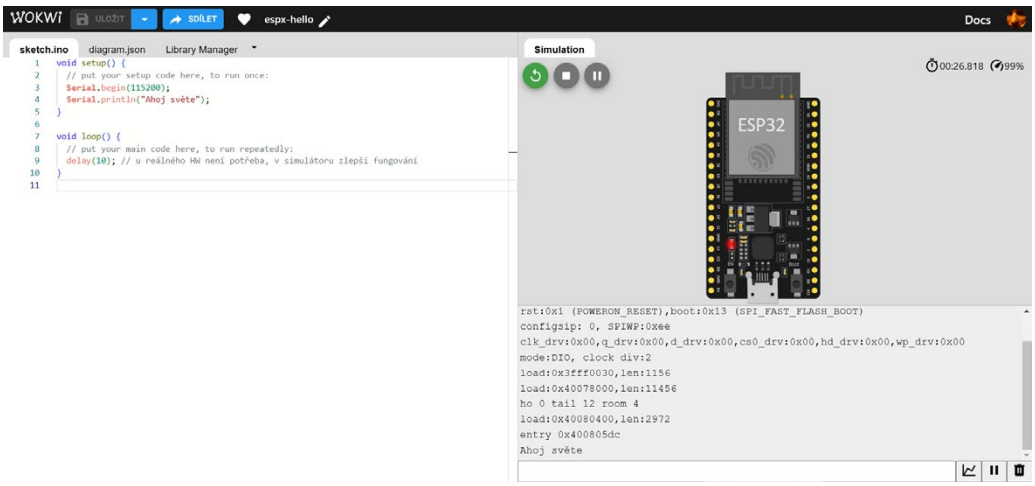


A nyní, fakt takhle úplně na začátku celé knížky, mám jeden trik pro lidi, co si zatím nenainstalovali ani Arduino IDE, ani si nekoupili žádný kit: použijte emulátor!

1.1.2 Wokwi

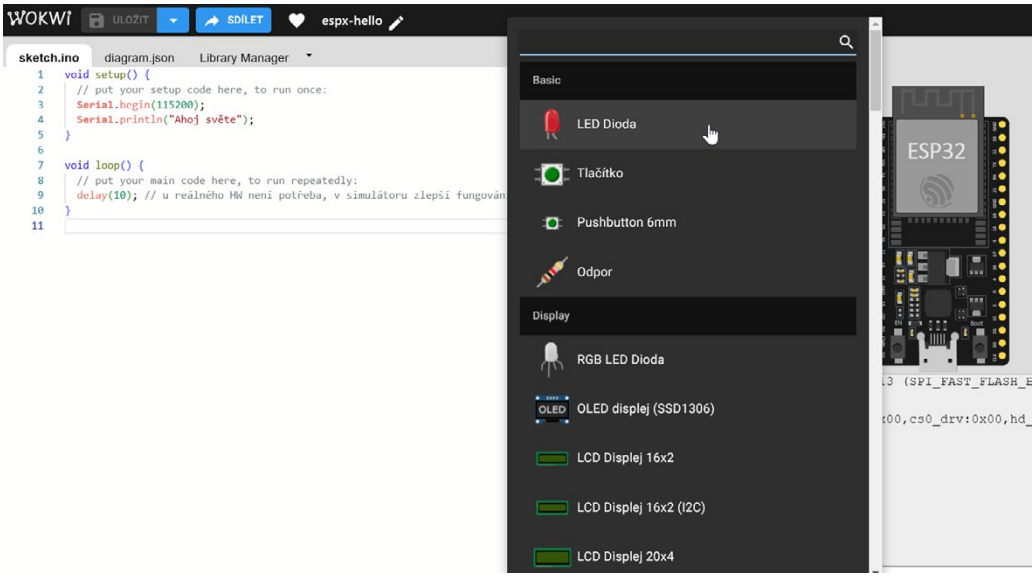
Emulátor je k dispozici na adrese https://wokwi.com/. Vyberte z nabídky ESP32 (můžete zkusit i Arduino, STM32 nebo Raspberry Pi Pico) a ze seznamu „Starter Templates“ vyberte ESP32. Otevře se vám nový editor, kde vlevo můžete editovat sketch („sketch“ u Arduina odpovídá zhruba softwarovému „projektu“) a vpravo můžete vidět nejen vizualizaci modulu, ale můžete zde i tvořit jednoduchá zapojení s různými součástkami a moduly.

