

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ELEKTRONICKÁ VIZITKA/CENOVKA S BEZDRÁTOVOU KOMUNIKACÍ

ELECTRONIC BUSINESS CARD/PRICE TAG WITH WIRELESS COMMUNICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Sirůček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Václav Sirůček

ID: 214949

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Elektronická vizitka/cenovka s bezdrátovou komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci přenosného zobrazovacího zařízení s dlouhodobou výdrží na baterie pro vzdálené zobrazování dat na displeji s elektronickým inkoustem. Orientujte se na bezdrátově komunikující mikrokontrolerový systém.

1. Proveďte literární rešerši a internetový průzkum.
2. Navrhněte a zdůvodněte koncepci systému, definujte zvolené komponenty, navrhněte obvodové schéma.
3. Navrhněte a realizujte funkční vzorek zařízení.
4. Vytvořte programové vybavení pro nadřazený systém i pro vlastní zařízení.
5. Demonstrujte a ověřte plnou funkčnost zařízení a zhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem elektronické vizitky, přenosného zobrazovacího zařízení, na které se budou zobrazovat údaje o nositeli (jméno, příjmení, telefonní číslo a e-mail). Nároky jsou kladeny na dlouhodobou výdrž baterie a vzdálené zobrazování dat na displeji s elektronickým inkoustem. V práci se nachází řešení napájení přípravku s displejem a jeho bezdrátová komunikace s počítačem či telefonem. Dále řeší zobrazení stavu baterie, aktualizace displeje, obvodové schéma, návrh pouzdra elektronické vizitky a konečná realizace.

Klíčová slova

Elektronická vizitka, ESP32, displej s elektronickým inkoustem, bezdrátová komunikace, baterie, aktualizace displeje, webservice

Abstract

The Bachelor thesis deals with the design of an electronic business card, a portable imaging device that will display data about the wearer (name, surname, phone number and email). Claims are for long-term battery life and remote display of data on an electronic ink display. At work there is a solution for powering the product with a display and its wireless communication with the computer or phone. It also deals with battery status displays, display updates, circuit schematics, electronic business card case design and final realization.

Keywords

electronic business card, ESP32, electronic ink display, wireless communication, battery, display update, webservice

Bibliografická citace

SIRŮČEK, Václav. *Elektronická vizitka/cenovka s bezdrátovou komunikací*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134822>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021. 41 s., 1 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Václav Sirůček*

VUT ID studenta: *214949*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2020/2021*

Téma závěrečné práce: *Elektronická vizitka/cenovka
s bezdrátovou komunikací*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Bradáčovi, Ph.D. za trpělivost a účinnou pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině, přítelkyni, kolegům a přátelům za značnou podporu a pochopení.

V Brně dne: 24. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1. BLOKOVÉ SCHÉMA ELEKTRONICKÉ VIZITKY	12
2. PŘÍPRAVEK S MIKROPROCESOREM ESP32.....	13
2.1 LILYGO® TTGO V2.3	13
2.2 ESP32.....	13
2.2.1 Důležité parametry.....	14
2.2.2 Správa napájení	14
2.3 ELEKTRONICKÝ INKOSTOVÝ DISPLEJ	15
2.3.1 Princip funkce	16
2.4 PINY PŘÍPRAVKU	16
2.5 DŮLEŽITÉ PARAMETRY PŘÍPRAVKU.....	17
3. KOMUNIKACE PŘÍPRAVKU	18
3.1 SPI.....	18
3.2 Wi-Fi.....	18
3.2.1 Wi-Fi Webserver.....	19
3.2.2 HTML.....	19
3.2.3 CSS.....	19
3.2.4 JavaScript	19
4. POTŘEBNÉ PROGRAMY	20
4.1 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ ARDUINO IDE.....	20
4.1.1 Knihovna GxEPD.h.....	20
4.1.2 Knihovna Adafruit GFX.h.....	20
4.1.3 Knihovna ESPmDNS.h.....	21
4.1.4 Knihovna AnalogWrite.h.....	21
4.1.5 Knihovna SPIFFS.h	21
4.1.6 Knihovna WiFi.h.....	21
4.1.7 Knihovna ESPAsyncWebServer.h	21
4.1.8 Knihovna AsyncTCP.h	21
4.2 PROFICAD	21
4.3 SOLIDWORKS.....	21
5. NÁVRH ELEKTRONICKÉ VIZITKY	22
5.1 NÁVRH ELEKTRONICKÉHO SCHÉMA	22
5.2 NÁVRH PROGRAMU	22
5.3 NÁVRH WEBOVÉHO ROZHRAŇÍ.....	23
5.4 NÁVRH NAPÁJENÍ	24
5.4.1 Baterie CR2032.....	24
5.4.2 Baterie LiPol.....	24
5.4.3 Baterie Li-Ion.....	24

5.5	NÁVRH POUZDRA	24
5.5.1	<i>Rozměry přípravku</i>	25
6.	REALIZACE VÝROBKU	26
6.1	ELEKTRONICKÁ VIZITKA	26
6.2	KOMPONENTY	26
6.2.1	<i>Rezistory</i>	27
6.2.2	<i>RGB LED</i>	27
6.2.3	<i>Tlačítko</i>	27
6.2.4	<i>Baterie</i>	28
6.3	POUZDRO	28
6.3.1	<i>Spodní část pouzdra</i>	29
6.3.2	<i>Vrchní část pouzdra</i>	30
6.4	SPOTŘEBA	30
6.5	PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	31
6.5.1	<i>Struktura programu</i>	31
6.5.2	<i>Deep sleep</i>	31
6.5.3	<i>Sepnutí tlačítka pro probuzení</i>	32
6.5.4	<i>Inicializace</i>	32
6.5.5	<i>Nečinný stav</i>	32
6.5.6	<i>Vykreslení údajů na displej</i>	33
6.5.7	<i>Další použité funkce</i>	34
6.5.8	<i>Webové rozhraní</i>	34
6.6	CENA VÝSLEDNÉHO VÝROBKU	36
7.	ZÁVĚR.....	37
	LITERATURA.....	38
	SEZNAM PŘÍLOH.....	41

