

Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů: Wi-Fi komunikační rozhraní

Aleš Tabarka

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš Tabarka**
Osobní číslo: **A15104**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Výukový modul pro předmět Programování mikro počítačů: Wi-Fi komunikační rozhraní**

Téma anglicky: **A Tuition Module for the Microcontrollers Programming Course: A Wi-Fi Communication Interface**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vyberte vhodný typ bezdrátového Wi-Fi komunikačního rozhraní pro realizaci modulu.
3. Proveďte hardwarový návrh externího komunikačního modulu vybaveného standardním RS-232 rozhraním.
4. Realizujte modul komunikačního rozhraní.
5. Vytvořte obslužnou programovou knihovnu, včetně ukázkové aplikace.
6. Vypracujte výukovou prezentaci k vytvořenému modulu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Espressif Systems. ESP8266 AT Instruction Set Version 2.0.0, [online]. 2016 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>
2. Espressif Systems. ESP8266 Datasheet Version 4.3, [online]. 2015 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>
3. JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. EAGLE pro začátečníky I: uživatelská a referenční příručka. 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2
4. NXP Semiconductors. Kinetis KL25 Sub-Family 48 MHz Cortex-M0+ Based Microcontroller with USB, [online]. 2014 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
5. NXP Semiconductors. KL25 Sub-Family Reference Manual, [online]. 2014 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
6. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Dostálek, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

21. prosince 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

15. května 2019

Ve Zlíně dne 21. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářské práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

..... Aleš Tabarka, v.r.
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou integrovaných bezdrátových komunikačních modulů hojně využívaných v nově vzniklé oblasti nazývané Internet věcí. Cílem této práce je zvolení vhodného modulu a vytvoření Wi-Fi komunikačního rozhraní pro rozšíření výuky v předmětu Programování mikropočítačů. Součástí práce je jak realizace software komunikační a ovládací knihovny pro mikrokontrolér, tak i realizace samotného hardware komunikačního modulu.

Klíčová slova: MCU, ARM, CortexM0, Freescale, NXP, KL25Z, ESP8266, Wi-Fi, Embedded, IoT, Internet of things

ABSTRACT

The area of this project are integrated wireless communication modules strongly used in newly created industry branch called Internet of things. The aim of this project is to determine the best suitable module for Wi-Fi communication interface created for extension of education in lesson of Programming microcontrollers subject. Project includes software library for communication and also hardware realisation of communication module.

Keywords: MCU, ARM, CortexM0, Freescale, NXP, KL25Z, ESP8266, Wi-Fi, Embedded, IoT, Internet of things

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Petru Dostálkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při tvorbě a psaní této bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své přítelkyni Ivaně za pomoc a cenné rady při gramatické a stylistické úpravě této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 WI-FI BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	11
1.1 POPIS FYZICKÉ VRSTVY	11
1.1.1 Rozdělení frekvenčního pásma	12
2 INTEGROVANÉ WI-FI KOMUNIKAČNÍ MODULY	13
2.1 RÁDIOVÉ VRSTVY	13
2.2 INTEGROVANÉ SYSTÉMY	13
3 VYBRANÉ KOMUNIKAČNÍ PLATFORMY	14
3.1 RTL8710	14
3.2 ESP8266	15
3.3 ESP32	16
3.4 EMW3165	17
3.5 VÝBĚR CÍLOVÉ PLATFORMY	18
3.5.1 Klíčové parametry výběru	18
3.5.2 Porovnání	18
4 PLATFORMA ESP8266 MODUL ESP-01	19
4.1 TECHNICKÉ VLASTNOSTI	19
4.2 PROGRAMOVÉ VLASTNOSTI	20
4.2.1 Ovládání pomocí vnitřního API	21
4.2.2 Ovládání pomocí AT příkazů	22
5 VÝVOJOVÁ PLATFORMA	23
5.1 MIKROKONTROLER KINETIS KL25Z	23
5.2 VÝVOJOVÝ MODUL NXP FRDM-KL25Z	24
5.3 UNIVERSITNÍ VÝVOJOVÝ MODUL	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
6 ANALÝZA ŘEŠENÍ	27
6.1 TECHNICKÉ POŽADAVKY	27
6.2 PŘÍPADY UŽITÍ	28
7 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	29
7.1 ZDROJOVÁ ČÁST	29
7.1.1 Výpočet výstupního napětí	30

7.1.2	Výpočet indukčnosti cívky.....	31
7.2	KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ.....	32
7.3	BEZDRÁTOVÝ MODUL.....	33
7.4	DESKA PLOŠNÉHO SPOJE.....	33
7.4.1	Konstrukční krabička	34
7.4.2	Napájecí zdroj.....	35
7.4.3	Komunikační rozhraní	35
7.4.4	Bezdrátový modul	36
8	PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ.....	37
8.1	ANALÝZA PROGRAMOVÉHO ŘEŠENÍ.....	37
8.2	OVLADAČ FYZICKÉ VRSTVY	38
8.2.1	Statický popis	39
8.2.2	Dynamický popis.....	39
8.3	OVLADAČ MODULU ESP8266	40
8.3.1	Výchozí konfigurace a sekvence příkazů	40
8.3.2	Statický popis ovladače	44
8.3.3	Dynamický popis ovladače.....	46
8.4	HTTP SERVER	49
8.4.1	Statický popis	49
8.4.2	Dynamický popis.....	50
8.5	SOUHRNNÝ POPIS KNIHOVNY.....	51
9	VÝUKOVÁ PREZENTACE.....	52
10	TESTOVACÍ APLIKACE.....	53
	ZÁVĚR.....	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK	62
	SEZNAM PŘÍLOH	63

ÚVOD

Rozvoj integrace a zvyšování výkonu na poli jednočipových mikropočítačů umožňuje využití komunikačních možností dříve určených pouze pro výkonnější zařízení jako osobní počítače a servery v oblasti miniaturních sensorových modulů a nízkopříkonové elektroniky, která je především doménou jednočipových mikropočítačů. Tato skutečnost umožnila vzniku rychle se rozvíjejícího fenoménu dnešní doby internetu věcí.

Jedná o síť fyzických zařízení nejrůznějšího určení, které spojuje jedna vlastnost, a tou je schopnost komunikace v rámci celosvětové počítačové sítě Internet. Jedním z hlavních cílů internetu věcí je poskytovat data. A to jak data přímo určená člověku, například informace o stavu automatické pračky (zda už doprala) nebo informace ze senzoru vlhkosti půdy (že květiny v bytě by ocenily vodu), tak data přímo určená pro strojové zpracování, ať už na lokální úrovni v rámci komunikace mezi zařízeními automatizace místních procesů, nebo data určená pro dlouhodobé sledování veličin. Tato technologie si postupně nachází uplatnění v rámci průmyslových odvětví a zemědělství.

Tato práce si klade za cíl rozšířit výuku předmětu programování mikropočítačů o téma související s oblastí internetu věcí. A pomoci tak studentům proniknout do světa bezdrátových komunikačních modulů pomocí Wi-Fi bezdrátového komunikačního rozhraní, které bude sloužit jako rozšíření stávajícího modulu pro výuku programování mikropočítačů. Komunikační rozhraní umožní studentům seznámení s komunikačními protokoly počítačové sítě internet a nahlédnutí do oblasti Wi-Fi komunikace.

V první části práce je představena oblast Wi-Fi komunikace a problematika integrovaných komunikačních platforem, dále se první část věnuje výběru konkrétní komunikační platformy pro použití v bezdrátovém komunikačním rozhraní. Krátce také představuje stávající výukový modul a jeho vlastnosti.

Část druhá se zabývá analýzou, návrhem a konstrukcí modulu komunikačního rozhraní. Analýza bere do úvahy požadavky plynoucí ze zadání práce, technické omezení a vlastnosti použitých součástek a modulů. Návrh a konstrukce je popsána v kapitole technického řešení.

Součástí druhé části je také návrh a implementace programové ovládací knihovny modulu komunikačního rozhraní. Programová analýza a návrh vychází z požadavků zadání a ze zamýšlených případů užití komunikačního rozhraní. Popis implementace jednotlivých částí se sestává ze statického a dynamického pohledu na programové řešení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Wi-Fi bezdrátová komunikace

Wi-Fi je obchodní označení pro bezdrátovou komunikaci ve frekvenčním pásmu ultra a super krátkých vln. Vývoj a návrhy standardů a certifikací nových komunikačních zařízení zaštiťuje sdružení společností s názvem Wi-Fi Alliance se sídlem ve městě Austin v americkém státě Texas.

Správu jednotlivých standardů zajišťuje americká asociace pro standardy IEEE Standards Association. Jednotlivé Wi-fi standardy najdeme pod skupinou označenou **IEEE 802.11**. Po dobu více než dvacet let, co je Wi-Fi komunikace vyvíjena, obsahuje velké množství standardů, kde s každým dalším přichází vylepšení komunikace, ať už v oblasti propustnosti dat, jejich zabezpečení nebo odolnost proti rušení. Výběr nejvýznamnějších a nejvíce rozšířených standardů najdeme v tabulce (Tab. 1.).

Jelikož je cílem Wi-Fi komunikace rozšíření počítačových sítí LAN o bezdrátovou komunikaci, vycházejí bezdrátové sítě založené na standardech 802.11 z referenčního modelu ISO/OSI a jsou definovány na spojové a fyzické vrstvě tohoto modelu [1].

Tab. 1. Výběr nejvýznamnějších Wi-Fi standardů [1]

Generace	IEEE Standard	Rok vydání	Frekvenční pásmo	Datová propustnost
Wi-Fi 1	802.11a	1999	5 GHz	až 54 Mbps
Wi-Fi 2	802.11b	1999	2,4 GHz	až 11 Mbps
Wi-Fi 3	802.11g	2003	2,4 GHz	až 54 Mbps
Wi-Fi 4	802.11n	2009	2,4 GHz a 5 GHz	až 450 Mbps
Wi-Fi 5	802.11ac	2014	5 GHz	až 1 Gbps

1.1 Popis fyzické vrstvy

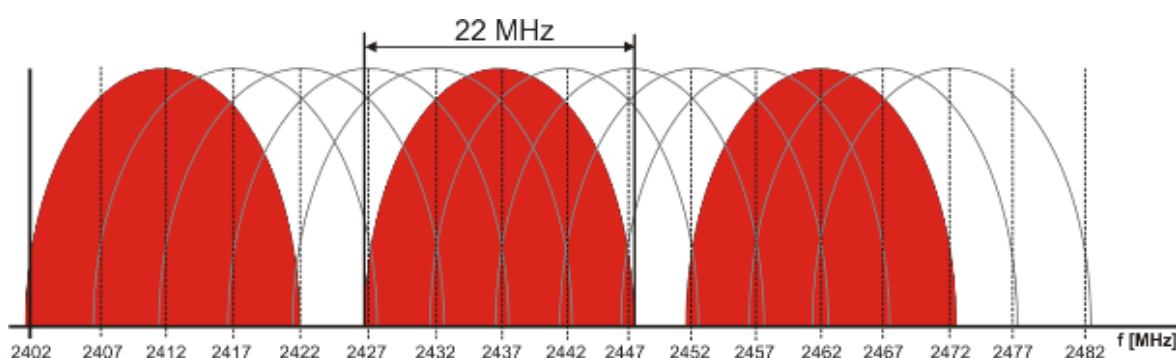
Fyzická vrstva je nejnižše položená vrstva, která realizuje samotné vysílání a příjem dat z bezdrátového prostředí. Standard 802.11 zahrnuje také možnost využití infračerveného záření pro komunikaci, nicméně tato technologie se v praxi moc nerozšířila. Většina dnes používaných rádiových rozhraní využívá přenosových modulací, jako jsou FHSS, DSSS a OFDM. Všechny standardy 802.11 rozdělují fyzickou vrstvu na dvě pod vrstvy:

- **PLCP** Tato podvrstva rozšiřuje datové rámce informací o použitém přenosovém mechanismu a modulaci. Díky této informaci je rámec nezávislý na typu fyzické vrstvy.
- **PMD** Podvrstva, která je zodpovědná za přenos dat mezi vysílači a příjemci. Na základě informace o přenosovém mechanismu z vrstvy PLCP odešle vrstva data do bezdrátového prostředí [1].

1.1.1 Rozdělení frekvenčního pásma

Zařízení Wi-Fi lze provozovat v ISM pásmech, které jsou celosvětově rozšířená v bezlicenčním frekvenčním pásmu. V České republice vymezuje provoz generální licence ČTÚ VO-R/12/08.2005-34. V ČR je v pásmu 2,4 GHz definováno 13 kanálů o šířce 22 MHz. Rozestupy mezi středy kanálů je 5 MHz.

Z obrázku (Obr. 1.) je tedy patrné, že v celém pásmu pro 2,4 GHz se nachází prostor jen pro 3 nepřekrývající se kanály. Výkonové omezení celého vysílacího řetězce je stanoveno na 100 mW (20 dBm).



Obr. 1. Rozdělení kanálů v ISM pásmu 2,4 GHz [1]

Situace v 5GHz pásmu je odlišena rozdělením pásma na podpásma, kde každé má definovaný účel použití. První pásmo je určeno pro komunikaci zařízeních uvnitř budov. Druhé a třetí pásmo je určeno pro venkovní komunikaci především pro zařízení, které slouží jako komunikační uzly.

Šířka základního kanálu je stanovena na 20 MHz, avšak jednotlivé standardy definují vlastní šířku kanálu, a to zejména ve frekvencích 10, 20, 40, 80 a 160 MHz[1].

Tab. 2. Základní rozdělení frekvenčního pásma 5 GHz [1]

Pásmo	Rozsah	Účel použití	Maximální výkon
U-NII-1	5,125 až 5,25	Vnitřní	až 200 mW (23 dBm)
U-NII-2A(C)	5,25 až 5,35	Venkovní	až 200 mW (23 dBm)
U-NII-3(2C)	5,45 až 5,725	Venkovní	až 1 W (30 dBm)

2 Integrované Wi-fi komunikační moduly

V dnešní době se ovládání příjmu a vysílání bezdrátové komunikace na fyzické úrovni v pásmech používaných Wi-Fi řeší výhradně integrovanými digitálně analogovými obvody pro zpracování signálu.

Ty můžeme rozdělit na dvě hlavní kategorie dle role, zda přímo vyhodnocují přenášenou informaci či ne.

2.1 Rádiové vrstvy

Rádiové vrstvy anglicky označované slovem chipset jsou speciální integrované obvody pro ovládání analogových částí bezdrátových vysílačů a přijímačů, původně byly určeny k předpracování a převodu signálu z bezdrátového prostředí na digitální signál, který je následně předán pomocí komunikační sběrnice nadřazenému procesoru pro zpracování.

Dnešní rádiové vrstvy nicméně přebírají a zpracovávají některé úlohy dříve určené procesorům. Jedním ze zástupců takovéto rádiové vrstvy je typ **WCN3998** americké společnosti Qualcomm Inc. Tato rádiová vrstva přebírá zpravu zabezpečení komunikace konkrétně implementaci protokolu WPA3 a spoří tak výpočetní výkon nadřazeného procesoru [2].

2.2 Integrované systémy

Integrovanými systémy se rozumí integrace veškerých výpočetních částí a periférií nutných k provozu zařízení v jednom čipu v jedno pouzdře. Takovéto systémy se označují anglickou zkratkou SoC tedy System on a chip.

Většina dnes nepostradatelných zařízení jako jsou mobilní telefony a tablety jsou založena na těchto systémech.

Příkladem vysoce integrovaného SoC je **Snapdragon 617** americké společnosti Qualcomm Inc., který obsahuje v jednom pouzdře prvky jako procesor Cortex A53 s osmi jádry, grafický řady AdrenoTM 405, bezdrátové komunikační periferie (rádiové vrstvy) Wi-Fi (802.11ac/a/b/g/n), Bluetooth 4.1, LTE modem a mnohé další moderní komunikační rozhraní. Takto vybavený SoC je schopen zabezpečit většinu nároků na moderní komunikaci a zpracování multimediálního obsahu v jednom pouzdře s minimálními nároky na další nezbytné součástky [3].

Dalšími ze zástupců SoC jsou malé komunikační moduly s méně výkonnými procesory, které ale kladou větší důraz na spotřebu energie a proto se spíše než do mobilních telefonů hodí do aplikací, jako jsou bezdrátové senzory a prvky domácí automatizace.

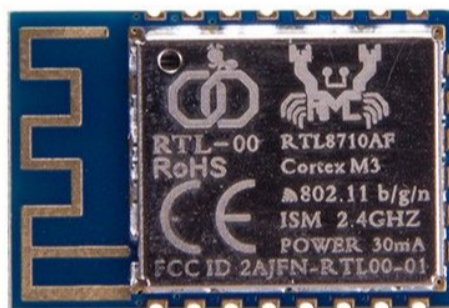
Vybrané moduly a platformy budou představeny v následující kapitole.

3 Vybrané komunikační platformy

3.1 RTL8710

RTL8710 je Wi-Fi komunikační mikroprocesor od Tchajvanské společnosti Realtek Semiconductor Corp. Výrobci, kteří si zvolí tento MCU jako základ svých komunikačních modulů, mohou profitovat z postavení a renomé společnosti Realtek na trhu, avšak vzhledem k dnešní politice společnosti Realtek, kterou je neveřejná distribuce technické dokumentace, čelí moduly založené na jejich produktech obtížnému rozšíření mezi soukromé tvůrce a do OpenSouce komunity.

Námi vybraný modul založený na RTL8710 je vyráběn čínskou společností Seed Technology Co.,Ltd [4].