Zkopírujte do sketch.ino výše uvedený kód a přidejte do funkce `loop()` drobné čekání – autoři jej doporučují pro lepší fungování simulátoru. Pak v pravé polovině klikněte na spuštění programu (zelená ikona s šipkou) – a uvidíte výsledek:



Samotný modul nemá zabudovanou LED, jako třeba Arduino, takže druhý nejběžnější příklad, totiž blikání, musíte vyřešit přidáním reálné LEDky, rezistoru a několika vodičů.

Ve Wokwi můžete použít modré tlačítko „plus“ – zkuste si přidat LED a rezistor:



Následně součástky propojte (klikněte na vývod, myší natáhněte propojení a klikněte na druhý vývod):

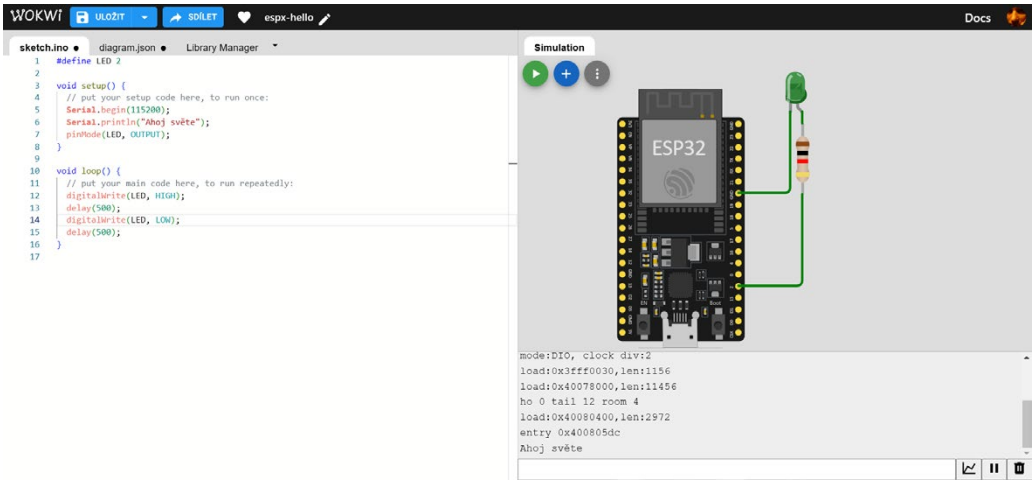
- Propojte katodu LED s výstupem GND
- Propojte anodu LED s jedním vývodem rezistoru
- Druhý vývod rezistoru propojte s pinem 2

Do kódu přidejte jeden řádek do funkce `setup()`, který se postará o to, aby byl pin 2 přepnut do módu výstup, a do funkce `loop()` čtyři řádky, které přepnou výstup 2 na vysokou úroveň, počkají, pak jej přepnou na nízkou a opět počkají. A aby se to celé lépe spravovalo, tak si v prvním řádku nadefinujeme makro `LED`, které má hodnotu 2, abychom všude tam, kde odkazujeme na vývod s připojenou LEDkou, mohli psát jen LED a nemuseli psát číslo:

```
#define LED 2


void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Ahoj světe");
  pinMode(LED, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(LED, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(LED, LOW);
  delay(500);
}
```

Spusťte, program se přeloží – a jupí, LEDka bliká!



Teda zatím jen virtuální, ale pokud uděláte úplně totéž na nepájivém kontaktním poli a propojíte LED, rezistor, vstup 2 a GND stejně jako v simulátoru, můžete si zkusit nahrát program přímo do desky. Všechno by mělo blikat na první zapojení.

Možné problémy:

- Program se nenahrává: nemáte vybranou desku, nemáte vybraný port
- Program se nahraje, ale neběží: zkontrolujte, že jste vybrali správný typ desky.
- Program se nahraje, v Sériovém monitoru vidíte, že běží (napsal „Ahoj světe“), ale nebliká: nejčastější příčina je obráceně zapojená LED.