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Návrh blokového schéma cenovky	12
Obrázek 2 Ukázka vzhledu přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 Inch[2]	13
Obrázek 3 Blokové schéma struktury mikroprocesoru ESP32[3].....	14
Obrázek 4 Princip funkce Elektronické inkoustové kapsle [6]	16
Obrázek 5 Piny přípravku LILYGO TTGO V2.30 2.13 Inch	17
Obrázek 6 Blokové schéma komunikace přípravku s uživatelem.....	18
Obrázek 7 Elektronické schéma vizitky.....	22
Obrázek 8 Návrh webového rozhraní vizitky	23
Obrázek 9 Okótované rozměry přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 Inch[26]	25
Obrázek 10 Elektronická vizitka v pouzdru.....	26
Obrázek 11 Elektronická vizitka bez krytu.....	27
Obrázek 12 Baterie LiPol 1500 mA 3,7 V	28
Obrázek 13 Spodní část pouzdra v Solidworks a po vytisknutí na 3D tiskárně.....	29
Obrázek 14 Vrchní část pouzdra v SolidWorks a po vytisknutí na 3D tiskárně	30
Obrázek 15 Blokové schéma struktury programu.....	31
Obrázek 16 Vzhled vizitky při hlášení skoro vybité baterie	32
Obrázek 17 Elektronická vizitka v nečinném stavu	33
Obrázek 18 Elektronická vizitka ve stavu přepisu dat na displeji.....	34
Obrázek 19 Ukázka hlavní stránky webového rozhraní.....	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Důležité parametry mikroprocesoru ESP32	14
Tabulka 2 Specifikace přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 dané výrobcem	17
Tabulka 3 Použité komponenty a jejich ceny	36

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je navrhnout elektronickou vizitku, která bude zobrazovat bezdrátově uživatelem zadaná data na displeji s elektronickým inkoustem. Tyto data bude uživatel nahrávat skrze webové prostředí, jehož návrh je v této práci taktéž řešen. Nutností správné funkce komunikace bude připojení vizitky i uživatele na stejné internetové síti. Cenovka bude komunikovat skrze Wi-Fi připojení k internetu a bude napájena z bateriového článku s dostatečnou kapacitou pro vysokou výdrž a minimální nutnost výměny. Pro co největší úspory na energii navrhuji, aby přípravek s cenovkou pracoval pouze v případě nutnosti přepsání dat na displeji, či aktualizaci stávajících hodnot vizitky. Aktualizace displeje vizitky bude skrze tlačítko, které se bude nacházet na pouzdře vizitky.

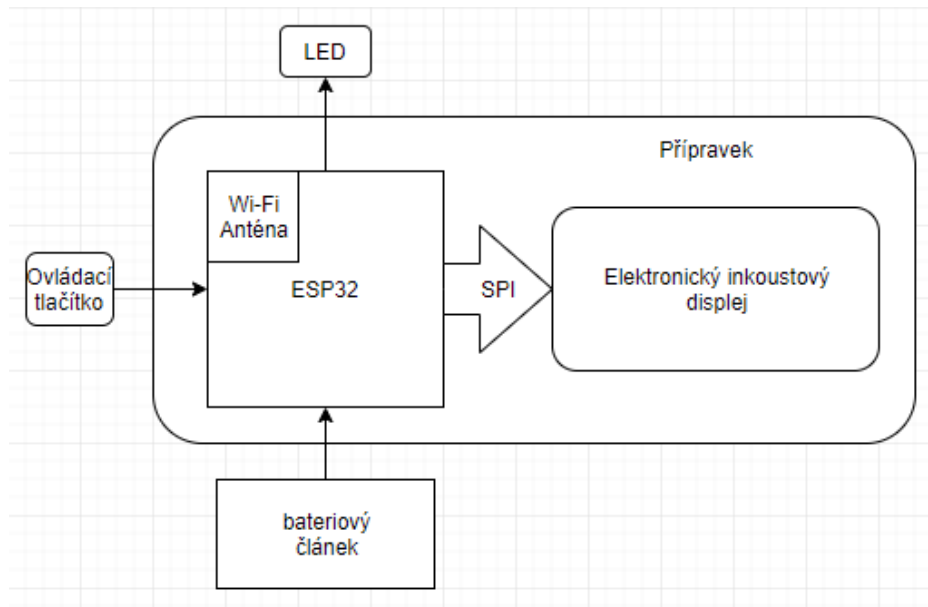
Práce se dělí na dvě části. V první části se nachází rozbor všech použitých součástek a jejich stručný popis a odůvodnění proč jsem je použil pro návrh vizitky. Dále se zde nachází programovací prostředí, které použiji a všechny knihovny, které k návrhu vizitky budu potřebovat.

Druhá část práce obsahuje teoretický návrh schéma pro navržení konstrukce vizitky se všemi komponenty, které budou potřeba k realizaci. Nachází se zde i návrh pouzdra pro vizitku, pro ochranu komponent a celkové zlepšení vzhledu celé vizitky. Dále se zde nachází i způsob realizace a důležité části programového kódu, které zajišťují správný chod celého systému vizitky.

V závěru této práce se nachází zhodnocení konstrukce a pojednání o funkčnosti a možných vylepšení.

1. BLOKOVÉ SCHÉMA ELEKTRONICKÉ VIZITKY

Na blokovém schéma níže (Obrázek 1) se nachází návrh elektronické vizitky. Uživatel komunikuje přes PC či mobil pomocí internetové sítě s webserverem, kde zadá požadovaná data, která chce, aby se zobrazili na displeji vizitky. Po zpracování dat webserverem se tyto data odešlou do mikroprocesoru, ten tyto data přijme a zobrazí je na displeji vizitky.



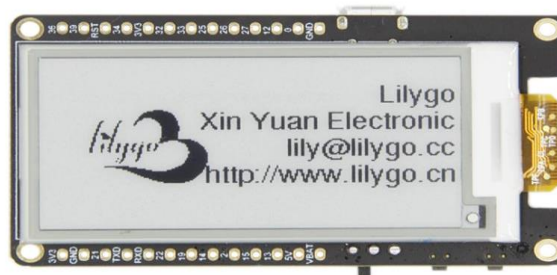
Obrázek 1 Návrh blokového schéma cenovky

2. PŘÍPRAVEK S MIKROPROCESOREM ESP32

Pro návrh elektronické vizitky byl zvolen přípravek s mikroprocesorem ESP32 s již zabudovaným displejem s elektronickým inkoustem. Tento přípravek má v sobě zabudovanou Wi-Fi anténu, tudíž není potřeba připojovat k mikrokontroleru modul s Wi-Fi anténou či jiné doplňující moduly.