Obr. 2. Seed RTL8710 WiFi Module [4]

Vlastnosti

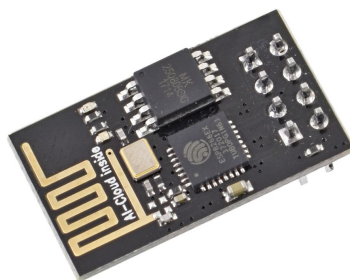
Tab. 3. Technické vlastnosti modulu Seed RTL8710 [4]

Kategorie	Vlastnost	Specifikace
Bezdrátové parametry	Standard	802.11 b/g/n
	Frekvence	2,4 GHz až 2,5 GHz
Parametry Hardware	CPU	ARM Cortex M3 (166MHz)
	ROM/RAM/Flash	1MB/512KB/1MB
	Periférie	SPI, I2C, GPIO (17x)
	Operační napětí	3,0 až 3,6 V(3,3V)
	Operační teplota	-20 až 85°C
	Rozměry modulu	24mm x 16mm x 0,8mm
Parametry Software	Protokoly	TCP/UDP/HTTP/FTP
	Zabezpečení	WPA/WPA2
	Nastavení	AT příkazy

3.2 ESP8266

ESP8266 je dalším z komunikačních mikroprocesorů tentokrát od čínské firmy Espressif systems CO., LTD. s hlavním sídlem ve městě Shanghai, založený na mikroprocesoru Tensilica L106 32 bitové architektury RISC. Vzhledem k veřejně dostupné technické dokumentaci se ESP8266 těší velké oblibě v OpenSource komunitě a mezi amatérskými konstruktéry.

Námi zvolený modul s názvem ESP-01 je jeden z nejrozšířenějších, založený na otevřeném technickém návrhu. Díky tomu jej vyrábí velké množství výrobců v početných sériích, což má pozitivní vliv na jeho výslednou cenu. Pro tento modul existuje nepřehledné množství otevřených implementací knihoven nejrůznějších komunikačních protokolů pro systémy domácí automatizace a mnoho další funkcionality. Toto všechno přispívá k velké oblibě této platformy nejen mezi amatérskými konstruktéry [5].



Obr. 3. ESP-01 ESP8266
WiFi Module [5]

Vlastnosti

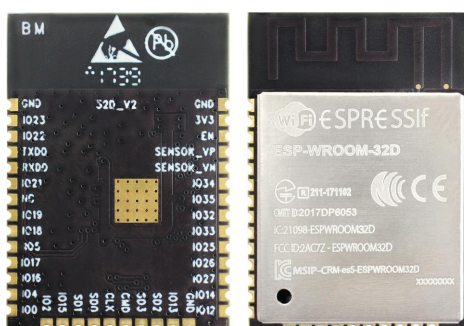
Tab. 4. Technické vlastnosti modulu Seed ESP-01 [6]

Kategorie	Vlastnost	Specifikace
Bezdrátové parametry	Standard	802.11 b/g/n
	Frekvence	2,4 GHz až 2,5 GHz
Parametry Hardware	CPU	Tensilica L106 32-bit procesor
	ROM/RAM/Flash	<50kB/1 až 4 MB (externí SPI)
	Periférie	UART, GPIO
	Operační napětí	2,5 až 3,6 V
	Operační teplota	-40 až 125°C
	Rozměry modulu	24,8mm x 14,3mm
Parametry Software	Protokoly	TCP/UDP/HTTP/FTP
	Zabezpečení	WPA/WPA2
	Nastavení	AT příkazy

3.3 ESP32

ESP32 je nástupcem předchozího mikroprocesoru od firmy Espressif systems. Hlavní novinky a vylepšení oproti předchozímu MCU jsou větší výpočetní výkon daný použitím dvoujádrového 32 bit procesoru Xtensa, který dosahuje výkonu až 600 MIPS. Dále zvětšení pamětí a rozšíření o nejrůznější moderní periferie, jako jsou například Ethernet, CAN, IR, MotorPWM a další. Tyto vlastnosti dělají z ESP32 jeden z nej-universálnějších komunikačních mikroprocesorů na trhu [7].

Pro porovnání jsme zvolili modul vyráběný výrobcem samotného MCU s obchodním označením ESP32-WROOM-32:



Obr. 4. ESP32-WROOM-32 WiFi Module [9]

Vlastnosti

Tab. 5. Technické vlastnosti modulu ESP32-WROOM-32 [8]

Kategorie	Vlastnost	Specifikace
Bezdrátové parametry	Standard	802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2
	Frekvence	2,4 GHz až 2,5 GHz
Parametry Hardware	CPU	Xtensa® dual-core 32-bit LX6
	ROM/RAM/Flash	448KB/520KB/integrovaná 4MB
	Periférie	SD karta, UART, SPI, SDIO, I2C, PWM, I2S, IR, GPIO (až 33), ADC, DAC
	Operační napětí	2,7 až 3,6 V
	Operační teplota	-40 až 85°C
	Rozměry modulu	25,5mm x 18mm x 3,1mm
Parametry Software	Protokoly	TCP/UDP/HTTP/FTP
	Zabezpečení	WPA/WPA2/SSL/SecureBoot/Krypto. modul
	Nastavení	AT příkazy

3.4 EMW3165

EMW3165 se liší od předchozích zástupců tím, že se nejedná o jeden integrovaný systém v jednom pouzdře, ale o řešení, kdy je bezdrátová část v samostatném pouzdře a je propojena s ovládacím mikroprocesorem pomocí komunikační sběrnice. Tento komunikační modul vytvořila a vyrábí společnost MXCHIP Information Technology Co., Ltd. také původem z Čínské lidové republiky [10].



Obr. 5. EMW3165 WiFi Module [10]

Vlastnosti

Tab. 6. Technické vlastnosti modulu EMW3165 [10]

Kategorie	Vlastnost	Specifikace
Bezdrátové parametry	Standard	802.11 b/g/n
	Frekvence	2,4 GHz až 2,5 GHz
Parametry Hardware	CPU	ARM Cortex-M4 microcontroller
	ROM/RAM/Flash	128KB/512KB (2MB externí)
	GPIO	až 22
	Periférie	UART, SPI, I2C, PWM, ADC
	Operační napětí	3,0 až 3,6 V
	Operační teplota	-30 až 85°C
	Rozměry modulu	32 mm x 16 mm
Parametry Software	Protokoly	TCP/UDP/HTTP/FTP
	Zabezpečení	WEP/WPA/WPA2
	Nastavení	AT příkazy

3.5 Výběr cílové platformy

Výběr cílové platformy byl proveden na základě porovnání pomocí klíčových parametrů, které vycházejí z analýzy řešení v části 6., ale také z obecných požadavků jako dostupnost a technologická nenáročnost.

3.5.1 Klíčové parametry výběru

- **Univerzální asynchronní sériové komunikační rozhraní. (UART)**
Tento důležitý parametr vychází z požadavku na sériovou komunikaci pomocí rozhraní RS232.
- **Integrovaná anténa bezdrátové komunikace. (Anténa)**
Umožňuje snížení technických nároků na návrhu komunikačního rozhraní.
- **Jednoduchá fyzická integrace do komunikačního modulu. (Montáž)**
V případě problému s komunikačním modulem umožňuje nenáročný servis a případnou výměnu modulu v prostředí univerzitní laboratoře.
- **Implementace komunikačních protokolů TCP/IP a HTTP. (HTTP)**
Implementovaná podpora přispívá ke zjednodušení realizace webového serveru.
- **Dostupnost modulu. (Dostupnost)**
V případě již zmíněných problémů s komunikačním modulem je klíčová jeho dostupnost, a to jak z pohledu finančního, tak skladového, u jednoho z distributorů. Dostupnost byla prověřena u následujících distributorů elektronických součástek:
 - GM electronic, spol. s.r.o. dostupný na <https://www.gme.cz/>
 - TME Czech Republic, s.r.o. dostupný na <https://www.tme.eu/cz/>
 - Premier Farnell UK Limited dostupný na <https://cz.farnell.com/>

3.5.2 Porovnání

Tab. 7. Porovnání bezdrátových komunikačních modulů

Parametr	Seed RTL8710	ESP-01	ESP32-WROOM-32	EMW3165
UART	ANO	ANO	ANO	ANO
Anténa	ANO	ANO	ANO	ANO
Montáž	SMD	THT	SMD	SMD
HTTP	ANO	ANO	ANO	ANO
Dostupnost	NE	ANO	ANO	NE

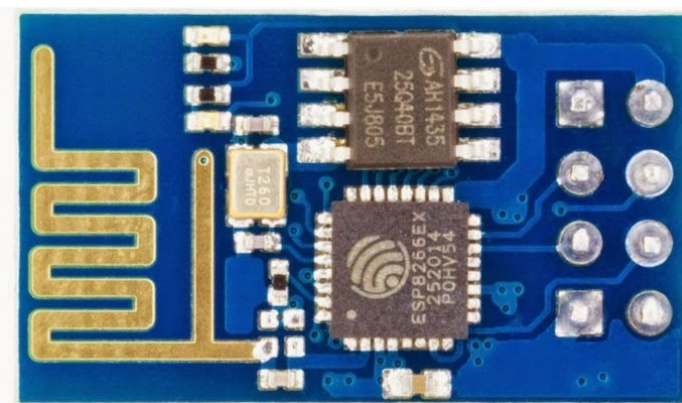
4 Platforma ESP8266 modul ESP-01

Na základě porovnání parametrů v tabulce (Tab. 7.) byl zvolen modul ESP-01 platformy ESP8266, rozhodujícím parametrem byl požadavek na jednoduchou fyzickou montáž. Modul ESP-01 disponuje montáží pomocí kolíkové lišty, která umožňuje výměnu modulu bez nutnosti pájení nebo použití jakéhokoliv nástroje.

4.1 Technické vlastnosti

ESP-01 je modul ve formě desky plošného spoje o délce 24,8 mm a šířce 14,3 mm, na které je osazen komunikační mikrokontrolér s podpůrnými obvody, zejména externí paměť, stabilizátor napětí a krystalový oscilátor.

Bezdrátová část je tvořena anténou ve formě měděného obrazce vyleptaného přímo na desce plošného spoje modulu a malým počtem pasivních součástek.



Obr. 6. ESP-01 [12]

Pro připojení napájení, komunikace a ostatních periférií je modul vybaven standardním dvouřadým konektorem o osmi vývodech s roztečí 2,54 mm.

Tab. 8. Funkce vývodů modulu ESP-01

Číslo vývodu	Funkce	Popis
1	GND	Záporný pól napájení
2	TxD	Výstup pro vysílání dat periferie UART
3	GPIO-2	Vstup/výstup č. 2
4	CH-EN	Povolení funkce MCU
5	GPIO-0	Vstup/výstup č. 0
6	Reset	Reset mikrokontroléru
7	RxD	Vstup pro příjem periferie UART
8	VCC	Kladný pól napájení

V případě návrhu ovládání pomocí universálních vstupů a výstupů je nutno brát zřetel na jejich maximální proudovou a napěťovou zatížitelnost.

Tab. 9. Elektrické vlastnosti GPIO [6]

Parametr	Min	Typicky	Max	Jednotka
Pracovní napětí (Vio)	2,5	3,3	3,6	V
Vstup, napětí v log. 0	-0,3		0,25*(Vio)	V
Vstup, napětí v log. 1	0,75*(Vio)		3,6	V
Výstup, napětí v log. 0			0,1*(Vio)	V
Výstup, napětí v log. 1	0,8*(Vio)			V
Maximální proud			12	mA

Nároky na vlastnosti napájecího zdroje se odvíjejí od spotřeby elektrického proudu. Průměrná hodnota udávaná výrobcem **80mA** ovšem není dostatečná informace pro kvalitní návrh napájecího zdroje a je nutno vzít do úvahy i proudové výkyvy během bezdrátové komunikace [11].

Tab. 10. Spotřeba během bezdrátové komunikace [6]

Parametr	Min	Typicky	Max	Jednotka
TX 802.11b, CCK 11Mbps, +17 dBm		170		mA
TX 802.11g, OFDM 54Mbps, +15 dBm		140		mA
TX 802.11n, MCS7, +13dBm		120		mA
Rx 802.11b, 1024 Byte délka paketu		50		mA
Rx 802.11g, 1024 Byte délka paketu		56		mA
Rx 802.11n, 1024 Byte délka paketu		56		mA

4.2 Programové vlastnosti

Jednou z nejzákladnějších programových vlastností, od kterých se odvíjí požadavky jako správně zvolený překladač zdrojového kódu, je mikroprocesorová platforma. Tou je pro komunikační platformu ESP8266 **Tensilica L106** 32 bitové architektury RISC pracující na frekvenci až 160 MHz [6].

Výrobce umožňuje zvolit několik programátorských přístupů, které se v základu dělí na dvě hlavní větve, a to zda je uživatelský program vykonáván přímo mikroprocesorem platformy ESP8266, anebo je platforma ovládaná vnějším mikrokontrolérem pomocí komunikačních rozhraní.

Nicméně jako první před začátkem programování vlastní aplikace a následné spuštění, by se měl uživatel seznámit s prostředím a procesy, které předcházejí spuštění samotné aplikace. Platforma ESP8266 obsahuje zaváděcí program anglicky **bootloader**, pomocí kterého se nahrává aplikace do paměti a také zajišťuje její správné spuštění. Pro správné spuštění aplikace je nutno dodržet rozdělení paměťového prostoru a nahrát vlastní aplikaci na správnou adresu, mimo aplikace se na určité bloky v paměti nahrávají data jako kalibrační parametry pro bezdrátové rozhraní [19].

Tab. 11. Příklad rozdělení paměti o velikosti 16 Mbit [6]

Binární data	Adresa	Popis
blank.bin	0x1FB000	Inicializuje oblast pro kalibrační data.
esp-init-data-default.bin	0x1FC000	Oblast pro kalibrační data RF-CAL.
blank.bin	0xFE000	Inicializuje oblast pro uživatelská data.
blank.bin	0x1FE000	Inicializuje oblast pro aplikační data.
boot.bin	0x00000	Oblast pro bootloader.
user1.2048.new.5.bin	0x01000	Uživatelská aplikace.

4.2.1 Ovládání pomocí vnitřního API

Tento přístup umožňuje uživateli spouštět vlastní zdrojový kód přímo na platformním mikroprocesoru. Hlavní výhoda spočívá v absenci dalšího ovládacího výpočetního prvku. Výrobce dodává vývojářskou sadu funkcí **Non-OS SDK**, která umožňuje uživateli přístup k perifériím a ovládání bezdrátového rozhraní.

Nicméně si uživatel musí být vědom a brát zřetel na omezení, která tento přístup přináší. A to zejména na dělení se o zdroje s hlavními operačními rutinami nutnými pro bezdrátovou komunikaci. V případě podcenění těchto omezení může jednoduše dojít k nestabilitě bezdrátové komunikace.

Zjednodušeně řečeno uživatel nesmí používat žádné uzavřené smyčky v programu, řízení posloupnosti vykonávání funkcí řídí hlavní program výrobce. Je tedy odkázán na periodické vykonávání vlastních funkcí, které mají nižší prioritu než komunikační funkce, není tedy do jisté míry zaručena časová posloupnost [16].

Tuto skutečnost se výrobcí podařilo eliminovat vydáním vývojářské sady, založené na přístupu zpracovávání úkolů řízené operačním systémem **RTOS SDK** [17].

Tyto přístupy umožňují ostatním společnostem a zájmovým skupinám vytvářet vlastní specializované aplikační programy pro platformu ESP8266. Za zmínku stojí velmi oblíbená implementace interpretru skriptovacího jazyku Lua **NodeMCU** založena na Non-OS SDK, která umožňuje uživatelům programovat a ovládat ESP8266 za pomoci jazyka **Lua** [18].

4.2.2 Ovládání pomocí AT příkazů

Ovládání pomocí AT příkazů je rozšířený způsob nejen pro platformu Wi-Fi komunikace ESP, tento typ ovládání najdeme u většiny komunikačních modulů různých technologií, ať už GSM/LTE přes Bluetooth po moduly komunikace typu LoRa.

Jedná se o typ komunikace, který jako hlavní příkazy používá řetězce ASCII znaků, což jej činí v základní formě čitelným pro člověka.

Platforma ESP8266 implementuje následující vlastnosti pro AT příkazy.

Tab. 12. Obecné typy AT příkazů [19]

Typ	Formát příkazu	Popis
Testovací příkaz	AT+<x>=?	Zobrazí parametry daného příkazu pro typ nastavení a jejich hodnoty.
Čtení dat	AT+<x>?	Zobrazí aktuální hodnoty parametrů.
Nastavení parametru	AT+<x>=<...>	Nastaví uživatelsky definovatelné parametry příkazu a vykoná funkci příkazu.
Vykonání funkce	AT+<x>	Vykoná funkci příkazu, který nemá žádné uživatelské parametry.

Ne každý AT příkaz implementuje všechny obecné typy. Hranaté závorky znázorňují základní hodnotu parametru. Řetězce znaků je nutno uzavírat do uvozovek. AT příkazy musí být velkým písmem. Základní komunikační rychlost je 115200 Bd. Každý AT příkaz je nutno uzavřít znakem pro nový řádek (**CR LF**) [19].

Tab. 13. Příklad AT příkazu [19]

Příkaz	AT+GSLP=<time>
Odpověď	<time> OK
Parametry	<time>: Čas, po který bude modul ve funkci hlubokého spánku. Jednotka: ms

Většina odpovědí AT příkazu je zakončena řetězcem, který znázorňuje výsledný stav příkazu. Zda byl vykonán správně a funkce proběhly úspěšně, řetězec **OK**, nebo v případě jakékoliv chyby, řetězec **ERROR**.

Tento způsob odpovědi zjednodušuje implementaci ovládacího programu. Avšak existují i výjimky, kterým je nutno se věnovat individuálně [19].

5 Vývojová platforma

Vývojová platforma, která se používá při výuce, je založena na mikrokontroléru řady Kinetis KL25 společnosti NXP Semiconductors, dříve Freescale Semiconductor [14].