Pokud jste si už dřív hráli s Arduinem, tak máte teď příležitost zkusit si to, co umíte, přeložit a spustit na ESP32. Většina by měla fungovat na „první dobrou“. A my ostatní si zatím řekneme, co je vlastně ESP32, jaké jsou nejběžnější desky a jaké budeme používat v této knize.

1.2 Trocha historie

Pojďme od začátku.

V roce 2014 přišel na trh „bastlířských modulů“ relativně nenápadný modul od společnosti AI Thinker, nazvaný ESP-01. Modul obsahoval čip ESP8266 tehdy málo známé čínské společnosti Espressif a fungoval jako jednoduchý „WiFi modem“. Modul jste mohli připojit k nějakému systému, například postaveném na Arduinu, pomocí klasického sériového UART rozhraní a ovládat jej pomocí známých „AT“ příkazů.

AT příkazy, někdy zvané i „Hayes AT commands“, je způsob, jakým se komunikovalo s prvními modemy, které se připojovaly k telefonnímu vedení. Definuje, jak se posílá příkaz (např. „vytoč číslo“ nebo „zavěs“) a jak data. Příkazy začínají dvojicí znaků AT („attention“, tedy „pozor“) a mají pevně daný formát. Několik příkazů je de facto standardních, jako ATDT („ATtention, Dial, Tone“ – tedy vytáčení čísla tónovou volbou), ATH („Attention, Hang up“ – ukončuju spojení, zavěšuju), ATA („Attention, Answer“ – přijmout příchozí volání), ale většina modemů si definovala k tomu proprietární sadu příkazů.

ESP-01 jste tedy mohli připojit (a dodneška můžete, samozřejmě) ke svému systému a posílat mu po sériové lince příkazy, kterými jste mohli získat seznam WiFi sítí v okolí, připojit se k nějaké, přepnout modul do módu přístupového bodu nebo do módu WiFi klienta, poslat požadavek nebo přijmout data.

V té době existovaly už různé WiFi shieldy pro Arduino atd., ale byly poměrně drahé. ESP-01 tehdy stál zhruba sto korun, což byla cena výrazně nižší. Jeho většímu rozšíření bránil nedostatek informací a dokumentace. Ale nízká cena a dobrá dostupnost přitáhly zájem nadšenců do elektroniky z celého světa a postupně se podařilo zjistit podrobnosti o čipu, o jeho software, o nedokumentovaných instrukcích, a dokonce i přeložit originální dokumentaci z čínštiny.

Na rozdíl od jiných modulů s jednoúčelovými čipy byl ESP8266 plnohodnotný RISCový mikrokontrolér a WiFi rozhraní byla pouze jedna jeho část. Díky překladu dokumentace a experimentům se podařilo připravit pro tento modul i celé vývojové prostředí a implementovat jej do známého ekosystému Arduina.

Brzy přišly moduly, které byly s Arduinem kompatibilní, ale místo ATMega32 používaly právě ESP8266 (například od společnosti Wemos). A tehdy dostalo celé hnutí nadšenců do elektroniky novou sílu: konečně bylo možné levně a rychle připojovat konstrukce k síti, navíc bezdrátově…

Modulů s ESP8266 vznikla celá řada, kdybych byl příznivce floskulí, tak napíšu, že *ESP8266 vzal bastlířský svět útokem*, takže když společnost Espressif oznámila nový, zásadně vylepšený čip,

všichni napjatě očekávali něco velmi výrazného. A dočkali se: čip ESP32, představený v roce 2016, byl opravdu velkým krokem vpřed.

1.3 ESP32

ESP32 nabízí výrazné vylepšení oproti svému předchůdci. Má výkonný dvoujádrový procesor Tensilica Xtensa LX6 dual-core, který může běžet až na frekvenci 240 MHz, a obsahuje také integrované rozhraní WiFi a Bluetooth.