2.1 LILYGO® TTGO V2.3

V této práci je použit přípravek od značky LILYGO® TTGO V2.3 se zabudovaným elektronickým inkoustovým displejem o velikosti 2,13 palců (=5,41 cm). Výhoda udávána výrobcem tohoto přípravku je ta, že má velmi nízkou elektrickou spotřebu a zobrazená data vydrží na displeji i po odpojení od napájení.[1]



Obrázek 2 Ukázka vzhledu přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 Inch[2]

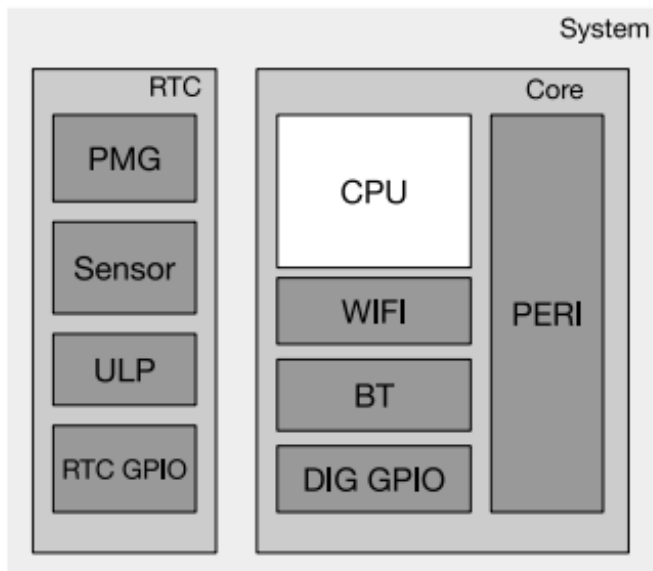
2.2 ESP32

Nedílnou součástí tohoto přípravku je mikroprocesorový čip ESP32 od firmy Espressif. Výrobce tohoto čipu zaručuje velmi nízkou spotřebu. ESP32 je konstruován pro použití v mobilních telefonech, elektronických hodinkách a v různé nositelné elektronice. Uplatnění nalezne i v domácích projektech jako je měření vlhkosti, teploty apod.

Čip je vyráběn technologií 40nm a má v sobě zabudovanou 2,4 GHz Wifi a Bluetooth vysílač/přijímač, z čehož vyplývá, že je možné tento mikroprocesor obsluhovat skrze bezdrátové sítě, a tudíž nabízí možnost napájet jej skrze bateriové články. Dále obsahuje dvou jádrový mikroprocesor Tensilica Xtensa 32-bit LX6, 512 KB SRAM, 448 KB ROM

a externí 16 MB FLASH paměť. Na čipu se nachází 36 GPIO a z nich některé zvládají funkce jako PWM/I2C a SPI.

Tyto mikroprocesory disponují různými módy, které zdatelně mění spotřebu tohoto čipu.[3]



Obrázek 3 Blokové schéma struktury mikroprocesoru ESP32[3]

2.2.1 Důležité parametry

V tabulce níže (Tabulka 1) se nacházejí důležité hodnoty ESP32 pro konstrukci výrobku.

	Min.	Max.
Pracovní napětí:	3 V	3,6 V
Proud skrze externí zdroj:	0,5 A	-
Operační teplota:	-40 °C	125 °C
Proud skrze vstupy/výstupy:	-	12 mA

Tabulka 1 Důležité parametry mikroprocesoru ESP32

2.2.2 Správa napájení

Díky pokročilé správě napájení ESP32 nabízí 5 konfigurací pro režimy napájení:

- **Active Mode** – taktéž zvaný jako normální mód, kdy jsou všechny funkce zapnuté (WiFi, Bluetooth atd.) a čip tak odebírá více než 240 mA k správné funkčnosti.
- **Modem Sleep Mode** – V tomto režimu je aktivní vše, kromě WiFi, Bluetooth a rádia. Odběr proudu zde činí kolem 3 mA při nízké rychlosti a při vysoké rychlosti 20 mA.

- **Light Sleep Mode** – Tento mód je obdobou Modem Sleep módu. Rozdíl je zde v tom, že digitální periferie, velká část RAM a CPU jsou clock-gated, to znamená, že se vypínají části obvodů vypínáním hodinových pulsů, a tudíž v nich nemusí flip-flop obvody přepínat své stavy a tím se sníží spotřeba energie na nulu. Spotřeba činní okolo 0.8 mA
- **Deep sleep Mode** – Deep sleep mode je mód, který šetří spotřebovanou elektrickou energii ESP32, do kterého může mikrokontroler přejít, když není využíván. Tento stav ESP32 je udržován v RAM. Když ESP32 vstoupí do tohoto režimu, přerušuje se napájení pro všechny nepotřebné digitální periferie a RAM dostává jen tolik energie, aby mohla uchovat svoje data. Spotřeba v tomto režimu je okolo 0,15 mA až 10 μ A.
- **Hibernation Mode** – Na rozdíl od sleep módu, v hibernation módu čip přerušuje 8MHz oscilátor a ULP-coprocessor. Obnovovací paměť je také vypnuta, což znamená, že zde není způsob, jak zachovat data během hibernation módu. Jediné, co při tomto módu není vypnuté, je RTC časovač a RTC GPIO. Tyto dva prvky jsou zodpovědní za opětovné probuzení čipu z hibernation módu. Odběr elektrické energie je kolem 2,5 μ A. [4]

2.3 Elektronický inkoustový displej

Elektronický inkoustový displej (e-ink, e-paper apod.) je technologie podobná běžnému psaní inkoustem na papír. Rozdíl od LCD displeje je v tom, že elektronický inkoustový displej reflektuje světlo stejně jako papír, na rozdíl od LCD displeje, který světlo emituje.

Mezi hlavními benefity elektronického inkoustového displeje tedy patří přirozenější čtení z displeje, které lze připodobnit čtení například z knížky a velmi nízká spotřeba elektrické energie. Z displeje lze odčítat i na jasném slunečném světle, takže je vhodný pro použití jak v domácnosti, tak i venku.