5.1 Mikrokontroler Kinetis KL25Z

Kinetis KL25Z je řada univerzálních mikrokontrolerů založených na 32 bitové architektuře RISC **ARM**. Za výpočetní úkony je zodpovědné jedno jádro typu **Cortex-M0+** jehož maximální pracovní frekvence může být až **48 MHz**.

Mikrokontroléry řady KL25Z je dodávají v různých variantách, na výběr je ze čtyř typů pouzder pro povrchovou montáž SMD. Typ **LQFP** s 80 nebo 64 vývody a typ **QFN** s 48 nebo 32 vývody. Paměť pro program a data lze volit ve třech velikostech, a to 32KB/4KB, 64KB/8KB nebo 128KB/16KB paměť Flash/RAM.

Výhodou mikrokontrolerů je také velmi nízká spotřeba, která dosahuje až $47 \mu\text{A}/\text{MHz}$ v operačním módu pro velmi sníženou spotřebu. V režimu spánku až $2 \mu\text{A}$ s časem potřebným pro probuzení $4 \mu\text{s}$ [14].

- **Systémové periférie**

Obsahují devět úrovní pro výkonovou optimalizaci, COP software watchdog, čtyřkanálový DMA kontrolér umožňující až 63 zdrojů a SWD ladící rozhraní.

- **Zdroje hodinového signálu**

Za zdroj hodinového signálu lze zvolit z integrovaných 32 kHz, 4 MHz RC oscilátorů nebo 1kHz nízkopříkonový oscilátor. Univerzální vstup pro zdroj hodinového signálu umožňuje externí zdroj ve dvou rozsazích nízkofrekvenční 32 kHz a vysokofrekvenční 3 MHz až 32 MHz.

- **Komunikační rozhraní**

Komunikaci zajišťuje USB full/low-speed On-the-Go kontrolér s integrovaným napěťovým stabilizátorem, dvě 8bitová SPI rozhraní, speciální nízkopříkonové UART rozhraní, dvě standardní UART rozhraní a dvě I2C rozhraní.

- **Jednotky zpracování analogového signálu**

Zpracování analogového signálu umožňuje 16bitový SAR ADC, 12 bitový DAC a analogový komparátor.

- **Časovače**

Obsahují šestikanálový modul časovače s PWM, dva dvoukanálové moduly časovače s PWM, periodický časovač přerušení, 16 bitový nízkopříkonový časovač a hodiny reálného času.

- **Vstupně výstupní rozhraní**

Se stávají z až 66 univerzálních vstupů a výstupů a nízkopříkonového rozhraní pro dotykový vstup [14].

5.2 Vývojový modul NXP FRDM-KL25Z

Vývojový modul FRDM-KL25 je dodáván přímo výrobcem mikrokontroléru za účelem vyzkoušení a seznámení se s mikrokontrolérem bez nutnosti vytvářet vlastní zapojení a předejít tak zbytečným nákladům v případě, že mikrokontrolér nebude v dané aplikaci vyhovovat, nebo pro akceleraci vývoje software, kdy není cílový hardware ještě k dispozici a také pro účely výuky ve školách.

Vývojový modul má vyvedeny nejdůležitější vývody mikrokontroléru tak, aby bylo možné připojit a otestovat jeho periférie. Obsahuje také navíc prvky pro usnadnění vývoje testovacích aplikací, a to zejména integrovaný ladící modul s funkcí programování mikrokontroléru a převodník USB na virtuální sériový port. Dále obsahuje prvky jako tří-osý detektor zrychlení, RGB LED diodu nebo dotykový senzor.

Výstupy jsou vyvedeny na standardní konektory s roztečí 2,54 mm, což usnadňuje použití modulu například v kontaktním poli. Ladící rozhraní, USB převodník a USB periférie jsou vyvedeny na konektory typu mini USB. Konektor ladícího rozhraní slouží zároveň jako napájecí vstup modulu [13].



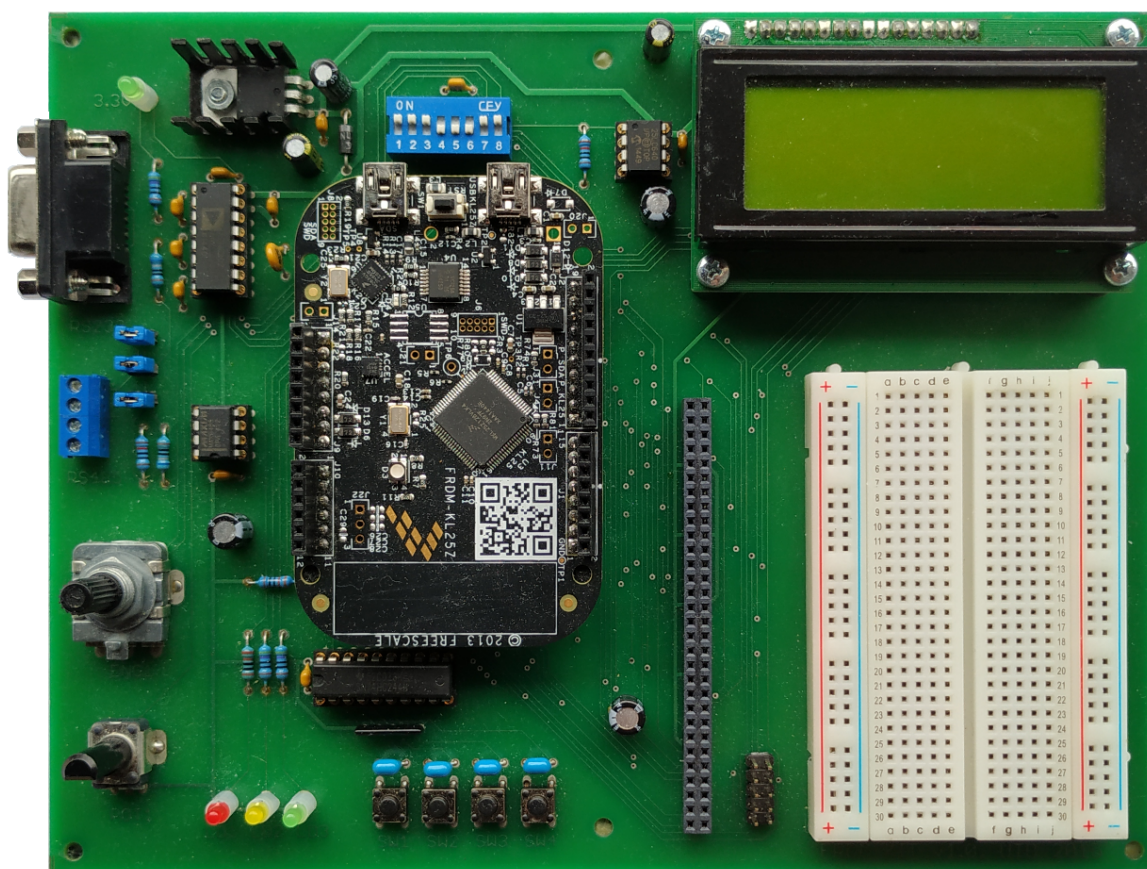
Obr. 7. FRDM-KL25Z KIT NXP [13]

5.3 Universitní vývojový modul

Universitní vývojový modul nebo-li vývojový kit, který je používán jako pomůcka při výuce, je zařízením rozšiřující vývojový modul mikroprocesoru FRDM-KL25Z. Je navržen tak, aby bylo při výuce jednoduché přímo používat periferie mikroprocesoru bez nutnosti se nejprve zabývat elektronickým řešením.

Vývojový kit obsahuje prvky jako komunikační rozhraní **RS232**, vyvedené na standardizovaném konektoru pro RS232 CANON9, komunikační rozhraní **RS485**, inkrementální enkodér, napěťový dělič s potenciometrem, vyvedený na **A/D** převodník mikroprocesoru. Dále paměť typu **EEPROM** využívající rozhraní **SPI**, obvod reálného času a teplotní čidlo připojené přes rozhraní **I2C**. Mezi další prvky patří indikační LED diody, tlačítka jsou připojeny na **GPIO** MCU a inteligentní znakový **LCD** display.

Dále obsahuje prostor s prototypovým kontaktním polem a vyvedené nevyužité vývody hlavního modulu mikroprocesoru pro možnosti dalšího využití.



Obr. 8. FRDM KIT V1.0 UTB

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 Analýza řešení

Analýza řešení se opírá o zadání práce a požadavky, které z něho vyplývají a také o výsledky konzultací s vedoucím práce především ze zamýšlených případů užití komunikačního rozhraní.

Analýza se skládá ze dvou částí. Z technických požadavků, které definují zejména mechanickou podobu, schéma zapojení a vlastní konstrukci elektroniky. A z druhé části, kde jsou definovány případy užití, které přímo souvisí s programovým návrhem a realizací.

6.1 Technické požadavky

Technické požadavky v zásadě vyplývají z použití modulu bezdrátového rozhraní při výuce. Modul bude spojován se stávajícím vývojovým kitem přes komunikační rozhraní RS232. Napájení bude zajišťovat externí napájecí adaptér. Mechanické rozměry udává zvolená konstrukční krabička.

Hlavními požadavky, které ovlivňují návrh jsou:

- **Zvolená Wi-Fi platforma**

Nejdůležitější technické vlastnosti zvolené platformy ESP8266 ve formě modulu ESP-01, které přímo ovlivňují návrh technického řešení:

- Mechanická velikost modulu.
- Typ připojení modulu do desky plošného spoje.
- Rozsah napájecího napětí.
- Typ antény a její orientace.
- Napěťové úrovně digitální komunikace.
- Výkonová náročnost.

- **Komunikační rozhraní RS232**

Zvolený typ komunikačního rozhraní přináší následující technické požadavky:

- Typ použitého konektoru
- Typ fyzické vrstvy vzhledem k napájecímu napětí a úrovněmi digitální komunikace

- **Externí napájení**

Volba externího napájení pomocí síťového adaptéru přináší nároky na konstrukci vlastního stabilizátoru, který bude schopen dodat požadovaný výkon a kvalitu napájení, včetně ochrany proti přepětí a přepólování napájecího zdroje.

- **Konstrukční krabička**

Konstrukční krabička udává velikost a tvar desky plošného spoje. Nutné je vzít při návrhu do úvahy prvky, jako jsou body pro uchycení DPS, body mechanického spojení všech dílů krabičky, vhodné místo pro umístění konektorů, prostor pro anténu modulu a v neposlední řadě prostor pro napájecí stabilizátor a jeho nároky například na vyzářené teplo při normální funkci zařízení.

6.2 Případy užití

Případy užití vycházejí z požadavků výuky předmětu Programování mikropočítačů. Využití modulu bezdrátového rozhraní má být zejména při semestrálních projektech, kdy bude mít student k dispozici více času na realizaci samotného zadání.

Modul a hlavně související ovládací knihovna jsou koncipovány jako základní funkční systém, který umožňuje jednoduché použití před-připravených funkcí a datových struktur pro komunikaci, nebo mírně náročnější přístup, který dává uživateli volnost při vytváření výsledné komunikace. Při využití otevřeného přístupu je nutno definovat vlastní datové struktury a další funkce.

- **Jednoduché zobrazení dat**

Prezentace dat z mikrokontroléru ve formě statické HTML stránky odeslané na dotaz z prohlížeče webových stránek.

- **Ovládání pomocí metod GET/POST**

Vyhodnocení definovaných parametrů dle konfigurace a vykonání akce na základě hodnoty parametru..

- **Komunikace prostřednictvím webového API**

Odesílání a příjem dat mikrokontrolérem ve speciální formě pro strojové spravování.

7 Technické řešení

Technické řešení je rozděleno do částí dle nejdůležitějších technických požadavků definovaných v analytické části 6.1.

Tab. 14. Elektrické vlastnosti modulu bezdrátového rozhraní

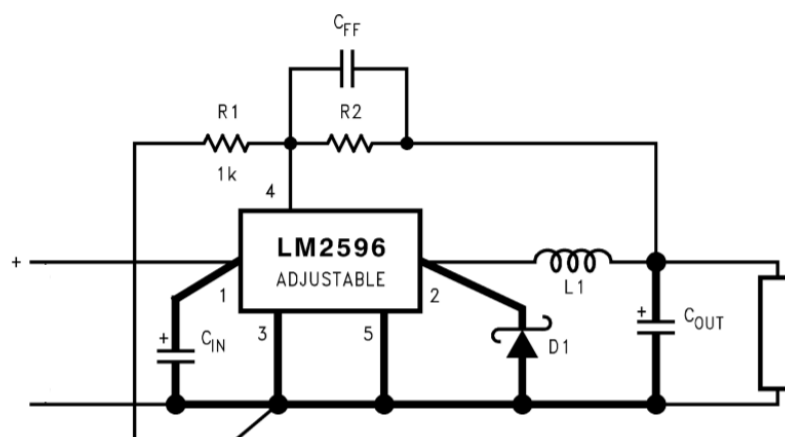
Vstupní napětí	12 V	Napětí síťového zdroje.
Výstupní napětí	3,3 V	Vnitřní napájecí napětí modulu.
Maximální příkon	1 W	Maximální příkon modulu.

7.1 Zdrojová část

Hlavní část napájecího zdroje tvoří spínaný stabilizátor **LM2596-ADJ**, který byl zvolen především pro svou univerzálnost, velký rozsah vstupního napětí, velký výkonový rozsah a malé množství okolních součástek [21].

Tab. 15. Vybrané elektrické vlastnosti LM2596-ADJ [21]

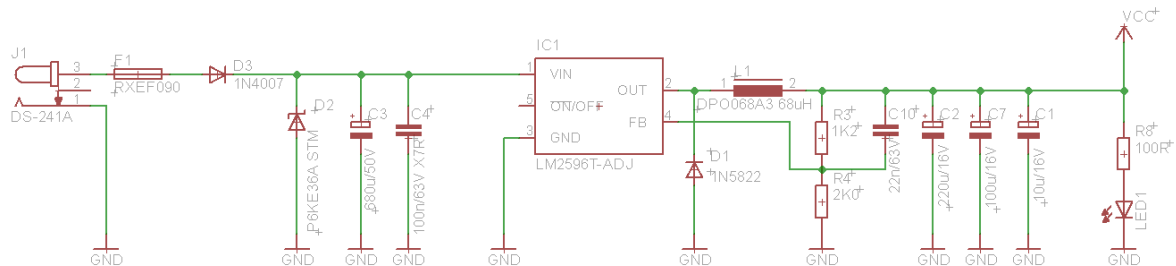
Parametr	MIN	TYP	MAX	Jednotka
Vstupní napětí	4,5		40	V
Výstupní napětí	1,2		37	V
Výstupní proud			3	A
Napětí zpětné vazby	1,18	1,23	1,28	V
Spínací frekvence	127	150	173	kHz
Teplotní rozsah	-40		125	°C



Obr. 9. Referenční zapojení stabilizátoru LM2596T-ADJ [21]

Schéma zapojení je ve většině převzato z doporučení výrobce. Na vstupní část je přidána univerzální dioda pro ochranu proti přepólování zdroje a unipolární transil pro

ochranu proti přepětí. Na výstupní straně je posílena kapacita o keramické a tantalové kondenzátory s nízkým sériovým odporem pro vyrovnání případných proudových špiček během bezdrátové komunikace.



Obr. 10. Schéma zdroje se stabilizátorem napětí LM2596T-ADJ.

7.1.1 Výpočet výstupního napětí

Výrobce udává závislost výstupního napětí na poměru rezistorů ve zpětné vazbě ku hodnotě referenčního napětí následující rovnicí [21].

$$U_{vystup} = U_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2)$$

Při výpočtu postupujeme tak, že fixně zvolíme hodnotu rezistoru R_1 a upravíme rovnici pro výpočet R_2 .

$$R_2 = R_1 \left(\frac{U_{vystup}}{U_{ref}} - 1 \right), U_{ref} = 1,23V \quad (3)$$

Provedeme volbu hodnoty R_4 a výpočet vzhledem k parametrům naší aplikace.

$$R_1 = R_4 = 1,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_3$$

$$U_{ref} = 1,23 \text{ V}$$

$$U_{vystup} = 3,3 \text{ V}$$

$$R_3 = R_4 \left(\frac{U_{vystup}}{U_{ref}} - 1 \right) = 1200 \left(\frac{3,3}{1,23} - 1 \right) = 2019,5 \Omega \quad (4)$$

Po zaokrouhlení vzhledem k výrobní řadě rezistorů E24 získáváme $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$.

7.1.2 Výpočet indukčnosti cívky

Volba vhodné cívky závisí na faktorech jako je maximální protékající proud cívkou a koeficient uchování energie, vztah mezi napětím cívky a časem spínání.