Díky svému otevřenému vývojovému prostředí a podpoře komunity se ESP32 stal populární platformou pro různé projekty, od domácí automatizace a robotiky po wearable technologie. Je podporován mnoha vývojovými nástroji, včetně Arduino IDE a MicroPython, což usnadňuje vývojářům začít s jeho používáním.

Integrované bezdrátové rozhraní WiFi a Bluetooth umožňuje snadné připojení k sítím a ovládání zařízení z chytrého telefonu nebo jiného zařízení. ESP32 podporuje protokoly Bluetooth Classic a Bluetooth Low Energy (BLE). ESP32 také obsahuje řadu periférií, včetně UART, SPI, I^2C, I2S, ADC, DAC, GPIO a touch senzorů.

Důležitá funkce, především pro různá IoT zařízení, je schopnost přepnout se do režimu spánku a tím šetřit elektrickou energii. Mikrokontrolér ESP32 nabízí více režimů úspory energie, které umožňují snížit spotřebu energie během provozu.

1.3.1 Základní charakteristika ESP32:

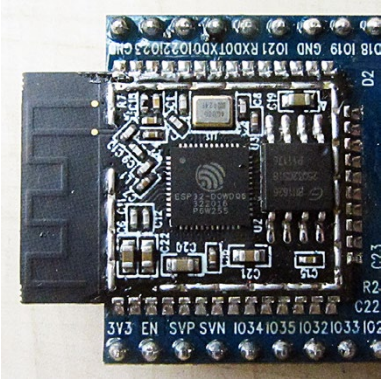
- Jedno- nebo dvoujádrové 32bitové mikroprocesory Xtensa LX6
- Podpora aritmetické jednotky s pohyblivou řádovou čárkou (FPU) s jednoduchou přesností
- WiFi: 802.11 b/g/n
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR a BLE (s rádiovou částí sdílenou s WiFi)
- 34 programovatelných GPIO linek
- 12bitový SAR A/D převodník s až 18 kanály
- 2 x 8bitový D/A převodník
- 10 dotykových senzorů (GPIO s kapacitním snímáním)
- 4 × SPI
- 2 × rozhraní I^2S
- 2 × rozhraní I^2C
- 3 × UART
- SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC server řadič
- SDIO/SPI slave řadič

- Ethernet MAC rozhraní s vyhrazeným DMA a plánovanou podporou IEEE 1588 Precision Time Protocol
- CAN bus 2.0
- Infračervené dálkové ovládání (TX/RX s až 8 kanály)
- Čítač impulsů (umožňující plně kvadraturní dekódování)
- PWM výstup pro motor
- PWM výstup pro LED (s až 16 kanály)
- Analogový předzesilovač s ultranízkou spotřebou
- Podporuje všechny bezpečnostní prvky standardu IEEE 802.11, včetně WPA, WPA2, WPA3 (podle verze) a WLAN Authentication and Privacy Infrastructure (WAPI)
- Secure boot
- Flash šifrování
- 1024bitové OTP, pro zákazníky až 768bitové
- Kryptografické hardwarové akcelerátory: AES, SHA-2, RSA, kryptografie nad eliptickými křivkami (ECC), generátor náhodných čísel (RNG)
- Interní regulátor s nízkým úbytkem napětí (LDO)
- RTC v samostatné výkonové doméně
- odběr 5 μA v režimu hlubokého spánku
- Probuzení GPIO přerušením, časovačem, ADC měřením nebo událostí z kapacitního dotykového senzoru

1.3.2 Moduly s ESP32

ESP32 se distribuuje, jako jiné integrované obvody, především v podobě klasických čipů pro povrchovou montáž (SMD). K tomuto obvodu je potřeba připojit nezbytné periferie, především anténu pro komunikaci přes WiFi a Bluetooth.

V této podobě by ESP32 nebyl pro bastlíře moc použitelný. Je zapotřebí pájet velmi malá pouzdra, a hlavně správně navrhnout plošný spoj – a návrh plošného spoje, kde je veden rádiový signál, není tak jednoduchá disciplína, jak by se mohlo zdát. Proto výrobce nabízí několik modulů, které jsou mnohem praktičtější. Obsahují totiž anténu (nebo anténní konektor), oscilátor a další komponenty, a mají plechový kryt, který sníží RF rušení.