Díky těmto vlastnostem lze tento druh displeje napájet skrze baterie či solární energie a dají se použít v přenosných zařízeních s bezkontaktní komunikací jako jsou různé čtečky apod. [5]

2.3.1 Princip funkce

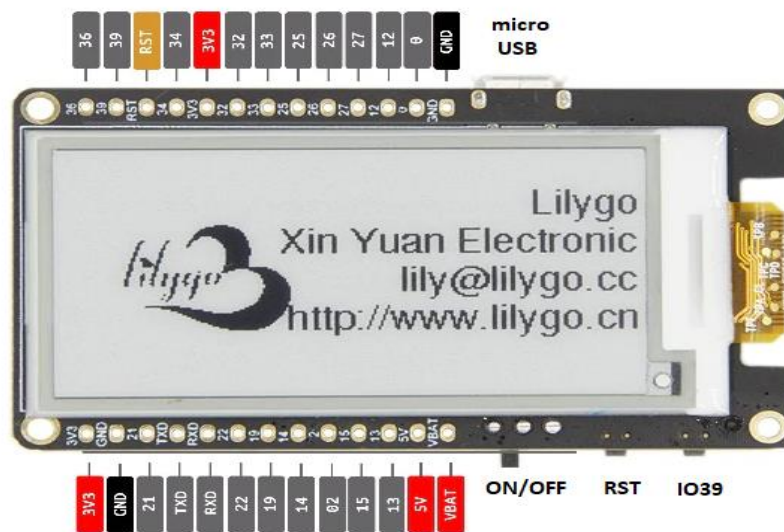
Elektronické inkoustové displeje jsou elektroforetické. Elektroforéza je věda, která se zabývá pohybem částic ovlivněných elektrickým polem. Tyto displeje jsou vyrobeny z malých kapslí, které mají průměr 0,04 mm a obsahují dva i více různých druhů částic, v tomto případě například dvě, a to černou a bílou. Pomocí elektřiny lze vybrat, který druh částic, černé nebo bílé, vystoupají do vrchní části této kapsle a tímto způsobem změni barvu pixelu na displeji. Tyto částice zůstanou na svém místě i po odpojení od elektrické energie, tudíž displej udrží svůj obsah, i když není napájen. Popis funkce lze lépe vidět na obrázku níže (Obrázek 4). [6]



Obrázek 4 Princip funkce Elektronické inkoustové kapsle [6]

2.4 Piny přípravku

Na obrázku níže (Obrázek 5 Piny přípravku LILYGO TTGO V2.30 2.13 Inch) se nachází rozložení pinů přípravku LILYGO® TTGO V2.30. Z obrázku lze poznat, že nejsou všechny piny přímo vyvedeny k externímu připojení. Displej komunikuje s procesorem skrze SPI, a tudíž jsou použité piny integrovány přímo k tomuto displeji.



Obrázek 5 Piny přípravku LILYGO TTGO V2.30 2.13 Inch

2.5 Důležité parametry přípravku

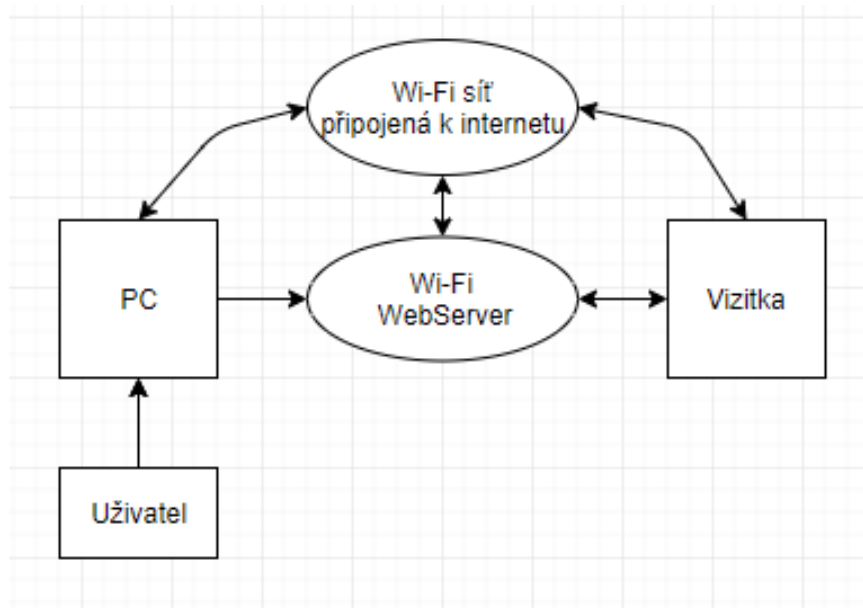
V tabulce (Tabulka 2) se nacházejí podstatné parametry, které udává výrobce na svých webových stránkách.

Pracovní napětí:	3,3 V
Barva displeje:	Black, white
Celkové obnovení displeje:	2 s
Částečné obnovení displeje	0,3 s
Spotřeba při obnovení:	26,4 mW
Čip ovladače:	GDEH0213B72
Rozlišení displeje:	250x122

Tabulka 2 Specifikace přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 dané výrobcem

3. KOMUNIKACE PŘÍPRAVKU

Přípravek má možnost připojení k internetové síti za pomoci Wi-Fi antény, která se nachází ze zadní strany desky s displejem. Za pomoci programátoru a příslušných knihoven k tomuto modulu je možno přenášet data po síti, přímo do přípravku a následně navrženým programem, tyto data, zapisovat na displej. Blokové schéma plánu této komunikace je načrtnuto na obrázku níže (Obrázek 6).



Obrázek 6 Blokové schéma komunikace přípravku s uživatelem

3.1 SPI

SPI je sériové periferní rozhraní, které se používá pro komunikaci mezi mikrokontrolery a jinými integrovanými obvody (např. displeje, A/D převodníky atd.). Komunikace se realizuje za pomoci společné sběrnice. Spojené zařízení se dělí na řídicí a jím podřízené zařízení. Řídicí zařízení řídí komunikaci za pomoci hodinového signálu a určuje s jakým zařízením bude komunikovat. Podřízené zařízení reaguje na hodinový signál a podle aktivace příslušných pinů se aktivuje. [7]

3.2 Wi-Fi

Jedná se o bezdrátové připojení do internetové sítě. Wi-Fi zařízení se používá prakticky u každého přenosného zařízení (Přenosné počítače, telefony, hodinky atd.). Zajišťuje komunikaci na spojové vrstvě, zbytek práce pak zajišťují vyšší protokoly. [8]

3.2.1 Wi-Fi Webserver

Jedná se o software, který přijímá požadavky skrze http, síťový protokol vytvořený pro distribuci webových stránek, anebo skrze https, což je chráněná verze http. Mikrokontroler, který musí být připojený k Wi-Fi, dokáže vytvořit Wi-Fi Webserver, ke kterému se dále mohou připojit další zařízení a používat jeho rozhraní. Pro správnou funkčnost musí být uživatel i Wi-Fi Webserver připojeni na stejné Wi-Fi síti, která je připojena k internetu.