Výrobce udávaný vztah pro koeficient [21]:

$$E * T = (U_{vstup} - U_{vystup} - U_{sat}) \frac{U_{vystup} + U_D}{U_{vstup} - U_{sat} + U_D} \frac{1000}{f_s} [V * \mu s] \quad (5)$$

Kde:

Saturační napětí $U_{sat} = 1,16 \text{ V}$

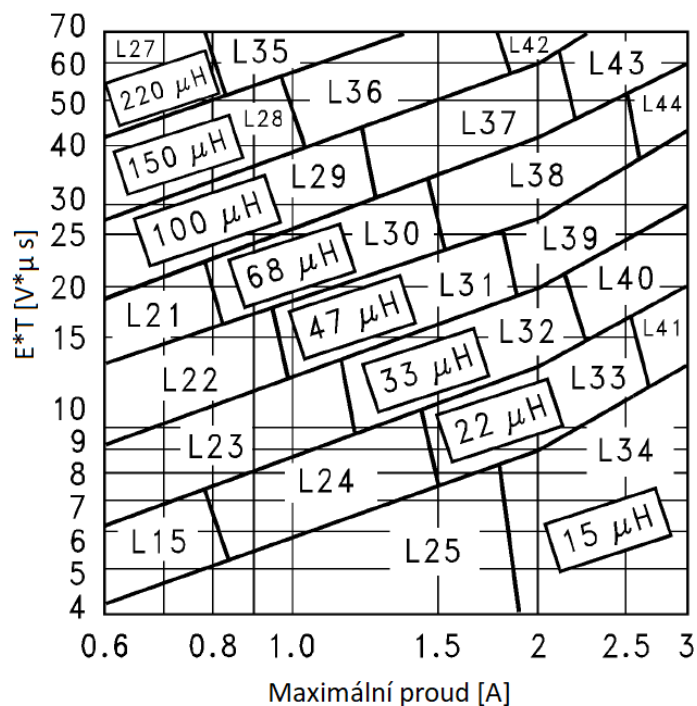
Napětí diody v propustném směru $U_D = 0,5 \text{ V}$

Frekvence spínání $f_s = 150 \text{ kHz}$

$$E * T = (12 - 3,3 - 1,16) \frac{3,3 + 0,5}{12 - 1,16 + 0,5} \frac{1000}{150} = 16,84 \text{ V} * \mu s \quad (6)$$

Vypočítanou hodnotu a maximální proud cívkou vyneseme do připraveného grafu a odečteme doporučenou hodnotu indukčnosti.

Maximální proud cívkou $I_{max} = 303 \text{ mA}$



Obr. 11. Doporučené hodnoty indukčnosti [21]

Výsledná hodnota indukčnosti pro cívku zdroje $L_1 = 68 \mu\text{H}$

7.2 Komunikační rozhraní

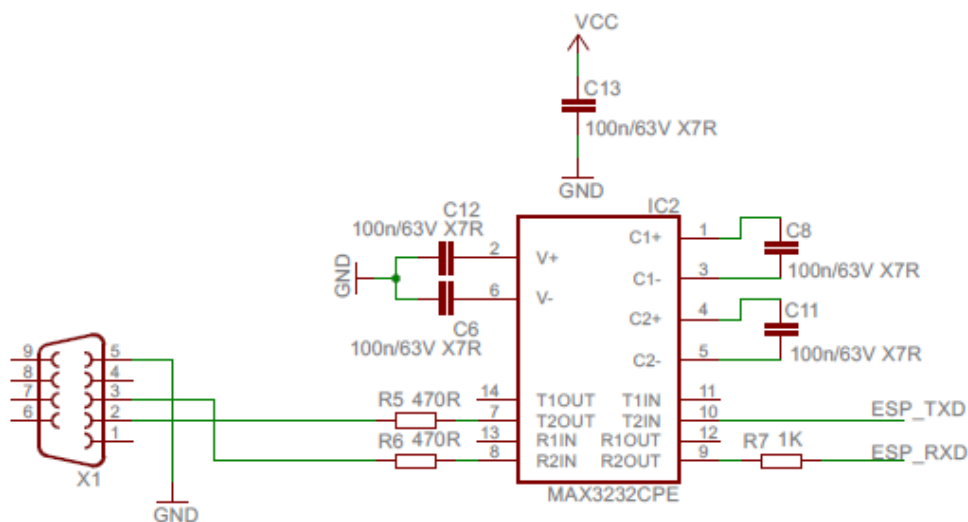
MAX3232CPE je RS232 komunikační rozhraní, které pomocí nábojové pumpy převádí komunikační napěťové úrovně bezdrátového modulu ESP (3,3 V) na úrovně RS232. Jeden z hlavních důvodů volby toho rozhraní je široký rozsah napájecího napětí a nízký počet externích součástek. Nezbytná je pouze čtveřice kondenzátorů nutných pro funkci nábojové pumpy [22].

Tab. 16. Vybrané elektrické vlastnosti MAX3232 [22]

Parametr	MIN	TYP	MAX	Jednotka
Napájecí napětí (3,3V režim)	3	3,3	3,6	V
Vstup RS232	-25		25	V
Přenosová rychlost	150	250		kbit/s
Teplotní rozsah	0		75	°C
Hodnota C_8 pro 3,3V		100		nF
Hodnota C_6 , C_{11} a C_{12} pro 3,3V		100		nF

Výsledné schéma zapojení je převzato z doporučení výrobce. Ačkoliv rozhraní obsahuje dvojici přijímače a vysílače, pro potřeby navrhovaného komunikačního modulu je dostačující využití pouze jednoho kanálu pro příjem a pro vysílání.

Rozdílem oproti referenčnímu zapojení jsou ochranné rezistory jak na straně RS232, tak pro výstup na nízkonapěťové straně.



Obr. 12. Schéma komunikačního rozhraní modulu s MAX3232CPE.

7.3 Bezdrátový modul

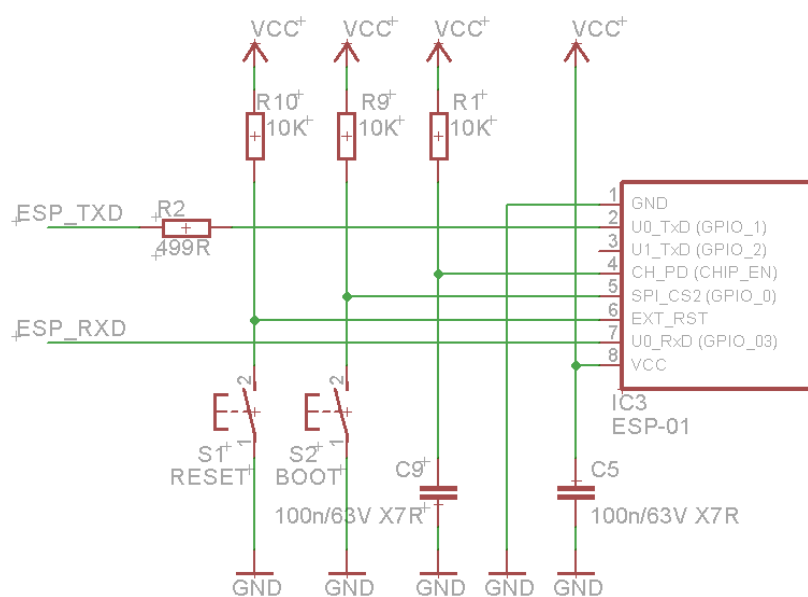
Detailnímu popisu bezdrátového modulu ESP-01 komunikační platformy ESP8266 se věnuje kapitola 4. Při technickém návrhu je nutné vzít v potaz doporučení výrobce.

Dle doporučení výrobce je použit RC obvod pro zpožděné zapnutí modulu. Výrobce doporučuje RC filtr pro omezení vlivu možné napěťové nestability vzniklé velkým proudovým odběrem během zapínání bezdrátové komunikační části. Dle doporučení jsou použity hodnoty $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_9 = 100 \text{ nF}$.

Osazení rezistoru $R_2 = 499 \text{ }\Omega$ taktéž doporučuje výrobce pro potlačení rušivého vlivu harmonické frekvence 80 MHz [11].

Pro možnost budoucího přehrání software v modulu jsou osazena dvě tlačítka umožňující spuštění programového zavaděče.

Při návrhu desky plošného spoje je kladen důraz na volný prostor kolem antény modulu. V tomto prostoru je tedy odstraněna měděná vrstva z povrchu desky plošného spoje modulu komunikačního rozhraní.



Obr. 13. Schéma bezdrátového komunikačního rozhraní.

Kompletní schéma zapojení modulu komunikačního rozhraní je přiloženo jako příloha **P I**.

7.4 Deska plošného spoje

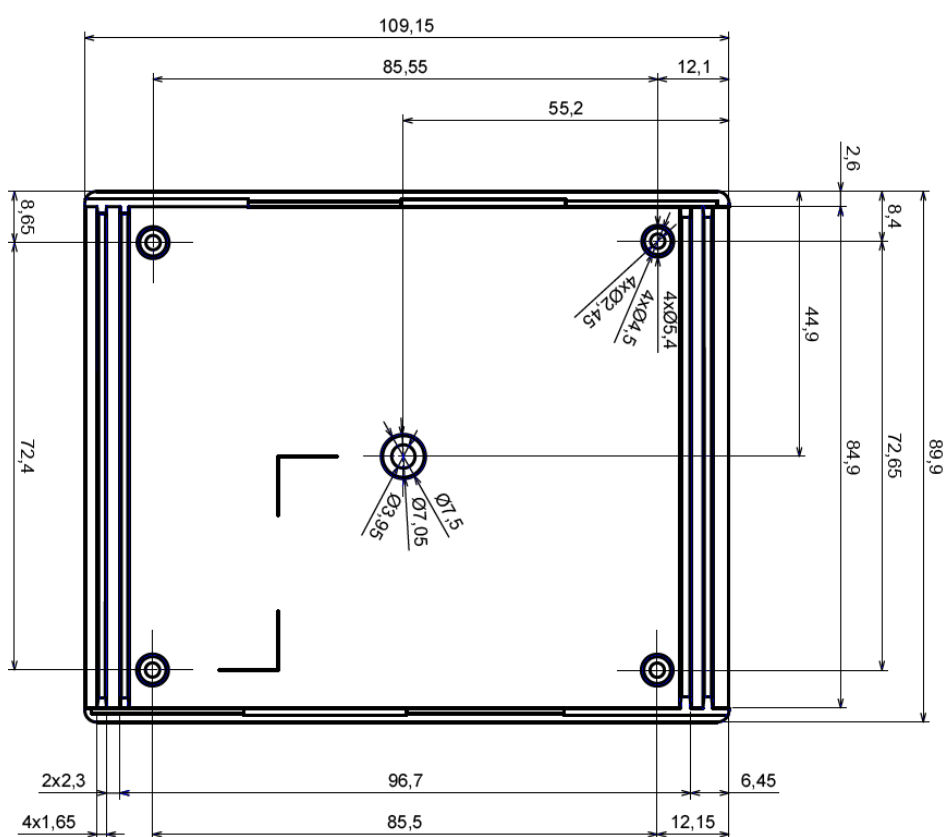
Základní limity a požadavky na desku plošného spoje klade použitá konstrukční krabice, ve které bude deska umístěna. Dále pak rozmístění konektorů, tlačítek či indikačních LED diod.

7.4.1 Konstrukční krabička

Plastová konstrukční krabička se skládá ze čtyř dílů. Horní a spodní části a dvou vložených bočních částí. Prostor pro osazení DPS se nachází v horní i spodní části krabičky, uchycení DPS je řešeno výliskem pro šroubové uchycení v každém rohu dílu.

Bočnice jsou uchyceny ve vyliisovaných drážkách po okrajích spodního a horního dílu.

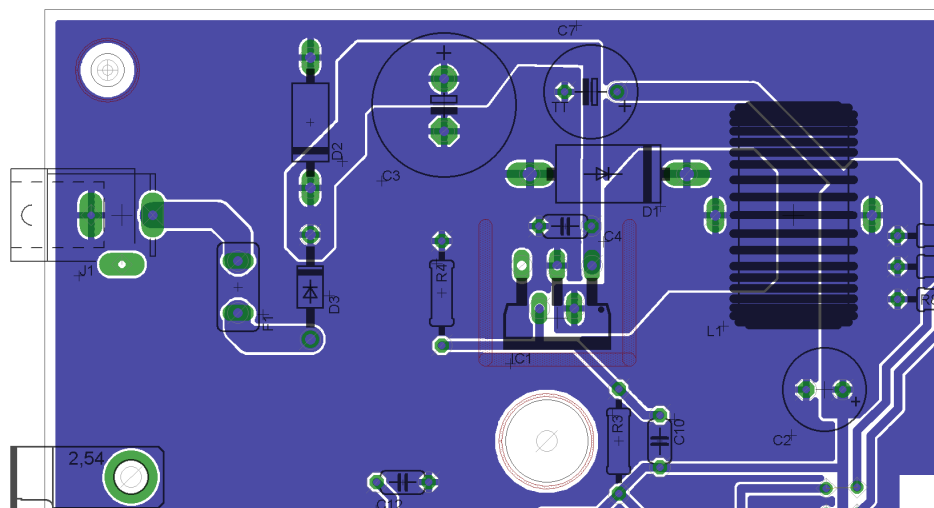
Celkové konstrukční spojení krabičky výrobce vyřešil masivním středovým vyliisovaným sloupkem, kterým vede spojovací šroub. Krabičku tedy pohromadě drží pouze jeden šroub ve středovém prostoru.



Obr. 14. Rozměrový výkres spodního dílu konstrukční krabičky [23]

7.4.2 Napájecí zdroj

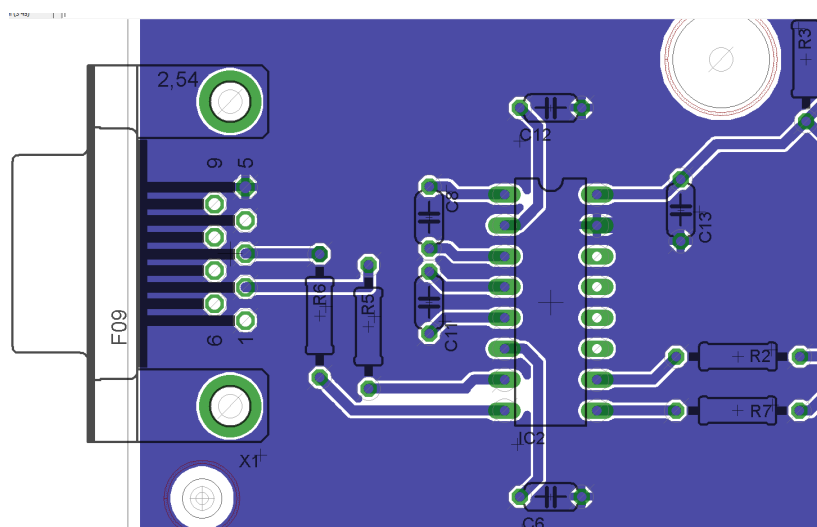
Hlavním požadavkem pro konstrukci plošného spoje pro zdrojovou část je krátká vzdálenost cesty proudové smyčky zdroje, tučně znázorněné na schématu (Obr. 9.), dále dílčí požadavky jako vést cestu pro zpětnou vazbu mimo prostor vlivu elektromagnetického rušení cívky zdroje [21].



Obr. 15. Zdrojová část plošného spoje.

7.4.3 Komunikační rozhraní

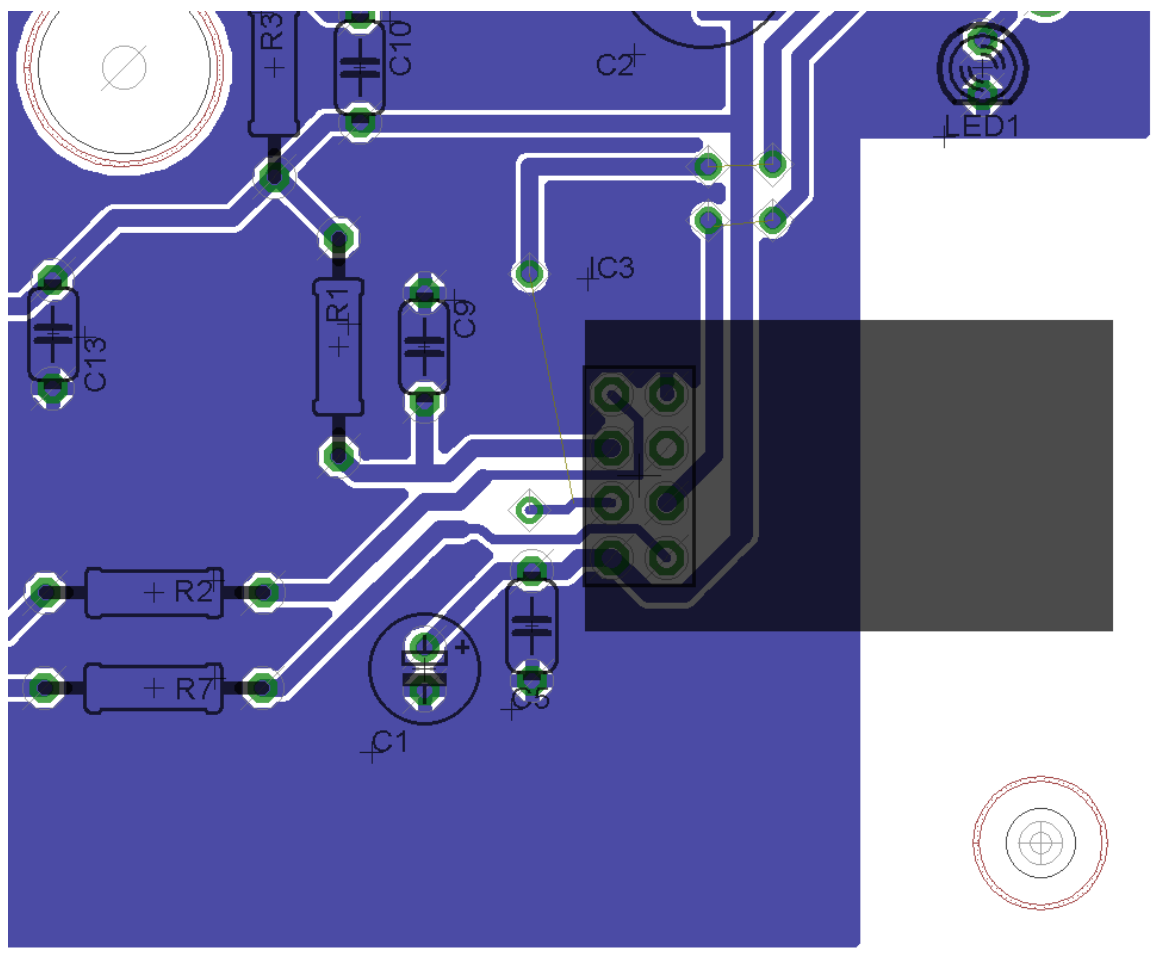
Doporučením výrobce pro návrh plošného spoje komunikačního rozhraní MAX3232CPE je udržet co možná nejkratší cestu pro proud protékající kondenzátory nábojové pumpy, jmenovitě C₈, C₆, C₁₁ a C₁₂ [22].