Modul WROOM-32 bez kovového krytu. Foto: Brian Krent, CC-BY-SA

Existuje několik základních typů modulů ESP32, které se liší velikostí, počtem GPIO pinů a dalšími funkcemi. Mezi základní používané typy první generace (ESP32) patří:

	Hlavní charakteristiky			
Modul	**Čip**	**Flash**	**PSRAM**	**Anténa**
ESP32-WROOM-32	ESP32-D0WDQ6	4 MB	–	MIFA
ESP32-WROOM-32D	ESP32-D0WD	4 MB	–	MIFA
ESP32-WROOM-32U	ESP32-D0WD	4 MB	–	U.FL
ESP32-SOLO-1	ESP32-S0WD	4 MB	–	MIFA
ESP32-WROVER	ESP32-D0WDQ6	4 MB	8 MB	MIFA
ESP32-WROVER-I	ESP32-D0WDQ6	4 MB	8 MB	U.FL
ESP32-WROVER-B	ESP32-D0WD	4 MB	8 MB	MIFA
ESP32-WROVER-IB	ESP32-D0WD	4 MB	8 MB	U.FL

ESP32-D označuje čipy s dvěma jádry (dual core), ESP32-S označuje jednojádrové čipy (single core). MIFA je anténa, vytvořená pomocí obrazce na plošném spoji, U.FL označuje modul, kde je k dispozici miniaturní anténní konektor (též IPEX).

Srovnání modulů s anténou MIFA (vlevo) a s konektorem U.FL (vpravo)

S těmito moduly se stále můžete setkat v konstrukcích i ve skladech prodejců elektroniky, i když je výrobce označuje jako „nedoporučené pro nové návrhy“. Nové moduly používají inovovanou architekturu (verze V3) a jsou to:

		Hlavní charakteristiky			
Modul	**Nahrazuje**	**Čip**	**Flash (MB)**	**PSRAM (MB)**	**Anténa**
ESP32-WROOM-32E	ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D	ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3	4, 8, 16	–	MIFA
ESP32-WROOM-32UE		ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3	4, 8, 16	–	U.FL
ESP32-MINI-1		ESP32-U4WDH	4	–	MIFA
ESP32-MINI-1U		ESP32-U4WDH	4	–	U.FL
ESP32-PICO-MINI-O2		ESP32-PICO-V3-02	8	–	MIFA
ESP32-WROVER-E	ESP32-WROVER-B	ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3	4, 8, 16	8	MIFA
ESP32-WROVER-IE	ESP32-WROVER-IB	ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3	4, 8, 16	8	U.FL

Čipy ESP32 jsou založené na 32bitovém procesoru Xtensa LX6 s operační frekvencí 80-240 MHz. ESP32-U i ESP32-D jsou dvoujádrové. Číslice za tímto označením udává velikost paměti FLASH přímo na čipu (ESP32-U4 má 4 MB FLASH). Čipy ESP32-D0 neobsahují FLASH; musí být připojena externě. Písmena WD označují „WiFi a Bluetooth“, R2 znamená „2 MB PSRAM na čipu“ a konečně -V3 říká, že jde o třetí verzi čipu (novou).

1.4 ESP32: Nová generace

Další generaci čipů pak představují modelové řady ESP32-P, ESP32-S, ESP32-C a ESP32-H.

1.4.1 ESP32-P

ESP32-P je (v době psaní knihy) oznámená a připravená řada nejvýkonnějších modelů ESP32. Oznámený model ESP32-P4 je určený pro vysoce výkonné aplikace, které vyžadují silné zabezpečení, které spoléhají na podporu HID, efektivní edge computing a mají zvýšené požadavky na konektivitu. Obsahuje dvoujádrový procesor s architekturou RISC-V, rozšířený o instrukce pro podporu AI a taktovaný až na 400 MHz. Kromě toho je v ESP32-P4 integrováno jádro LP-Core (Low power), které může pracovat až na frekvenci 40 MHz. To má zásadní význam z hlediska podpory aplikací s velmi nízkou spotřebou, které mohou občas vyžadovat vysoké výpočetní výkony. Takové aplikace mohou mít HP jádra po většinu času vypnuta, fungovat jen s LP jádrem, a HP zapnout pouze na nezbytně nutnou dobu, kdy je potřeba vysoký výkon – např. pro rozpoznávání obličeje.