3.2.2 HTML

Jedná se o značkovací jazyk, který je používán pro vytvoření webových stránek, které jsou propojeny hypertextovými odkazy. Jedná se o přední jazyk pro vytváření stránek v systému WWW, který zajišťuje publikaci stránek na internetu. Jazyk HTML je nástavbou značkovacího jazyka SGML a jeho vývoj je ovlivněn vývojem webových prohlížečů. [10]

3.2.3 CSS

Kaskádové styly se používají k formátování webu. Určují, jak mají být jednotlivé prvky značkovacího jazyka HTML zobrazovány na obrazovce. Dále šetří spoustu práce, mohou být použity pro více stránek najednou. Používají se buď interně, myšleno přímo v kódu HTML anebo externě uloženy v souboru s příponou „.css“.[11]

3.2.4 JavaScript

Jedná se o objektově orientovaný skriptovací jazyk, který je řízen událostmi. Syntaxí patří do skupení C, C++ a Javy, avšak je od těchto zmiňovaných jazyků principiálně odlišný. Je používán jako doplněk pro jazyky HTML a Java.

U webových stránek je často přímo vkládaný do kódu stránky psané v HTML. Uživatel interpretaci provádí za použití webového prohlížeče. V rozhraní slouží k ovládní různých grafických prvků (tlačítka, textové pole atd.) nebo k tvorbě animací či efektů. [12]

4. POTŘEBNÉ PROGRAMY

V této kapitole se nacházejí všechny použité programy pro realizaci této bakalářské práce.

4.1 Vývojové prostředí Arduino IDE

Arduino IDE je open-source (otevřený, veřejně dostupný) software, který obsahuje textový editor pro psaní kódu, zprávy o dění v kódu, textovou konzoli a panel nástrojů s tlačítky pro běžné funkce. Slouží převážně pro programování hardwaru od společnosti Arduino a ke komunikaci s nimi. [13]

Při vhodném nastavení tohoto vývojového prostředí je schopné používat k programování i jiných hardwarů, a to například přípravky s procesorem ESP32.

4.1.1 Knihovna GxEPD.h

Jedná se o knihovnu, která je jednou z nejdůležitějších pro tuto práci. Zajišťuje nám jednoduchou práci při zapisování a přepisování dat na elektronickém inkoustovém displeji. Podporuje většinu elektronických inkoustových displejů na trhu.

GxGDEH0213B73/GxGDEH0213B73.h

Jedná se o dodatečnou knihovnu, ve které se nachází nastavení přímo pro displej T5_V2.3_1.13, který se nachází na přípravku používaného v této práci.

GxIO/GxIO_SPI/GxIO_SPL.h

Knihova, která zpřístupňuje komunikaci skrze SPI s elektronickým displejem přípravku. [14]

4.1.2 Knihovna Adafruit GFX.h

Je to základní grafická knihovna pro všechny podporované displeje, která zajišťuje vykreslování od teček, čár, kruhů až po celé obrázky. Dále obsahuje funkce jako:

- **Image2Code**: funkce která převede BMP soubor do kódu, uloženého v poli. Je důležitá pro zobrazení obrázku skrze drawBitmap funkci.
- **drawXBitmap**: umožňuje užití GIMP editoru fotek k uložení .xmb souboru a jeho použití k vykreslení bitmapy pomocí funkce drawXBitmap.
- **Fonty** (=druhy písma) [15]

Tato knihovna je rovněž základ pro knihovnu GxEPD.

4.1.3 Knihovna ESPmDNS.h

Knihovna, která povoluje místo psaní lokální IP adresy do prohlížeče, psaní vlastní doménové adresy s příponou „.local“. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

4.1.4 Knihovna AnalogWrite.h

Podpůrná knihovna, která zpřístupní funkci analogWrite(); přípravku s ESP32. [17]

4.1.5 Knihovna SPIFFS.h

Jedná se o knihovnu, která zajišťuje komunikaci mezi programem a interním uložištěm SPIFFS. SPIFFS je souborový systém, který se nachází u mikrokontrolerů ESP32/ESP2866. Tento souborový systém ukládá své údaje do interní FLASH paměti. Tato FLASH paměť je rozdělena do několika bloků a do každého bloku lze uložit údaje, bez možnosti ovlivnění bloků ostatních. [18]

4.1.6 Knihovna WiFi.h

Knihovna, která zajišťuje připojení WiFi modulu k internetové síti. Podporuje ochrany typu WEP a WPA2 osobní šifrování. [19]

4.1.7 Knihovna ESPAsyncWebServer.h

Knihovna, která zaštituje provoz Webserveru na mikrokontroleru ESP32. Používá asynchronní síť což znamená, že zvládá vícero připojení ve stejný čas. [20]

4.1.8 Knihovna AsyncTCP.h

Jedná se o plně asynchronní knihovnu TCP, která umožňuje funkčnost ESPAsyncWebServeru. Zaměřuje se na umožnění bezproblémového a více propojovacího síťového prostředí pro ESP32 mikrokontroler. [21]

4.2 ProfiCAD

ProfiCad je program pro vytvoření technické dokumentace pro elektro (silnoproud i slaboproud), ale dá se použít i pro hydraulické, pneumatické i další druhy. Jedná se o jednoduchý CAD, ve kterém je dána maximální péče pro ergonomii a snadnost ovládání.

4.3 SOLIDworks

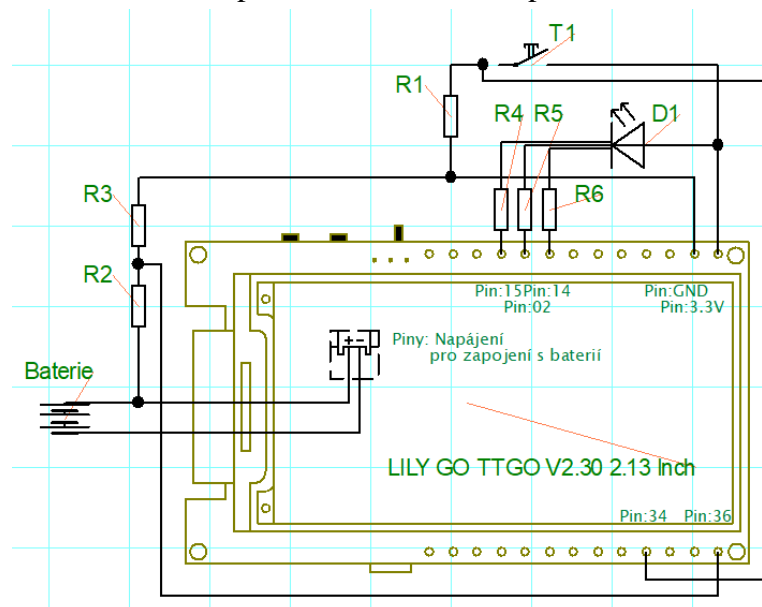
Je to strojírenský 3D CAD software, tedy parametrický 3D modelář nabízející výkonné objemové i plošné modelování, práci s neomezeně rozsáhlými sestavami, automatické generování výrobních výkresů apod. Jejich předností je snadné a přehledné ovládání. [22]

5. NÁVRH ELEKTRONICKÉ VIZITKY

V této kapitole se nachází návrh praktického řešení zadaného tématu této práce.