Obr. 16. RS232 komunikační část plošného spoje.

7.4.4 Bezdrátový modul

Hlavním doporučením výrobce pro návrh DPS pro bezdrátový komunikační modul je již zmíněný požadavek v sekci 7.4.4, a to absence vodivých předmětů a oblastí v okolí komunikační antény.



Obr. 17. Část plošného spoje pro bezdrátový modul.

Deska plošného spoje byla vytvořena pomocí specializovaného programu **EAGLE** od americké společnosti Autodesk Inc. se sídlem ve městě San Rafael v americkém státě Kalifornie.

Za povšimnutí stojí především použitá metodika tvorby spojů pomocí funkce kresby polygonů, která usnadňuje návrh desky plošného spoje [24].

Celkový výkres plošného spoje včetně osazovacího výkresu a součástkové rozpisky pro modul komunikačního rozhraní jsou přiloženy jako přílohy **P II.**, **P III.** a **P IV.**

8 Programové řešení

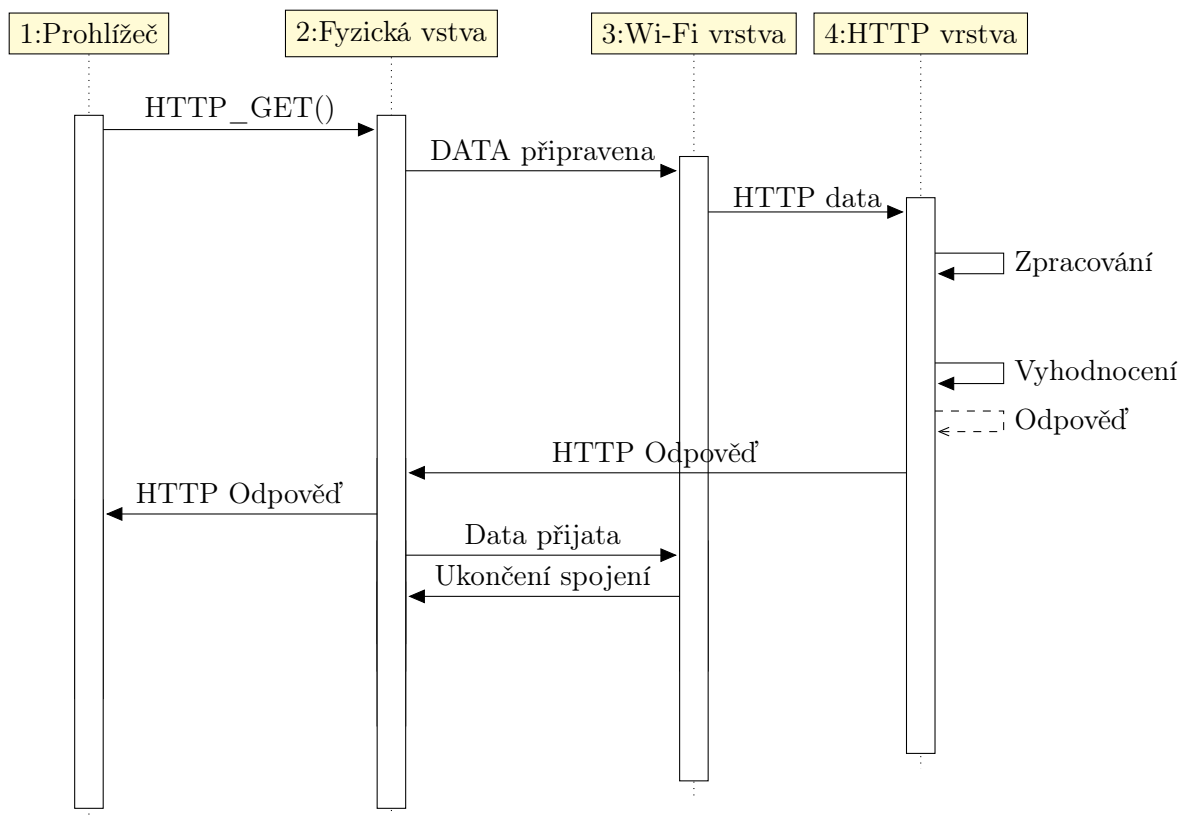
Programové řešení se zabývá analýzou a implementací softwarových částí pro demonstrativní využití možností komunikační platformy ESP8266 během výuky.

8.1 Analýza programového řešení

Analýza programového řešení navazuje na část 6.2, která se zabývá požadavky výuky, zadáním práce a případy užití, rozpracovává dílčí výsledky analýzy do podoby návrhu funkční architektury programu.

Cílem návrhu je vytvořit funkční knihovnu pro obsluhu fyzické vrstvy pro sériovou komunikaci s bezdrátovým modulem, vrstvu pro konfiguraci a ovládání bezdrátového modulu a vrstvu pro obsluhu komunikace s webovým prohlížečem.

S důrazem na využití zdrojů výpočetní platformy, využití obsluh přerušení a specializovaných periférií jako jsou časovače pro úlohy typu čekání, nebo UART pro sériovou komunikaci. Tento přístup umožní efektivnější využití výpočetního výkonu mikrokontroléru.



Obr. 18. Obecná sekvence spravování dotazu

8.2 Ovladač fyzické vrstvy

Ovladač fyzické vrstvy slouží ke konfiguraci a obsluze sériové komunikace prostřednictvím integrované periferie UART1 v mikrokontroléru.

Příjem a odesílání dat je řešeno prostřednictvím obsluhy přerušení, tento přístup umožňuje efektivnější využití zdrojů mikrokontroléru.

Součástí ovladače fyzické vrstvy je také inicializovaný paměťový prostor pro přijatá a vysílaná data. Přijatá data jsou předána nadřazené vrstvě ke zpracování až po ukončení příjmu. Nedochází tak k zatěžování procesoru vyhodnocováním neúplných dat. Připravenost dat indikuje stavová proměnná, která je součástí zásobníku dat.

Tab. 17. Konfigurace periferie UART1 mikrokontroléru KL25Z [15]

Parametr	Hodnota	Popis
SIM->SCGC5	SIM_SCGC5_PORTC_MASK	Povolení hodinového signálu pro PortC
PORTC->PCR[3]	PORT_PCR_MUX(3)	Nastavení funkce pinu jako UART1_RXD
PORTC->PCR[4]	PORT_PCR_MUX(3)	Nastavení funkce pinu jako UART1_TXD
SIM->SCGC4	SIM_SCGC4_UART1_MASK	Povolení hodinového signálu pro UART1
UART1->C1	0x00	Výchozí nastavení, 8 bitů, žádná parita
UART1->C2	UART_C2_RIE_MASK UART_C2_ILIE_MASK	Povolení přerušení pro příjem a idle stav
UART1->C3	UART_C3_ORIE_MASK	Povolení přerušení pro indikaci přetečení
UART1->BDH	0x00	Výchozí nastavení, jeden stop bit
UART1->BDL	0x0D	Nastavení přenosové rychlosti na 115200 Bd

Ukončení příjmu dat je indikováno přerušením a nastaveným pátým bitem s názvem `UART_S1_IDLE` v registru `UART1 S1`. Výrobce uvádí, že k nastavení bitu dojde tehdy, když není přijat žádný bit po dobu delší než je délka jednoho znaku dle nastavené komunikační rychlosti, tj. délka 8 po sobě jdoucích bitů [15].

8.2.1 Statický popis

Popis hlavičkového souboru ovladače fyzické vrstvy ze statického pohledu a popis speciálních datových typů, které implementuje.

drv_uart1.h
rx_buffer : t_uart_buf tx_buffer : t_uart_buf
send_char(void) : void buf_write_str(char *str) : char* UART1_Initialize(UART1_baudrate baudrate) : void

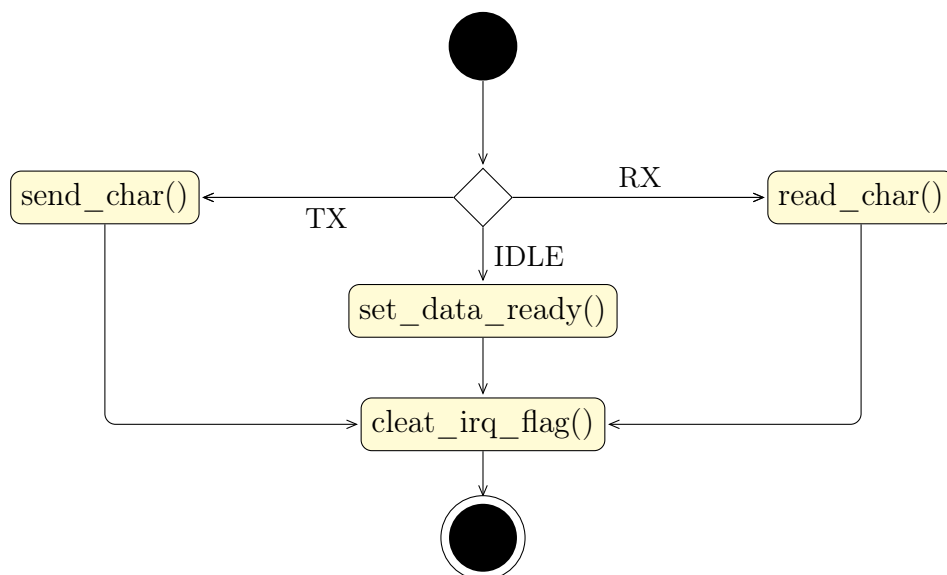
Obr. 19. Ovladač fyzické vrstvy

t_uart_buf
buffer[UART1_BUFFER_SIZE] : unsigned char index : int length : int data_ready : unsigned char overflow : unsigned char

Obr. 20. Speciální datový typ ovladače fyzické vrstvy

8.2.2 Dynamický popis

Dynamický popis popisuje běh významných částí programu ovladače fyzické vrstvy.



Obr. 21. Obsluha přerušení fyzické vrstvy

8.3 Ovladač modulu ESP8266

Vrstva ovladače modulu ESP8266 plní dvě zásadní funkce - nejprve prvotní konfiguraci komunikačního modulu a následně zprostředkování TCP komunikace do a z nadřazené vrstvy HTTP serveru.

Návrh a programové řešení ovladače je koncipováno jako stavový automat, který nejprve prochází sekvencí konfiguračních příkazů a následně setrvává ve stavu čekající pro příjem či odeslání dat TCP komunikace.

Z důvodů nutnosti reagovat i na nepřiměřeně dlouhé vykonání příkazu, nebo absenci odpovědi, využívá vrstva podpůrný funkční blok časovače [25].

8.3.1 Výchozí konfigurace a sekvence příkazů

Konfigurační sekvence příkazů se volně inspiruje příklady konfigurací dle konfiguračního manuálu výrobce [20].

Avšak konfiguraci potřebnou pro funkcionalitu modulu bezdrátového rozhraní výrobce jako příklad neuvádí. Z požadavků vyplývají následující obecné konfigurace bezdrátového modulu.

- **Konfigurace jako přístupový bod (SoftAP)** , která umožňuje připojení ostatních Wi-Fi zařízení jako klienti a komunikace s nimi.
- **Použití DHCP serveru** , jako jednoduché a standardizované založení IP sítě.
- **TCP server** s otevřeným portem číslo 80 pro příjem HTTP komunikace.

Tab. 18. Výchozí konfigurace modulu ESP8266

Parametr	Hodnota	Popis
SSID	ESP-EDU-KIT	Identifikátor sítě
Heslo	password	Heslo pro připojení
TCP port	80	Port pro příjem komunikace
Kanál	10	Číslo Wi-Fi kanálu
Šifrování	WPA2 PSK	Typ šifrování
TCP timeout	40	Doba čekání na potvrzení komunikace [s]
IP adresa	192.168.1.1	IP adresa komunikačního modulu
Adresa brány	192.168.1.1	IP adresa brány
Maska sítě	255.255.255.0	Maska sítě
DHCP start	192.168.1.2	První IP adresa rozsahu
DHCP end	192.168.1.101	Poslední IP adresa rozsahu
DHCP lease	120	Doba rezervace přidělené IP adresy

Konfigurační sekvence pomocí AT příkazů [19]

1. AT

Základní příkaz pro navázání komunikace se standardní odpovědí.

2. ATE0

Příkaz pro vykonání funkce, deaktivaci ozvěny, tj. znovu odeslání požadovaného příkazu v odpovědi se standardní odpovědí.

3. AT+GMR

Příkaz vykonání funkce, výpis informací o programové verzi modulu, standardní odpovědi předchází informační výpis.

```
AT version:1.5.0.0(Oct 24 2017 12:03:18)
SDK version:2.1.0(ace2d95)
compile time:Oct 24 2017 15:48:02
OK
```

4. AT+CWMODE_CUR=2

Nastavovací příkaz pro nastavení provozního módu Wi-Fi komunikace s jedním uživatelským parametrem a se standardní odpovědí.

```
AT+CWMODE_CUR=<mode>
<mode>:      1: Station mode
              2: SoftAP mode
              3: SoftAP+Station mode
```

5. AT+CWSAP_CUR="ESP-EDU-KIT","password",10,3,8,0

Nastavovací příkaz pro nastavení konfigurace provozního módu Wi-Fi komunikace s řadou uživatelských parametrů a se standardní odpovědí.

```
AT+CWSAP_CUR=<ssid>,<pwd>,<chl>,<ecn>[,<max conn>]
              [,<ssid hidden>]
<ssid>:      Identifikátor sítě
<pwd>:       Heslo
<chl>:       Číslo kanálu
<ecn>:       0: Bez šifrování
              2: WPA_PSK
              3: WPA2_PSK
              4: WPA_WPA2_PSK
[<max conn>]: Maximum připojených klientů, rozsah <1,8>
[<ssid hidden>]: 0: Nevysílá SSID 1: Vysílá SSID
```

6. AT+CIPAP_CUR="192.168.1.1","192.168.1.1","255.255.255.0"

Nastavovací příkaz pro nastavení konfigurace IP rozhraní s řadou uživatelských parametrů a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPAP_CUR=<ip>[,<gateway>,<netmask>]
<ip>:        IP adresa modulu
[<gateway>]: Výchozí brána
[<netmask>]:  Maska sítě
```

7. AT+CWDHCP_CUR=0,1

Nastavovací příkaz pro nastavení funkce DHCP serveru a klienta s dvěma uživatelskými parametry a se standardní odpovědí.

```
AT+CWDHCP_CUR=<mode>,<en>
<mode>:      0: DHCP pro mód SoftAP
              1: DHCP pro mód Station
              2: DHCP pro mód SoftAP a Station
<en>:       0: Povolí funkci DHCP
              1: Zakáže funkci DHCP
```

8. AT+CWDHCPS_CUR=1,120,"192.168.1.2","192.168.1.101"

Nastavovací příkaz pro nastavení parametrů DHCP serveru s řadou uživatelských parametrů se standardní odpovědí.

```
AT+CWDHCPS_CUR=<enable>,<lease time>,<start IP>,<end IP>
<enable>:    0: Zakáže nastavení, použije se výchozí.
              1: Povolí nastavení, použije se konfigurace
                 parametrů z příkazu.
<lease time>: Doba rezervace IP adresy <1, 2880> [min]
<start IP>:  První IP adresa z rozsahu.
<end IP>:    Poslední IP adresa z rozsahu.
```

9. AT+CIPMUX=1

Nastavovací příkaz pro konfiguraci vícenásobného připojení s jedním uživatelským parametrem a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPMUX=<mode>
<mode>:      0: Pouze jedno připojení
              1: Vícenásobného připojení
```

10. AT+CIPDINFO=1

Nastavovací příkaz pro konfiguraci zobrazených identifikátorů v přijatých dat s jedním uživatelským parametrem a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPDINFO=<mode>
<mode>:      0: Ne zobrazuje číslo zdrojového portu a IP adresu
                 klienta.
              1: Zobrazí číslo zdrojového portu a IP adresu
                 klienta.
```

11. AT+CIPSERVER=1,80

Nastavovací příkaz pro vytvošení TCP serveru se dvěma uživatelskými parametry a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPSERVER=<mode>[,<port>]
<mode>:      0: Ukončí existující server.
              1: Vytvoří TCP server.
[,<port>]:    Číslo portu
```

12. AT+CIPSTO=40

Nastavovací příkaz pro nastavení doby čekání na odpověď TCP komunikace s jedním uživatelským parametrem a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPSTO=<time>
<time>:      Doba čekání na odpověď rozsah <0,7200> [sekunda]
```

13. AT+CIFSR

Příkaz pro vykonání funkce, výpis informací o síťové konfiguraci modulu, standardní odpovědi předchází informační výpis.

```
+CIFSR:APIP,"192.168.1.1" IP adresa modulu
+CIFSR:APMAC,"62:01:94:22:19:73" MAC adresa modulu
OK
```

Speciální použité AT příkazy [19]**AT+RST**

Příkaz vykonání funkce reset modulu se standardní odpovědí.

+IPD

Speciální typ příkazu, který posílá modul v případě, že přijal data.

```
+IPD,<link ID>,<len>:<data>
<link ID>:      Identifikátor komunikačního kanálu.
<len>:         Velikost (délka) přijatých dat.
<data>:       Přijatá data
```

AT+CIPSEND

Nastavovací příkaz pro nastavení parametrů TCP komunikace pro odeslání dat s řadou uživatelských parametrů. Příkaz se rozděluje na více částí, v první části dojde k předání parametrů a vytvoření komunikačního kanálu, následně po speciálním znaku > modul čeká na data k odeslání, závěrečná část je speciální odpověď, zda se komunikace zdařila, či nikoliv.