ESP32-P4 má více než 50 programovatelných GPIO a podporuje všechny běžně používané periferie, jako jsou SPI, I2S, I^2C, PWM, RMT (rozhraní pro IR dálkové ovládání), ADC, DAC, UART a TWAI. Dále ESP32-P4 podporuje USB OTG 2.0 HS, Ethernet a SDIO Host 3.0 pro vysokorychlostní připojení. Kromě toho ESP32-P4 integruje hardwarové akcelerátory pro různé formáty médií a kompresní protokoly pro zpracování obrazu a streamování videa, včetně podpory kódování H.264.

1.4.2 ESP32-H

ESP32-H je v současnosti zastoupena jediným modelem ESP32-H2. Jde o jednojádrový mikrokontroler s jádrem RISC-V a rychlostí až 96 MHz. Obsahuje 320 kB SRAM, 128 kB FLASH a řadu periferií. Hlavním rysem této modelové řady je, že nemá WiFi, pouze Bluetooth BLE 5.3, ale implementuje rozhraní standardu IEEE 802.15.4 – tedy ZigBee, Thread, Matter apod.

- Jednojádrový 32bitový procesor RISC-V, až 96 MHz

- 256 KB SRAM
- IEEE 802.15.4 (Vlákno + ZigBee)
- Bluetooth 5.3 (LE)
- 19 programovatelných GPIO linek

1.4.3 ESP32-C

ESP32-C je řada, která nabízí modely ESP32-C2, ESP32-C3 a ESP32-C6. Všechny jsou jednojádrové, založené na RISC-V architektuře (implementuje RV32IMAC), s operační frekvencí až 160 MHz. ESP32-C2 (někdy označovaný i jako ESP8684) je starší a levnější verze ESP32-C3, obsahuje méně paměti (272 kB RAM u C2 vs 400 kB u C3) a je pomalejší (120 MHz vs 160 MHz). Verze C6 nabízí výkon verze C3, ale kromě WiFi 6 a BLE 5 přidává i podporu Zigbee 3.0.

ESP32-C2

- 32bitový RISC-V jednojádrový procesor, s hodinovým kmitočtem až 120 MHz, implementující RV32IMC ISA
- Výkon a VF schopnosti a úrovni své doby
- 576 KB ROM, 272 KB SRAM (16 KB pro cache) na čipu
- 14 programovatelných GPIO linek: SPI, UART, I^2C, LED PWM řadič, obecný řadič DMA (GDMA), SAR A/D převodník, teplotní senzor

ESP32-C3

- Jednojádrový 32bitový procesor RISC-V, až 160 MHz
- 400 KB SRAM, 384 KB ROM, a 8 KB RTC SRAM
- WiFi 2.4 GHz (IEEE 802.11b/g/n)
- Bluetooth 5 (LE)
- 22 / 16 programovatelných GPIO linek
- 2 12bitové ADC
- Pinově kompatibilní s ESP8266

ESP32-C6

- Vysoce výkonný 32bitový procesor RISC-V, až 160 MHz, implementující RV32IMAC
- 32bitový procesor RISC-V s nízkým výkonem, až 20 MHz, implementující RV32IMAC
- 512 KB SRAM a 320 KB ROM
- IEEE 802.11ax (WiFi 6) na 2.4 GHz, podporující šířku pásma 20 MHz v 11ax režim, šířku pásma 20 nebo 40 MHz v 11b/g/n režim
- IEEE 802.15.4 (Thread + ZigBee)
- Bluetooth 5.3 (LE)
- 30 (QFN40) / 22 (QFN32) programovatelných GPIO linek

1.4.4 ESP32-S

Řada ESP32-S nabízí modely S2 a S3. Oba jsou založené nikoli na RISC-V, ale na Xtensa LX7. S2 je jednojádrová verze, S3 dvoujádrová s matematickým koprocesorem (FPU). S2 nabízí 320 kB RAM a 128 kB ROM, S3 pak 512 kB RAM a 384 kB ROM. U verze S2 pozor na to, že nemá Bluetooth, pouze WiFi.