5.1 Návrh elektronického schéma

V elektronickém schéma níže (Obrázek 7) je možné vidět návrh zapojení elektronické vizitky. Baterie je přímo připojena na piny určené k napájení z externího zdroje. Je zde vyobrazen vývod z kladného pólu baterie, který vede skrze napěťový dělič na pin 36 za účelem zjišťování stavu baterie skrze programový kód. Dále zde je připojeno tlačítko T₁ na pin 34, které slouží k probuzení vizitky ze spánku. K tomuto pinu je připojen paralelně rezistor R₁ s hodnotou 100 kΩ, kvůli nestálosti pinů v době, kdy není na pin přiváděno žádné napětí. Na schéma se ještě nachází zapojení RGB diody D₁, která je anodou, připojena na pin 3,3 V a výstupy z katody jsou připojeny, skrze rezistory R₄, R₅ a R₆ na piny: 14 pro červenou LED, 15 pro zelenou LED a 02 pro modrou LED.



Obrázek 7 Elektronické schéma vizitky

5.2 Návrh programu

Přípravek LILY GO TTGO V2.30 2.13 Inch se po zapnutí, nebo při probuzení ze spánku, připojí k internetové síti a stáhne data z Webserveru, které tam zadá uživatel skrze PC a uloží je do své interní FLASH paměti. Tyto data z interní FLASH paměti načte do proměnných a vykreslí je na elektronickém inkoustovém displeji.

RGB LED bude mít funkci informačního prvku. Při aktualizaci displeje bude RGB LED svítit modře, při nečinném stavu bude svítit zeleně a při upozornění na nízký stav baterie bude svítit červeně.

Vstup na pinu 36 bude analogově číst hodnotu napětí z napěťového děliče (Obrázek 7) a pokud nastane pokles napětí na děliči na hodnotu, po které by další klesání napětí znemožnilo správnou funkci přípravku, rozsvítí se červená LED dioda, která značí vybití baterie a za 5 sekund se přípravek uspí.

Funkce deep sleep, kterou disponuje ESP32, bude vyvolána po určitém intervalu běhu programu anebo bude moc být vyvolána skrze webové rozhraní uživatelem, aby docházelo k co nejmenšímu vybíjení bateriového článku.

5.3 Návrh webového rozhraní

Webové rozhraní bude mít formát formuláře. Budou se zde nacházet textová pole, do kterých uživatel zadá informace, které bude chtít na displeji vizitky zobrazit (jméno, příjmení, E-mail a telefonní číslo). Dále se zde bude nacházet odpočet času, po kterém se přípravek automaticky přepne do režimu deep sleep módu. Pod formulářem se budou nacházet dvě tlačítka. První tlačítko po stisknutí odešle vyplněné údaje přímo do ESP32 a vykreslí je na displej. Druhé tlačítko umožňuje přípravek uspat dříve a po stisknutí se vyvolá okamžitě deep sleep mód. Návrh webového rozhraní lze vidět níže (Obrázek 8).

Webové rozhraní bude psáno v značkovacím jazyce HTML s prvky JavaScriptu.

Uživatelské rozhraní elektronické vizitky

Doba do vypnutí Webservru: x sekund

Jméno:

Příjmení:

Tel. číslo:

E-mail:

Obrázek 8 Návrh webového rozhraní vizitky

5.4 Návrh napájení

Díky tomu, že v této práci je používán elektronický inkoustový displej s procesorem ESP32, jsou nároky na napájení velmi nízké. Z tabulky (Tabulka 2) lze vyčíst, že spotřeba na obnovení displeje přípravku je 26,4 mW a pracovní napětí přípravku je 3,3 V. Z tohoto hlediska je tedy možné použít baterii malých rozměrů, díky této malé energetické náročnosti.

5.4.1 Baterie CR2032

Jedná se o „knoflíkovou“ lithiovou baterii, která vyniká svými malými rozměry. Kapacita této baterie je 230 mAh a její napětí na vývodech je 3 V. Je tvořena z nereznoucí oceli, tudíž je odolná vůči korozi. Používá se převážně v kalkulačkách, dálkových ovladačích, kamerách a v dalších přenosných zařízeních. [23]

5.4.2 Baterie LiPol

Jedná se o lithium polymer baterii. Tyto baterie vynikají svou tenkostí, lehkostí a svým výkonem. Výstup této baterie se pohybuje od 3,0 až 4,2 V při úplném nabití. Baterie mají různé rozměry a od těchto rozměrů se rozlišuje i jejich kapacita. Tuto baterii lze dobíjet. [24]

5.4.3 Baterie Li-Ion

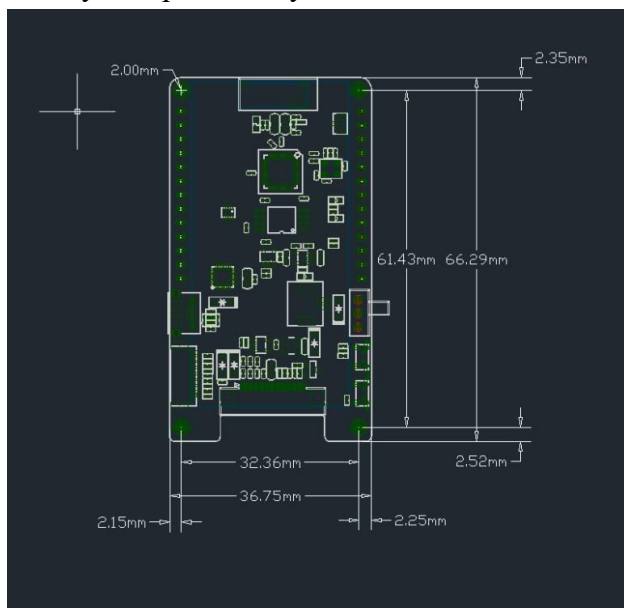
Jedná se lithium-iontovou baterii, kterou lze dobíjet a používá se ve spotřební elektronice. Díky své vysoké kapacitě je vhodná pro použití v přenosných zařízeních. Chemický princip je velmi podobný bateriím LiPol. Výstupní napětí těchto baterií je 3,6 V, případně 3,7 V. [25]