```
AT+CIPSEND=<link ID>,<length>
<link ID>:      Identifikátor existujícího komunikačního kanálu.
<length>:      Délka odesílaných dat v Bytech.
ODPOVĚĎ:
>              Čeká na data k odeslání.
ERROR          V případě problému během komunikace.
SEND OK        Odeslání dat proběhlo úspěšně.
SEND FAIL      Odeslání dat se nezdařilo.
```

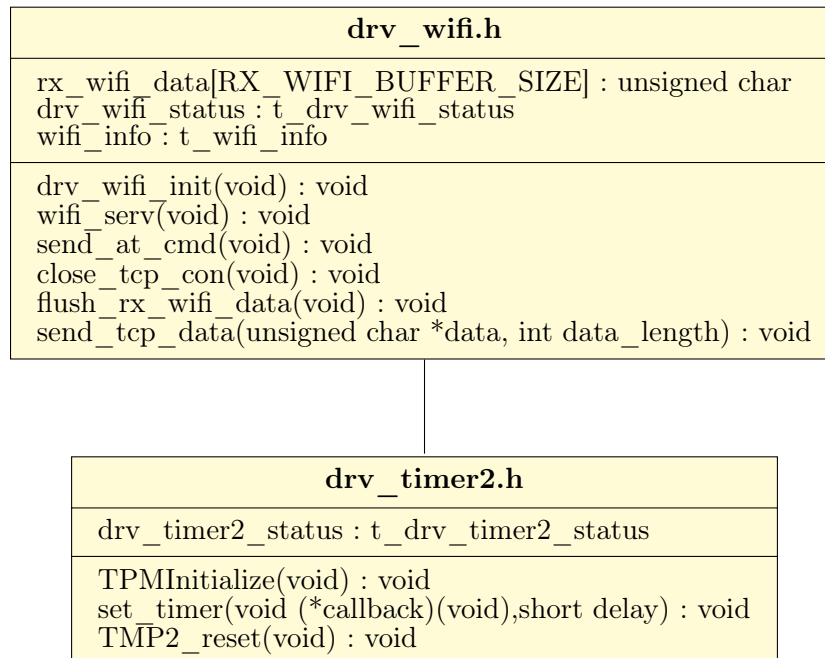
AT+CIPCLOSE

Nastavovací příkaz s vykonáním funkce uzavření komunikačního kanálu s jedním uživatelským parametrem a se standardní odpovědí.

```
AT+CIPCLOSE=<link ID>
<link ID>:      Identifikátor existujícího komunikačního kanálu.
```

8.3.2 Statický popis ovladače

Statický pohled na ovladač modulu ESP8266, který využívá ovladač časovače popisuje jejich hlavičkové soubory.



Obr. 22. Ovladač modulu ESP8266 - Statický popis

Ovladač modulu ESP8266 implementuje také speciální datové typy:

- **t_drv_wifi_status** je určený pro popis aktuálního stavu ovladače.
- **t_wifi_info** obsahuje informace programové verzi modulu ESP8266.
- **t_at_cmdtab** je datový typ stavu ovladače.
- **t_wifi_user_config** slouží k uchování a definici uživatelského nastavení.

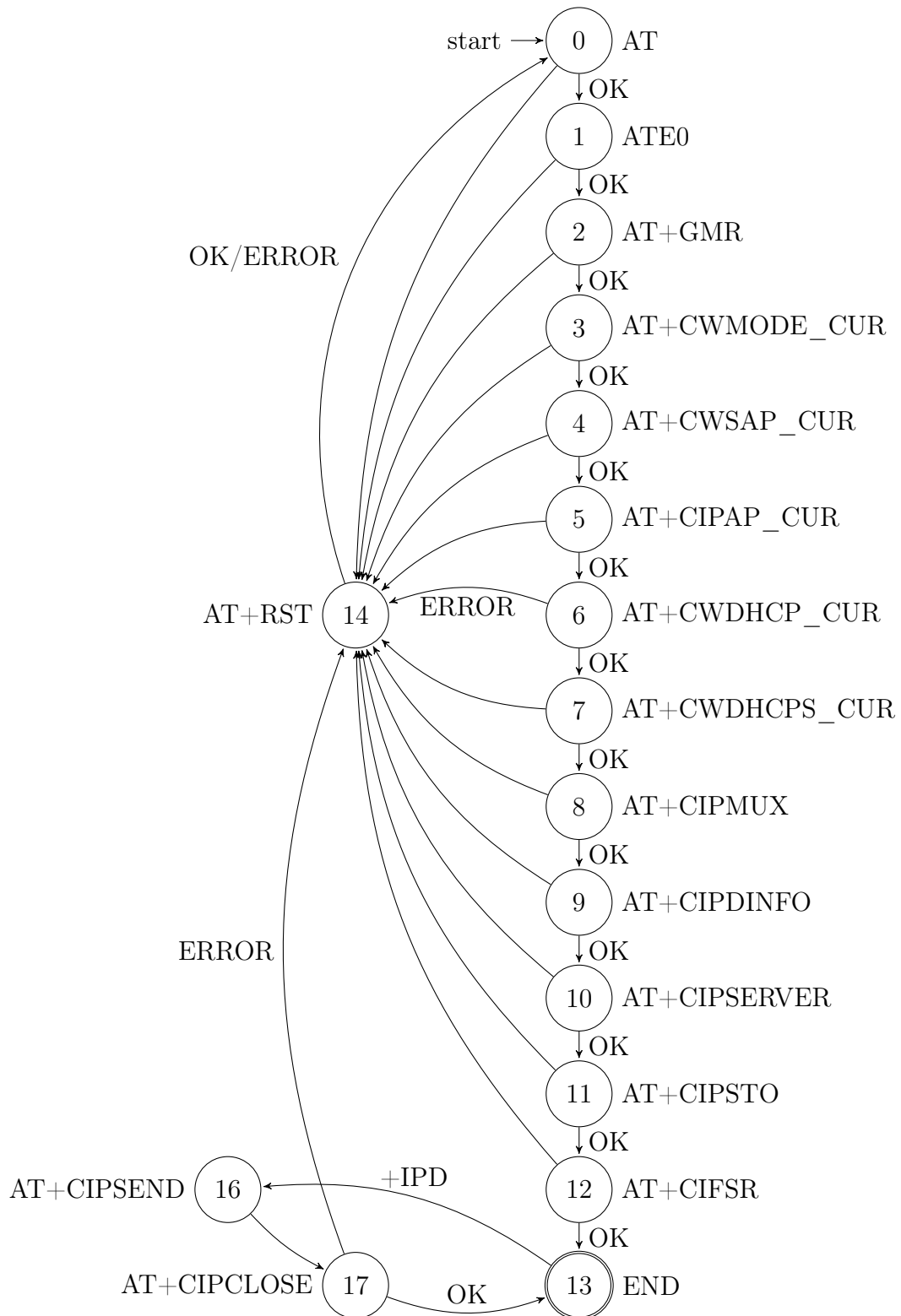
Konkrétní implementace souhrnně popisuje obrázek (Obr. 23.).

t_wifi_user_config	t_wifi_info		
ssid[32+1] : unsigned char password[64+1] : unsigned char tcp_port[5+1] : unsigned char wifi_chanell[2+1] : unsigned char encryption[1+1] : unsigned char tcp_timeout[4+1] : unsigned char ap_ip[20+1] : unsigned char ap_gateway[20+1] : unsigned char ap_netmask[20+1] : unsigned char dhcp_server_en[1+1] : unsigned char dhcp_server_lease[4+1] : unsigned char dhcp_server_start_ip[20+1] : unsigned char dhcp_server_end_ip[20+1] : unsigned char max_stations[1+1] : unsigned char hidden_ssid[1+1] : unsigned char cw_mode[1+1] : unsigned char cwlap_sort[1+1] : unsigned char cwlap_mask[4+1] : unsigned char cwcounry_policy[1+1] : unsigned char cwcounry_code[4+1] : unsigned char cwcounry_start_ch[2+1] : unsigned char cwcounry_ch_cnt[2+1] : unsigned char cwdhcp_mode[1+1] : unsigned char cwdhcp_en[1+1] : unsigned char cipmux_en[1+1] : unsigned char cipdinfo_en[1+1] : unsigned char cipserver_en[1+1] : unsigned char	at_version[50+1] : unsigned char sdk_version[50+1] : unsigned char compile_time[50+1] : unsigned char ap_ip[20+1] : unsigned char ap_mac[20+1] : unsigned char		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">t_at_cmdtab</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> at_cmd : char* timeout : short repeat : int (* p_fce_send)() : void (* p_fce_resp)() : void next_ok : int next_err : int </td> </tr> </tbody> </table>	t_at_cmdtab	at_cmd : char* timeout : short repeat : int (* p_fce_send)() : void (* p_fce_resp)() : void next_ok : int next_err : int
t_at_cmdtab			
at_cmd : char* timeout : short repeat : int (* p_fce_send)() : void (* p_fce_resp)() : void next_ok : int next_err : int			
t_drv_wifi_status			
at_index : unsigned char at_sub_index : unsigned char at_timeout : unsigned char at_repeat : unsigned char at_tcp_data_ready : unsigned char at_rx_tcp_data : unsigned char* at_tx_tcp_data : unsigned char* at_rx_tcp_data_length : unsigned int at_tx_tcp_data_length : unsigned int at_tcp_socket : unsigned char			

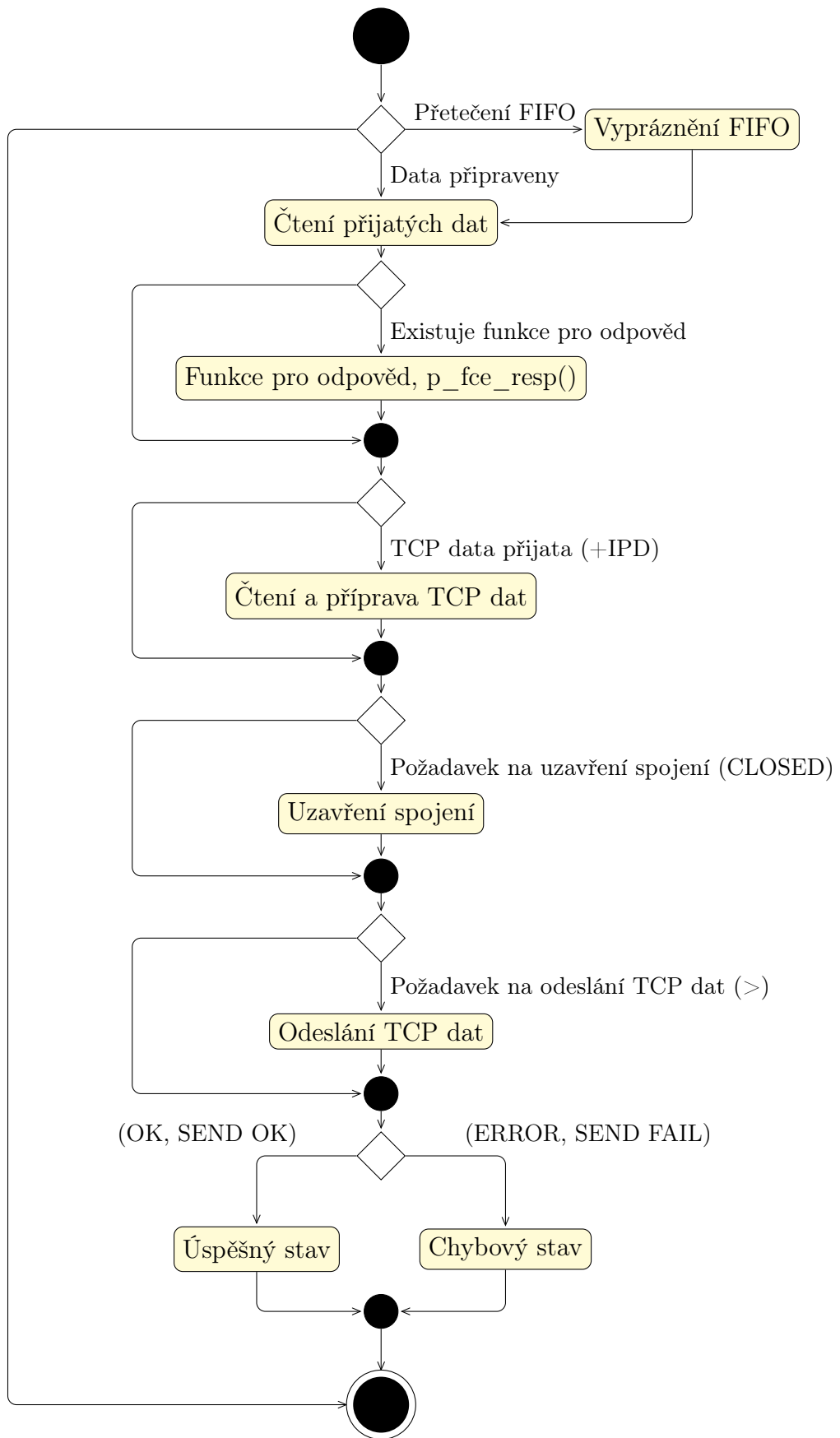