ESP32-S2

- Jednojádrový procesor Xtensa LX7, až 240 MHz
- bez aritmetické jednotky s pohyblivou řádovou čárkou (FPU)
- 320 KB SRAM, 128 KB ROM a 16 KB RTC SRAM
- WiFi 2.4 GHz (IEEE 802.11b/g/n)
- Žádný Bluetooth
- 43 programovatelných GPIO linek
- 2 13bitové SAR A/D převodníky, s až 20 kanály
- USB OTG

ESP32-S3

- Dvoujádrový procesor Xtensa LX7 s hodinovým kmitočtem až 240 MHz, a podporující FPU s pohyblivou řádovou čárkou (FPU) s jednoduchou přesností
  - Přidané instrukce pro zrychlení aplikací strojového učení
- 512 KB SRAM, 384 KB ROM a 16 KB RTC SRAM
- Umožňuje připojení externí PSRAM a Flash pomocí Quad SPI nebo Octal SPI, a sdílení stejného adresního prostoru o velikosti 32 MB
- RISC-V (RV32IMC) koprocesor s ultranízkou spotřebou s hodinovým kmitočtem přibližně 17,5 MHz
- FSM koprocesor s ultranízkou spotřebou podobný předchozímu ESP32 a ESP32-S2
- WiFi 2.4 GHz (IEEE 802.11 b/g/n)
- Bluetooth 5 (LE)
- 45 programovatelných GPIO linek
- bez zabudovaného adaptéru Ethernet
- 2 12bitové SAR A/D převodníky s až 20 kanály
- USB OTG

Pro domácí i poloprofesionální použití pravděpodobně zvolíte některý z modulů WROOM / WROVER, které jsou dostupné i s procesory z řad -S, -C a -H. Moduly jsou dostupné jak s variantou integrované antény (např. ESP32-S3-WROOM-1), tak i s anténním konektorem (označení končí písmenem U: ESP32-S3-WROOM-1U)

WROOM znamená „Wireless Room“ a naznačuje hlavní použití těchto modulů. WROVER je „WROOM with RAM Overlay“ a říká, že v modulu je externí paměť RAM.

Modul	Procesor	Flash	PSRAM
ESP32-S2-MINI-2	ESP32-S2FH4	4	0, 2
ESP32-S2-SOLO-2	ESP32-S2	4	0, 2
ESP32-S3-MINI-1	ESP32-S3FN8	8	0
ESP32-S3-WROOM-1	ESP32-S3	4, 8, 16	0, 2, 8
ESP32-S3-WROOM-2	ESP32-S3R8V	16, 32	8
ESP32-C6-MINI-1	ESP32-C6FH4	4	0
ESP32-C6-WROOM-1	ESP32-C6	4, 8, 16	0
ESP32-C3-MINI-1	ESP32-C3FH4	4	0
ESP32-C3-WROOM-O2	ESP32-C3	4	0

Zdroj informací: Espressif, https://cs.wikipedia.org/wiki/ESP32

1.5 ESP8266

Jde o čip, který je už dnes považovaný za zastaralý. Výrobce doporučuje přejít na verzi ESP8684 (ESP32-C2), ale přesto se s ním můžete stále potkat. Šlo o první široce dostupný a levný čip, který nabízel opravdu jednoduché připojení k WiFi.

ESP8266 je založený na procesoru L106 (Tensilica), obsahuje 32 kB RAM pro instrukce, 80 kB RAM pro data, umožňuje připojit až 16 MB externí sériové FLASH (QSPI), nabízí rozhraní SPI, I^2C, I2S, UART, analogově-digitální převodník, 17 GPIO pinů a integrované rozhraní pro WiFi (signálovou část, síťový protokol a WEP/WPA/WPA2 autentizaci).

V porovnání s ESP32 tedy nenabízí Bluetooth ani nijak závratný výkon. Pro základní použití ovšem stačí. Výhodou je jeho extrémně nízká cena, která bývá pod sto Kč.