5.5 Návrh pouzdra

Jelikož se jedná o vizitku, tak by mělo být pouzdro co nejvíce kompaktní, jednoduché a působivé na pohled. Pouzdro je navrženo ze dvou částí, které do sebe budou pasovat. Ve spodní části pouzdra se budou nacházet distanční sloupky pro uchycení přípravku s elektronickým inkoustovým displejem. Vrchní částí bude kryt spodní části pouzdra a bude zakrývat vše až na elektronický inkoustový displej. Dále se ve vrchní části pouzdra bude nacházet otvor pro umístění RGB LED, ovládacího tlačítka a otvor pro microUSB.

5.5.1 Rozměry přípravku

Z technického výkresu výrobce (Obrázek 9) lze vypočítat, důležité okótované rozměry, které poslouží k výrobě pouzdra výrobku.



Obrázek 9 Okótované rozměry přípravku LILYGO® TTGO V2.30 2.13 Inch[26]

6. REALIZACE VÝROBKU

Tato část bakalářské práce se zabývá konkrétní realizací elektronické vizitky. Je zde uvedeno, které součástky byly použity pro konstrukci a nachází se zde i vlastní návrh a realizace zapouzdření elektronické vizitky a celkové zhotovení výrobku. Dále se zde nachází nastínění programového vybavení, vysvětlení funkce programu a ukázka webového rozhraní.

6.1 Elektronická vizitka

Na obrázku níže (Obrázek 10) se nachází zkompleťovaná elektronická vizitka s elektronickým inkoustovým displejem, napájenou skrze baterii a s bezdrátovou komunikací skrze Wi-Fi Webservice.



Obrázek 10 Elektronická vizitka v pouzdru

V dalších kapitolách jsou postupně rozebrány detaily výrobku.

6.2 Komponenty

V této podkapitole realizace přípravku se nachází rozpis jednotlivých komponent, které byly použity ke konstrukci výrobku. V následujících podkapitolách je odkazováno na návrh elektronického schéma (Obrázek 7), podle kterého se postupovalo při jejich hodnot.



Obrázek 11 Elektronická vizitka bez krytu

6.2.1 Rezistory

Rezistor R_1 byl zvolen $100\text{ k}\Omega$ z důvodu, který je zmíněn již v dřívější kapitole (5.1). Napěťový dělič (rezistory R_2 a R_3) byl zvolen tak, aby spotřeboval co nejméně elektrické energie a dělil napětí v rozumném poměru tak, aby čtená analogová hodnota na vstupu GPIO 36 byla v dostatečném rozsahu k zjištění stavu baterie. Hodnoty rezistorů jsou $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ a $R_3 = 100\text{ k}\Omega$. Napětí vycházející z napěťového děliče je rovno hodnotě poloviny napájecího napětí z baterie:

$$U_{výstup} = U_{BAT} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 3,7 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} = 1,85\text{ V}$$

, kde $U_{výstup}$ je výstup napěťového děliče,

U_{BAT} je vstupní napětí napěťového děliče,

R_2 a R_3 jsou rezistory napěťového děliče

Rezistory R_4 , R_5 a R_6 budou stejné a mají hodnotu $1,2\text{ k}\Omega$. Tyto rezistory slouží k regulaci jasu těchto jednotlivých RGB složek.

6.2.2 RGB LED

Ve výrobku je použita RGB LED od výrobce Optosupply. Tato LED je v zapojení se společnou anodou a slouží k signalizaci stavů, ve kterých zrovna výrobek setrvává.

6.2.3 Tlačítko

Jako probouzející tlačítko z deep sleep módu byl zvolen mikrospínač o velikostech $6 \times 6 \times 8$ mm. Výška tohoto mikrospínače byla zvolená vyšší, jelikož vede skrz pouzdro a menší

spínač by bylo obtížné sepnout.

6.2.4 Baterie

Byly navrhnuty 3 druhy různých baterií a to CR2032, LiPol a LiIon.

Knoflíková baterie CR2032 byla zamítnuta, i když ze dvou zbývajících splňovala požadavky na velikost, tak její napětí je příliš nízké a stejně tak i kapacita této baterie pro použití v této práci není dostačující.

Baterie LiIon odpovídá požadavkům na napětí i kapacitu, avšak nespĺňuje požadavky na co nejmenší velikost. Tudíž není pro tento výrobek vhodným kandidátem.

LiPol baterie byla zvolena díky svým rozměrům a tvaru, které jsou dostačující pro požadavky této práce. Pro dlouho dobu výdrž byla zvolena kapacita baterie 1500 mAh a její rozměry jsou 50x40x5 mm.

Přípravek je uspořádaný tak, že je možné skrze microUSB vstup baterii dobíjet.