Obr. 23. Speciální datové typy ovladače modulu ESP8266

8.3.3 Dynamický popis ovladače

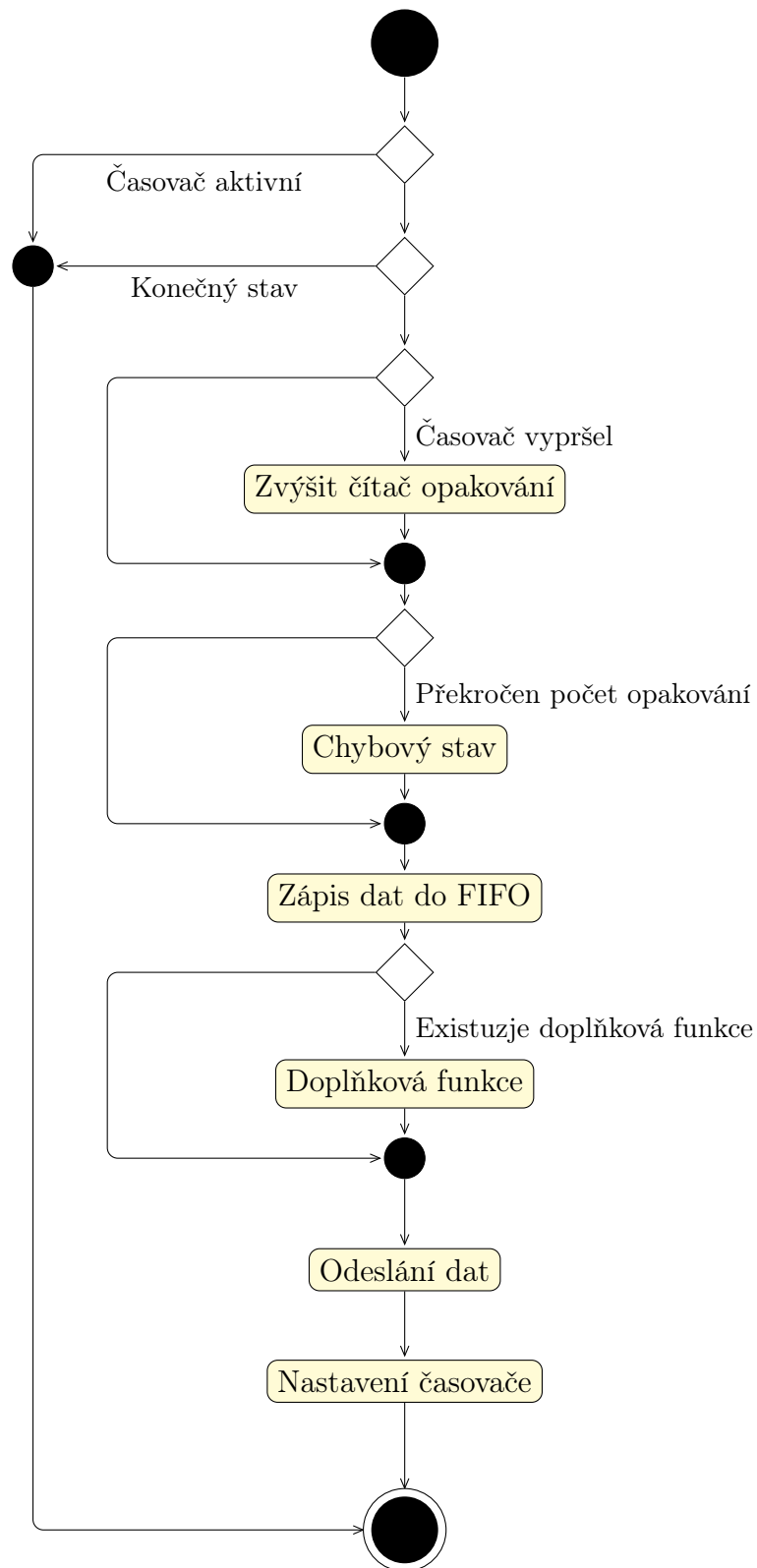
Popisuje běh významných částí programu ovladače fyzické vrstvy. Kompletní funkce ovladače je obecně popsána stavovým automatem na obrázku (Obr. 24.).



Obr. 24. Stavový automat ovladače modulu ESP8266



Obr. 25. Obecný průběh servisní funkce ovladače wifi_serv()



Obr. 26. Obecný průběh funkce ovladače send_at_cmd()

8.4 HTTP server

Implementace vrstvy HTTP (webového) serveru umožňuje rozlišovat HTTP metody GET, POST. Hlavním limitujícím faktorem během implementace byl paměťový prostor pro data o velikost 16 KB.

Velikost alokované paměti příjem dat je stanovena na 1,5 KB, HTTP dotazy o větší velikosti nejsou zpracovány. HTTP dotazy GET /favicon.ico hojně generovány HTML prohlížeči všech typů jsou ignorovány z důvodu výkonové úspory a nadbytečnosti dotazu.

8.4.1 Statický popis

HTTP server za statického pohledu obsahuje tři funkce:

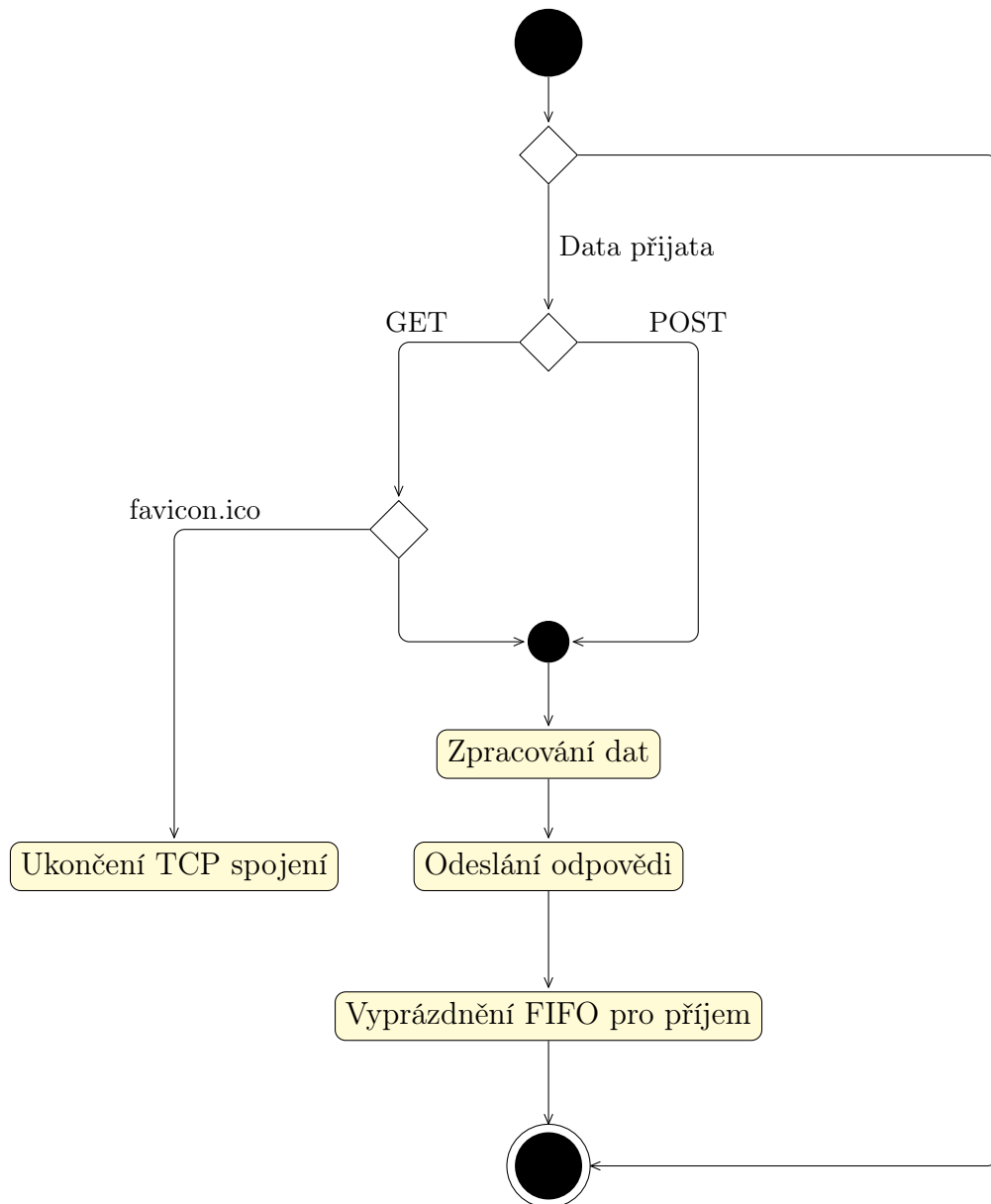
- **void webservice_serv(void)** je servisní, která obsluhuje kompletní HTTP službu včetně nižších vrstev.
- **void set_web_page(unsigned char* web_page_p)** funkce, která nastaví ukazatel na data webové stránky.
- **void set_parse_func(void (*parse_fnc_p)(unsigned char* data))** funkce pro vyhodnocení obsahu přijatých dat.
- **void webservice_init(void)** inicializuje všechny vrstvi knihovny.

web_server.h
webservice_serv(void) : void set_web_page(unsigned char* web_page_p) : void set_parse_func(void (*parse_fnc_p)(unsigned char* data)) : void webservice_init(void): void

Obr. 27. Statický popis vrstvy HTTP serveru

8.4.2 Dynamický popis

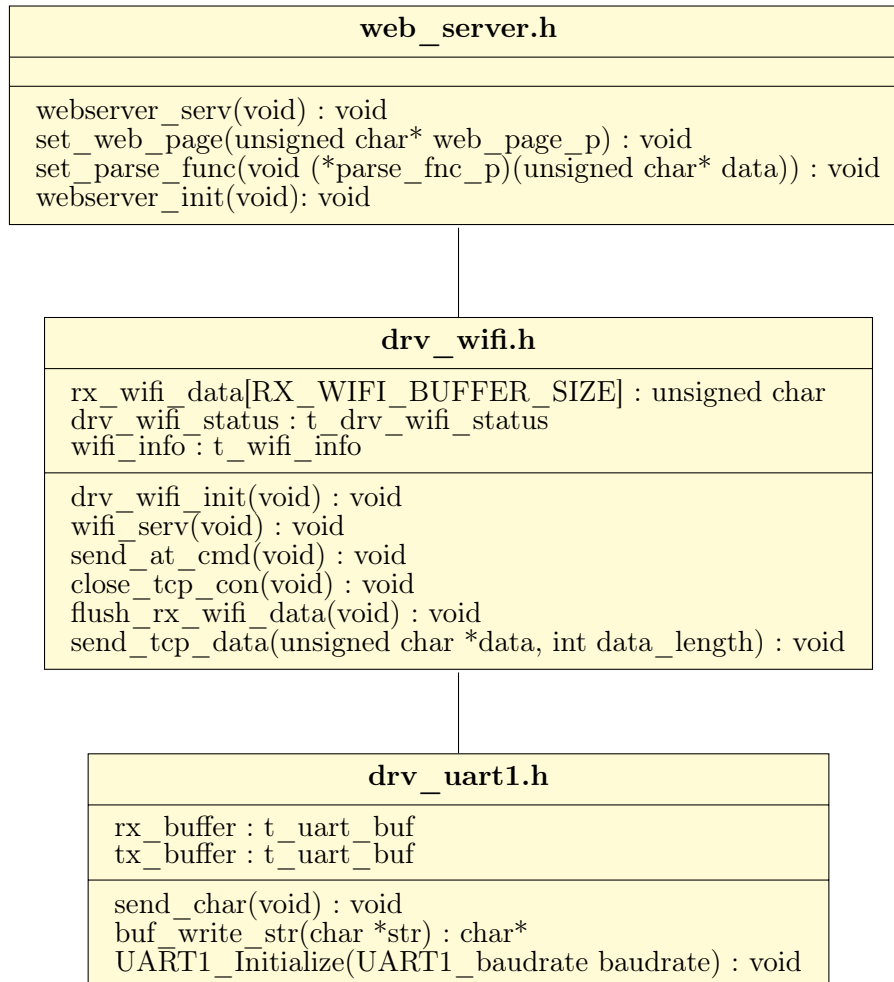
Popis běhu programu vrstvy HTTP serveru.



Obr. 28. Obecný průběh funkce HTTP serveru `webserver_parse()`

8.5 Souhrnný popis knihovny

Z důvodu udržení nízké úrovně komplexity je ovládací knihovna je rozdělena na tři vrstvy. Každá vrstva vytváří úroveň abstrakce, která umožňuje efektivnější použití knihovny a přispívá k uživatelské přehlednosti.



Obr. 29. Knihovna pro ovládání Wi-Fi komunikačního modulu

9 Výuková prezentace

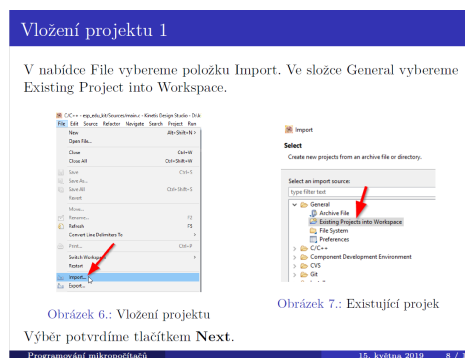
Výuková prezentace představuje použitou platformu mikroprocesoru. Popisuje její vstupy a postup připojení k počítači.



Obrázek 1.: Vývojový kit FRDM-KL25Z

Obr. 30. Výuková prezentace představení platformy

Dále se věnuje vývojovému prostředí a vložení vzorového nebo vytvoření vlastního projektu s ovládací knihovnou.



Obrázek 6.: Vložení projektu

Výběr potvrdíme tlačítkem Next.

Obrázek 7.: Existující projekt

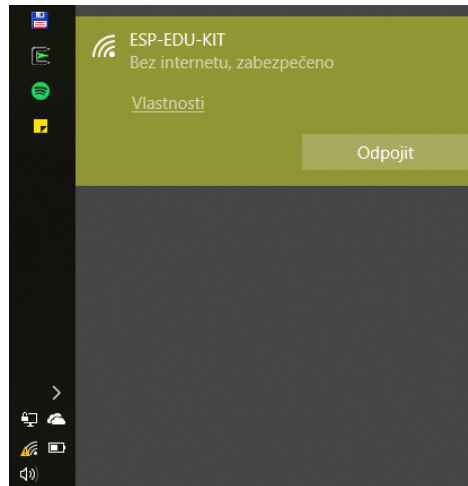
Obr. 31. Výuková prezentace vložení vzorového projektu

Výuková prezentace je uložena v elektronické podobě na přiloženém CD (Příloha P V.).

10 Testovací aplikace

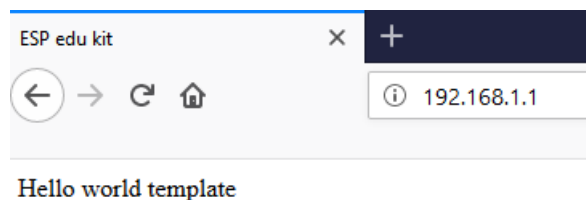
Testovací aplikace byla vytvořena ze vzorového projektu na základě výukové prezentace.

Během testování byla vytvořena nakonfigurovaná Wi-Fi síť.



Obr. 32. Vysílané SSID

Testovací dotaz z webového prohlížeče dostal jako odpověď nakonfigurovanou stránku ve vzorovém projektu.



Obr. 33. Odpověď modulu

Výpis z ladícího terminálu aplikace, konfigurační část a vyhodnocení HTTP GET na favicon.ico.

```
Wifi driver state: 0
ESP <-- AT
ESP --> AT
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 1
ESP <-- ATE0
ESP --> ATE0
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 2
ESP <-- AT+GMR
ESP --> AT version:1.5.0.0(Oct 24 2017 12:03:18)
```

```
SDK version:2.1.0(ace2d95)
compile time:Oct 24 2017 15:48:02
Bin version(Wroom 02):1.5.1
OK
Parsing GMR
Timer reset!
  Parsing GMR
OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 3
ESP <-- AT+CWMODE_CUR=2
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 4
ESP <-- AT+CWSAP_CUR="ESP-EDU-KIT", "password", 10, 3, 8, 0
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 5
ESP <-- AT+CIPAP_CUR="192.168.1.1", "192.168.1.1", "255.255.255.0"
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 6
ESP <-- AT+CWDHCP_CUR=0, 1
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 7
ESP <-- AT+CWDHCPS_CUR=1, 120, "192.168.1.2", "192.168.1.101"
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 8
ESP <-- AT+CIPMUX=1
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 9
ESP <-- AT+CIPDINFO=1
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 10
ESP <-- AT+CIPSERVER=1, 80
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 11
ESP <-- AT+CIPSTO=40
ESP -->
OK
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 12
```

```
ESP <-- AT+CIFSR
ESP --> +CIFSR:APIP,"192.168.1.1"
+CIFSR:APMAC,"62:01:94:22:19:73"
OK
Parsing CIFSR
Timer reset!
  Parsing CIFSR
OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
ESP configured, server started!
AP IP address: "192.168.1.1"
AP MAC address: "62:01:94:22:19:73"
ESP module info:
compile time:Oct 24 2017 15:48:02
AT version:1.5.0.0(Oct 24 2017 12:03:18)
SDK version:2.1.0(ace2d95)
-----SERVER READY-----
ESP --> 0,CONNECT
+IPD,0,271,192.168.1.2,2060:GET /favicon.ico HTTP/1.1
Host: 192.168.1.1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:66.0) Gecko/20100101 Firefox/66.0
Accept: image/webp,*/*
Accept-Language: cs,sk;q=0.8,en-US;q=0.5,en;q=0.3
Accept-Encoding: gzip, deflate
Connection: keep-alive
+IPD handling!
Parsing WEB page
GET
We don't have any icon!
Flushing rx_wifi_data !
Wifi driver state: 17
ESP <-- AT+CIPCLOSE=0
ESP --> 0,CLOSED
OK
CLOSED handling!
Timer reset!
  OK handling!
Flushing rx_wifi_data !
```

Vzorový projekt je v elektronické podobě uložen na přiloženém CD (Příloha **P V.**).

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvoření modulu Wi-Fi komunikačního rozhraní s programovou ovládací knihovnou tak, aby sloužila studentům při výuce předmětu Programování mikropočítačů. Všechny body zadání se dle mého názoru podařilo splnit a domnívám se proto, že cíl práce byl naplněn.

Teoretická část se zprvu věnuje krátkému představení Wi-Fi komunikace a pak přechází k problematice integrovaných bezdrátových modulů, kde se zaměřuje na výběr správné platformy pro edukativní použití. Byla vybrána platforma Espressif ESP8266 a modul ESP-01 založený právě na této platformě. Platforma má širokou oblast využití a těší se velké uživatelské oblíbenosti. I to ve velké míře přispívá k volbě této platformy pro výukové účely.

V praktické části proběhla analýza požadavků vzhledem k technickým požadavkům, zadání práce a zamýšlenému účelu použití výsledku práce. Výsledky této analýzy byly zapracovány do technického návrhu komunikačního rozhraní a přispěly k vytvoření funkčního modulu.

Poznatky z analýzy pomohly při implementaci ovládací knihovny a přispěly k větší efektivitě a uživatelské přehlednosti výsledného kódu v jazyce C. Ovládací knihovna je koncipována do třech funkčních vrstev. První vrstva ovládá přímo komunikační periférie mikrokontroléru a obsluhuje přerušování. Vrstva druhá zajišťuje konfiguraci modulu ESP8266 a zprostředkovává TCP komunikaci pro vrstvu třetí. Poslední třetí vrstva tvoří HTTP server, který zpracovává komunikaci prostřednictvím HTTP komunikace.

Byla vytvořena výuková prezentace pro účely zrychleného seznámení studentů s mikroprocesorovou platformou, komunikačním rozhraním a použitými nástroji pro tvorbu programů využívajících Wi-Fi komunikační rozhraní.

Za použití výukové prezentace byla vytvořena testovací aplikace pro otestování funkčnosti jak komunikačního rozhraní a ovládací knihovny, tak použitelnost samotné prezentace.

Věřím, že se mi podařilo vytvořit univerzální nástroj přispívající k rozšíření výuky předmětu Programování mikropočítačů o mnohé aplikace nejen ze světa internetu věcí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Fyzická vrstva Wi-Fi* [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL , 2008 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008050006>
- [2] *Qualcomm WCN3998 chipset* [online]. San Diego (USA): Qualcomm Technologies, Inc. , 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.qualcomm.com/products/wcn3998>.
- [3] *Snapdragon 617 Processor* [online]. San Diego (USA): Qualcomm Technologies, Inc. , 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.qualcomm.com/products/snapdragon-processors-617>.
- [4] *RTL8710 WiFi Module* [online]. Shenzhen (CN): Seeed Technology Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/RTL8710-WiFi-Module-p-2793.html>.
- [5] *ESP8266 Community Forum* [online]. ESP8266 Community, 2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.esp8266.com/wiki/doku.php>.
- [6] *ESP8266 Datasheet Version 4.3* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2015 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.
- [7] *ESP32 Series Datasheet Version 3.0* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.
- [8] *ESP32-WROOM-32 Datasheet Version 2.8* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.
- [9] *ESP-IDF Programming Guide* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v3.1.1/index.html>.
- [10] *EMW3165 Datasheet Version 1.4* [online]. Shanghai (CN): MXCHIP Information Technology Co., Ltd., 2016 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: http://en.mxchip.com/product/wifi_product/38.
- [11] *ESP8266 Hardware Design Guidelines Version 2.3* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.

- [12] EICHHORN, Daniel. *SP8266 module comparison* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://blog.squix.org/2015/03/esp8266-module-comparison-esp-01-esp-05.html>.
- [13] *ARM MBED FRDM-KL25Z* [online]. Cambridge, (UK): ARM Holdings, 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://os.mbed.com/platforms/KL25Z/>.
- [14] *Kinetis KL25 Sub-Family Rev. 5* [online]. Eindhoven, (NL): NXP Semiconductors N.V., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>.
- [15] *KL25 Sub-Family Reference Manual Rev. 3* [online]. Eindhoven, (NL): NXP Semiconductors N.V., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>.
- [16] *ESP8266 NONOS Software Development Kit* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: https://github.com/espressif/ESP8266_NONOS_SDK.
- [17] *ESP8266 RTOS Software Development Kit* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: https://github.com/espressif/ESP8266_RTOS_SDK.
- [18] *NodeMcu Home Page* [online]. NodeMcu Team, 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.nodemcu.com>.
- [19] *ESP8266 AT Instruction Set Version 3.0* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.
- [20] *ESP8266 AT Command Examples Version 1.3* [online]. Shanghai (CN): Espressif Systems Co.,Ltd., 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.espressif.com>.
- [21] *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator* [online]. Dallas, Texas (US): Texas Instruments Incorporated, 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.ti.com>.
- [22] *MAX3232 3-V to 5.5-V Multichannel RS-232 Line Driver/Receiver* [online]. Dallas, Texas (US): Texas Instruments Incorporated, 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.ti.com>.
- [23] *Technický výkres krabičky Z5* [online]. Warszawa (PL): KRADEX, 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.kradex.com.pl/>.
- [24] JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. *EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka* .: 2. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2

- [25] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless LAN
ISM	industrial, scientific and medical
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
OFDM	Orthogonaly Frequency pision Multiplex
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
SSID	Service Set Identifier
PMD	Physical Medium Dependent
MCU	Mikrokontrolér
ARM	Advanced RISC Machine
DPS	Deska plošného spoje
GPIO	General purpouse input and output
PLL	Phase-Locked Loop
FLL	Frequency-locked loop
API	Application Programming Interface
LQFP	Low Profile Quad Flat Package
QFN	Quad Flat No-leads
RISC	Reduced Instruction Set Computer
MAC	Medium Access Control
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
VCO	Voltage Controlled Oscillator
RF	Radio Frequency
THT	Through Hole Technology
SMD	Surface Mount Device
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
FTP	File Transfer Protocol
CPU	Central Processing Unit
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPA2	Wi-Fi Protected Access II
MIPS	Millions of instructions per second

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	Rozdělení kanálů v ISM pásmu 2,4 GHz [1]	12
Obr. 2.	Seed RTL8710 WiFi Module [4]	14
Obr. 3.	ESP-01 ESP8266 WiFi Module [5]	15
Obr. 4.	ESP32-WROOM-32 WiFi Module [9]	16
Obr. 5.	EMW3165 WiFi Module [10]	17
Obr. 6.	ESP-01 [12]	19
Obr. 7.	FRDM-KL25Z KIT NXP [13]	24
Obr. 8.	FRDM KIT V1.0 UTB	25
Obr. 9.	Referenční zapojení stabilizátoru LM2596T-ADJ [21]	29
Obr. 10.	Schéma zdroje se stabilizátorem napětí LM2596T-ADJ.	30
Obr. 11.	Doporučené hodnoty indukčnosti [21]	31
Obr. 12.	Schéma komunikačního rozhraní modulu s MAX3232CPE.	32
Obr. 13.	Schéma bezdrátového komunikačního rozhraní.	33
Obr. 14.	Rozměrový výkres spodního dílu konstrukční krabičky [23]	34
Obr. 15.	Zdrojová část plošného spoje.	35
Obr. 16.	RS232 komunikační část plošného spoje.	35
Obr. 17.	Část plošného spoje pro bezdrátový modul.	36
Obr. 18.	Obecná sekvence spravování dotazu	37
Obr. 19.	Ovladač fyzické vrstvy	39
Obr. 20.	Speciální datový typ ovladače fyzické vrstvy	39
Obr. 21.	Obsluha přerušování fyzické vrstvy	39
Obr. 22.	Ovladač modulu ESP8266 - Statický popis	44
Obr. 23.	Speciální datové typy ovladače modulu ESP8266	45
Obr. 24.	Stavový automat ovladače modulu ESP8266	46
Obr. 25.	Obecný průběh servisní funkce ovladače wifi_serv()	47
Obr. 26.	Obecný průběh funkce ovladače send_at_cmd()	48
Obr. 27.	Statický popis vrstvy HTTP serveru	49
Obr. 28.	Obecný průběh funkce HTTP serveru webserver_parse()	50
Obr. 29.	Knihovna pro ovládání Wi-Fi komunikačního modulu	51
Obr. 30.	Výuková prezentace představení platformy	52
Obr. 31.	Výuková prezentace vložení vzorového projektu	52
Obr. 32.	Vysílané SSID	53
Obr. 33.	Odpověď modulu	53

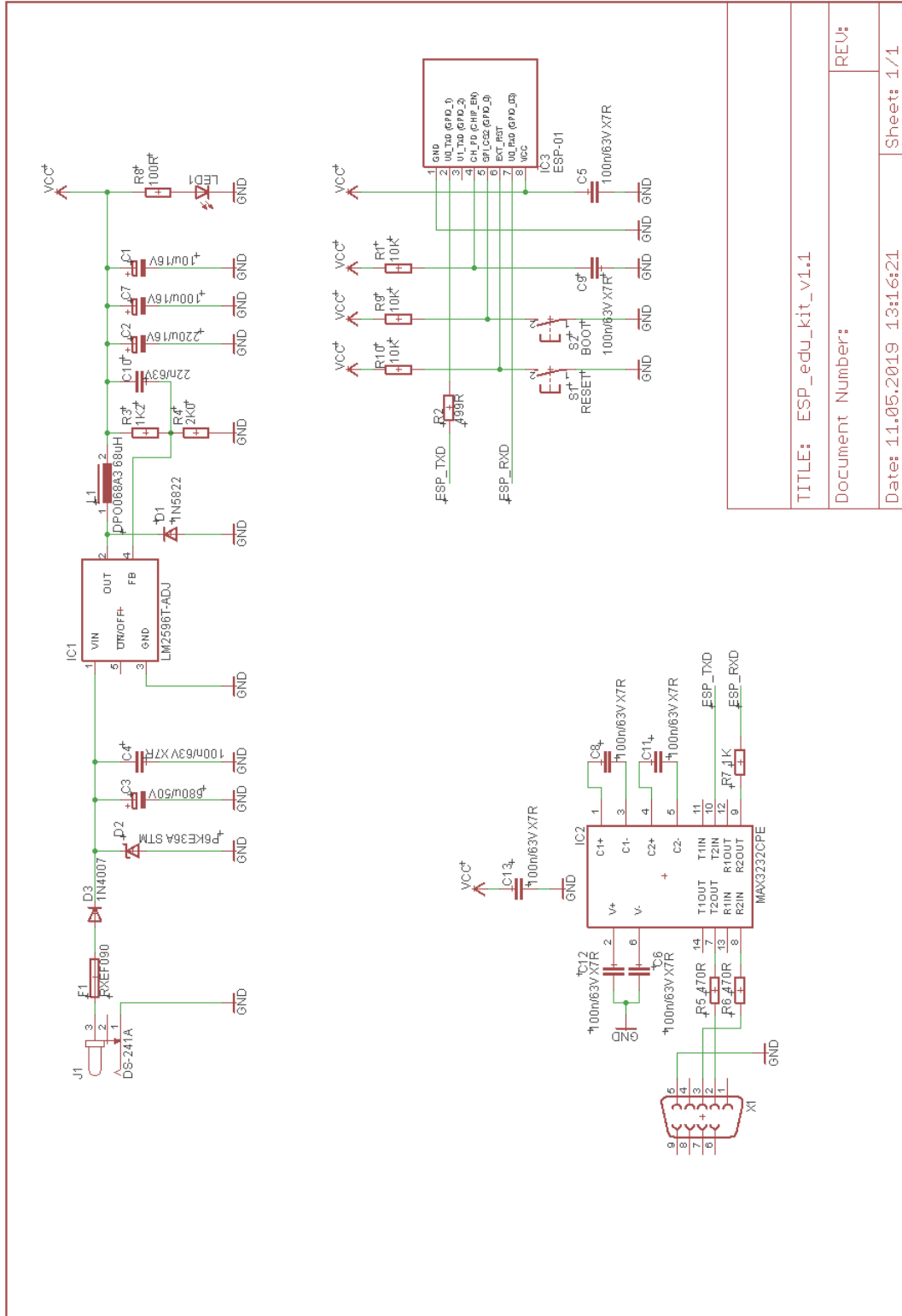
SEZNAM TABULEK

Tab. 1.	Výběr nejvýznamnějších Wi-Fi standardů [1]	11
Tab. 2.	Základní rozdělení frekvenčního pásma 5 GHz [1]	12
Tab. 3.	Technické vlastnosti modulu Seed RTL8710 [4]	14
Tab. 4.	Technické vlastnosti modulu Seed ESP-01 [6]	15
Tab. 5.	Technické vlastnosti modulu ESP32-WROOM-32 [8]	16
Tab. 6.	Technické vlastnosti modulu EMW3165 [10]	17
Tab. 7.	Porovnání bezdrátových komunikačních modulů	18
Tab. 8.	Funkce vývodů modulu ESP-01	19
Tab. 9.	Elektrické vlastnosti GPIO [6]	20
Tab. 10.	Spotřeba během bezdrátové komunikace [6]	20
Tab. 11.	Příklad rozdělení paměti o velikosti 16 Mbit [6]	21
Tab. 12.	Obecné typy AT příkazů [19]	22
Tab. 13.	Příklad AT příkazu [19]	22
Tab. 14.	Elektrické vlastnosti modulu bezdrátového rozhraní	29
Tab. 15.	Vybrané elektrické vlastnosti LM2596-ADJ [21]	29
Tab. 16.	Vybrané elektrické vlastnosti MAX3232 [22]	32
Tab. 17.	Konfigurace periferie UART1 mikrokontroléru KL25Z [15]	38
Tab. 18.	Výchozí konfigurace modulu ESP8266	40

SEZNAM PŘÍLOH

- P I. Schéma zapojení
- P II. Vzor plošného spoje
- P III. Výkres Osazení
- P IV. Rozpiska součástek
- P V. Obsah přiloženého CD

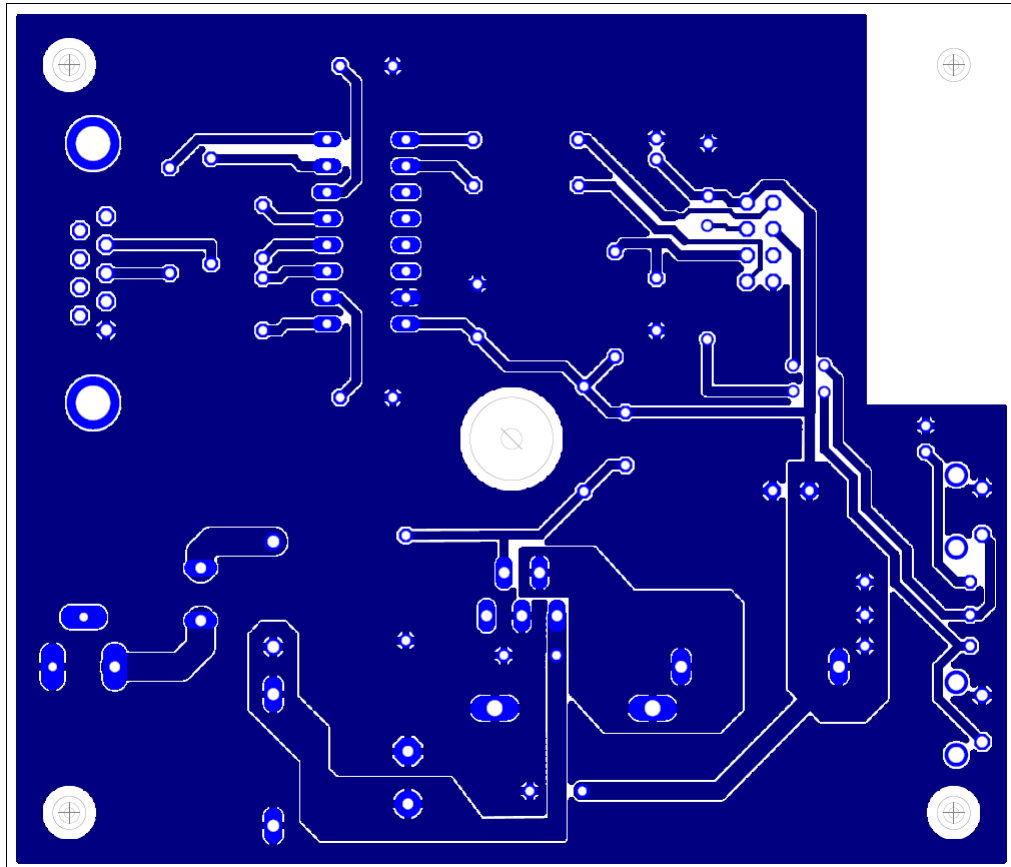
PŘÍLOHA P I. SCHÉMA ZAPOJENÍ



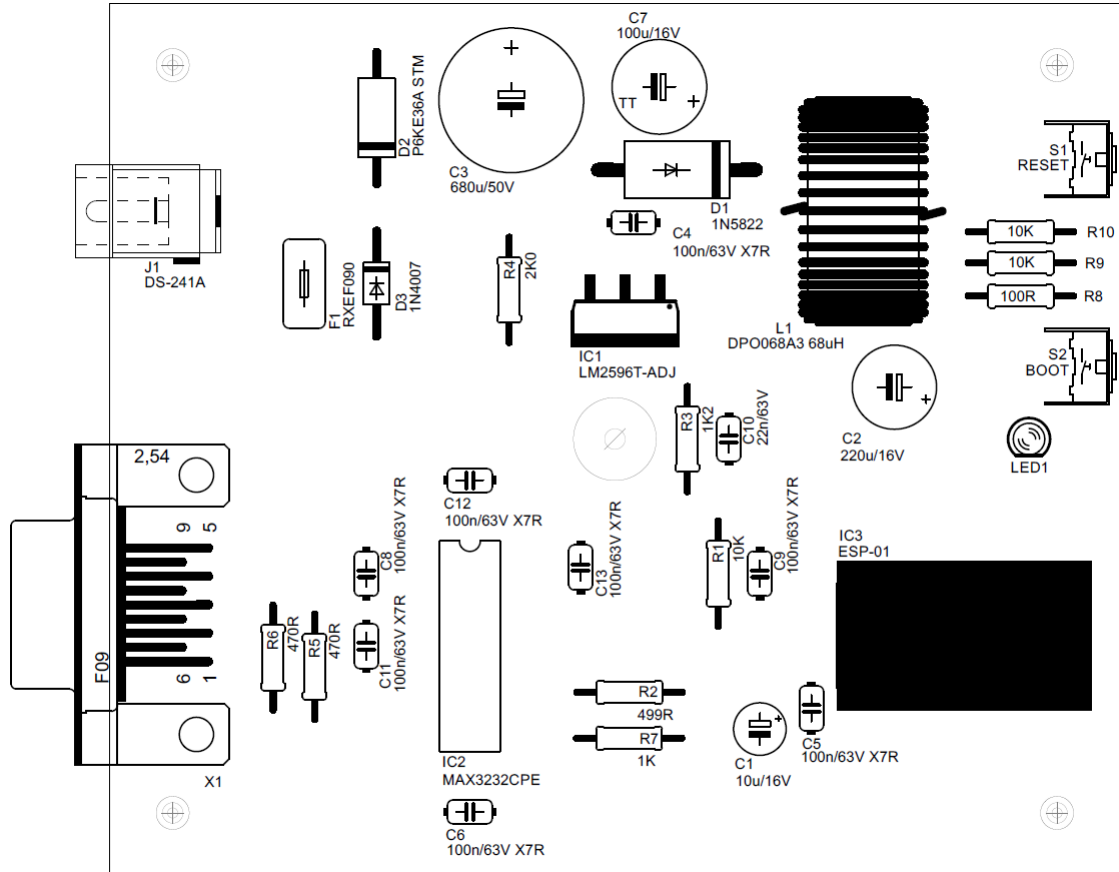
TITLE: ESP_edu_kit_v1.1
Document Number:
Date: 11.05.2019 13:16:21
Sheet: 1/1

REV:

PŘÍLOHA P II. VZOR PLOŠNÉHO SPOJE



PŘÍLOHA P III. VÝKRES OSAZENÍ



PŘÍLOHA P IV. ROZPISKA SOUČÁSTEK

Součástka	Hodnota	Pouzdro
C1	10u/16V	E2-5
C2	220u/16V	E3,5-8
C3	680u/50V	E5-13
C4	100n/63V X7R	C050-024X044
C5	100n/63V X7R	C050-024X044
C6	100n/63V X7R	C050-024X044
C7	100u/16V	TT5D9
C8	100n/63V X7R	C050-024X044
C9	100n/63V X7R	C050-024X044
C10	22n/63V	C050-024X044
C11	100n/63V X7R	C050-024X044
C12	100n/63V X7R	C050-024X044
C13	100n/63V X7R	C050-024X044
D1	1N5822	DO201-15
D2	P6KE36A STM	DO15-12
D3	1N4007	DO41-10
F1	RXEF090	TE5
IC1	LM2596T-ADJ	T05D
IC2	MAX3232CPE	DIL16
IC3	ESP-01	2X04
J1	DS-241A	SPC4077
L1	DPO068A3 68uH	SFT1040
LED1	Zelená	LED3MM
R1	10K	0207/10
R2	499R	0207/10
R3	1K2	0207/10
R4	2K0	0207/10
R5	470R	0207/10
R6	470R	0207/10
R7	1K	0207/10
R8	100R	0207/10
R9	10K	0207/10
R10	10K	0207/10
S1	B3F-31	B3F-31XX
S2	B3F-31	B3F-31XX
X1	F09HP	F09HP

PŘÍLOHA P V. OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Adresáře:

ZdrojovéData Aplikace

ZdrojovéData KomunikačníRozhraní

ZdrojovéData TextPráce

ZdrojovéData VyukPrezentace

Soubory:

Výuková prezentace.pdf

Bakalářská práce.pdf