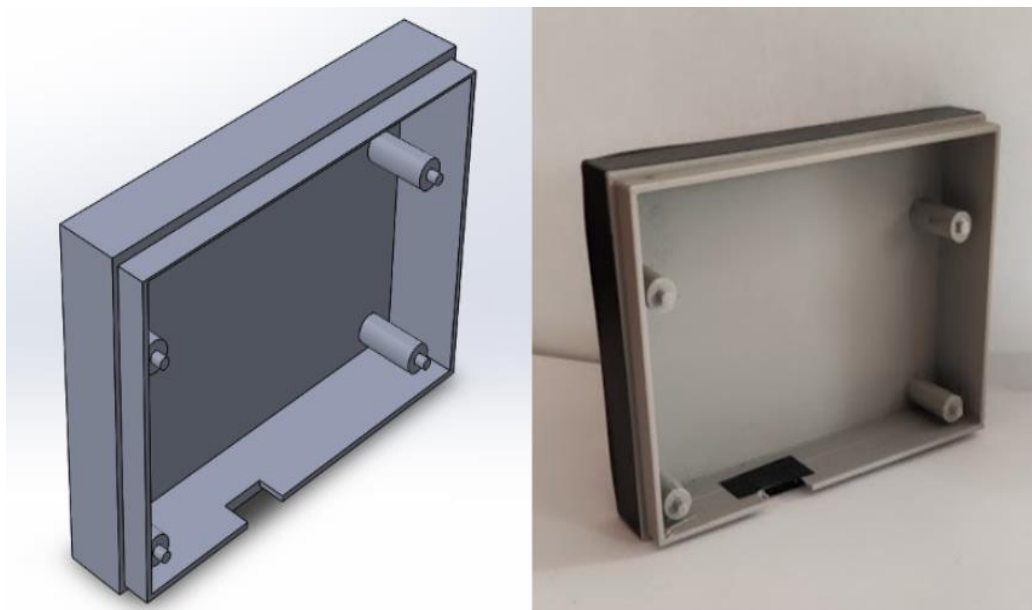
Obrázek 12 Baterie LiPol 1500 mA 3,7 V

6.3 Pouzdro

Na základě použitých komponent a jejich rozměrů je možné zkonstruovat návrh pouzdra a následnou realizaci jednotlivých částí krytů. Pouzdro je vytištěno skrze 3D tiskárnu, která má tisknoucí trysku 0,4 mm a tudíž jsou k ní zohledněny i rozměry jednotlivých částí pouzdra v programu Solidworks, kde jsou jednotlivé části modelovány a následně vyexportovány ve formátu s koncovkou „.stl“, přes který je možné části pouzdra vytisknout. Pro tisk pouzdra byl zvolen šedý filament PETG od prodejce Filament-PM.

6.3.1 Spodní část pouzdra

Na obrázku níže (Obrázek 13) se nachází pohled na návrh spodní části pouzdra modelovaný v programu Solidworks (vlevo) a výsledný vzhled spodní části pouzdra po vytisknutí na 3D tiskárně.



Obrázek 13 Spodní část pouzdra v Solidworks a po vytisknutí na 3D tiskárně

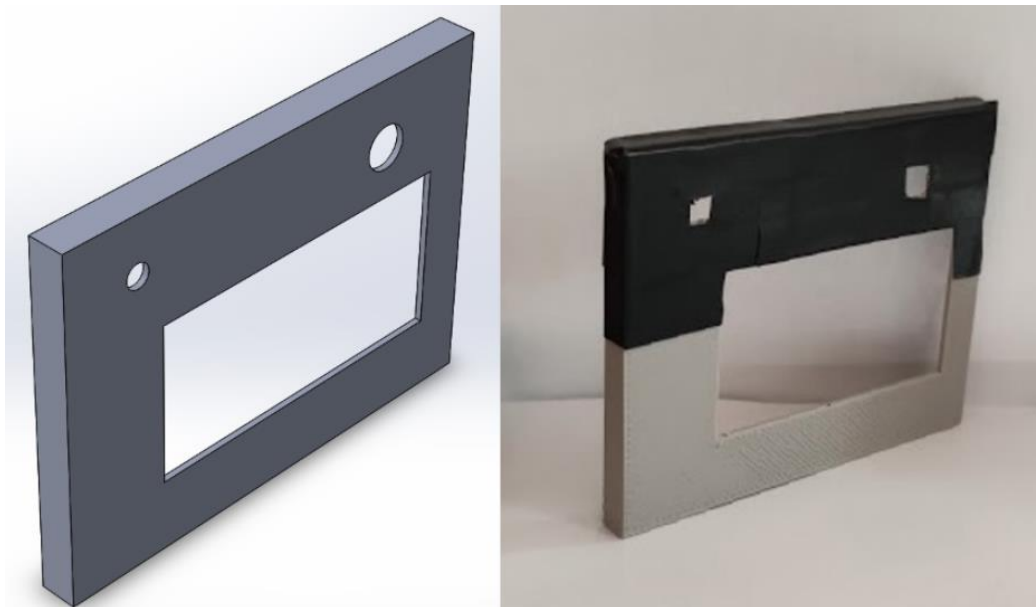
Zmiňované distanční sloupky (5.5) jsou od sebe vzdáleny, dle rozměrů technického výkresu od výrobce (Obrázek 9), tak aby přesně pasovali do úchytných otvorů přípravku. Tyto sloupky jsou postupně zužovaný pro potřebu směrem od dna pouzdra. První část sloupku má průměr 5 mm a je vysoká 12 mm, a to z důvodu, aby se udělal prostor pro bateriový článek, který má výšku 5 mm, a pro dodatečnou elektroniku k výrobku. Druhé zúžení má průměr 1,8 mm a výšku 2 mm a slouží k ukotvení přípravku.

Tloušťka stěn a dna je 2 mm. Stěna je od vrchu ze všech stran zúžena o 1 mm do hloubky 5 mm. Toto zúžení slouží pro vrchní část pouzdra, do kterého se spodní část vsune. Ve spodní stěně této části se dále nachází otvor pro vývod microUSB, který slouží k případnému softwarovému ladění výrobku.

Rozměry celé spodní části pouzdra je 74,8x54,8x15,8 mm.

6.3.2 Vrchní část pouzdra

Na obrázku níže (Obrázek 14) se nachází dva pohledy na návrh vrchní části v Solidworks a výsledný vzhled vrchní části pouzdra po vytištění na 3D tiskárně.



Obrázek 14 Vrchní část pouzdra v SolidWorks a po vytisknutí na 3D tiskárně

Vrchní část pouzdra má rozměry 74,8x54,8x4,8 mm a tloušťka je 1 mm. Nachází se tu otvor na displej, který má rozměry 50x25 mm a po vložení přípravku do pouzdra, je vidět pouze pracovní plocha displeje. Dále zde jsou dva otvory na RGB LED diodu o průměru 6,8 mm a otvor na tlačítko o průměru 3,8 mm. Ve spodní stěně se nachází otvor pro microUSB.

6.4 Spotřeba

Po změření odběru výsledného výrobku bylo zjištěno, že při režimu deep sleep výrobek odebírá proud přibližně 6 mA. Při průzkumu schéma přípravku LILYGO® TTGO V2.3 bylo objeveno, že i při režimu deep sleep, odebírá externí FLASH paměť určité množství proudu. Tomuto problému se zamezilo skrze připojení vstupu CS u FLASH paměti na pin 3,3V přípravku skrze 100k Ω a odběr klesl na 3 mA. Tento odběr už se nikterak nepodařilo snížit, a tudíž je brán jako konečný.

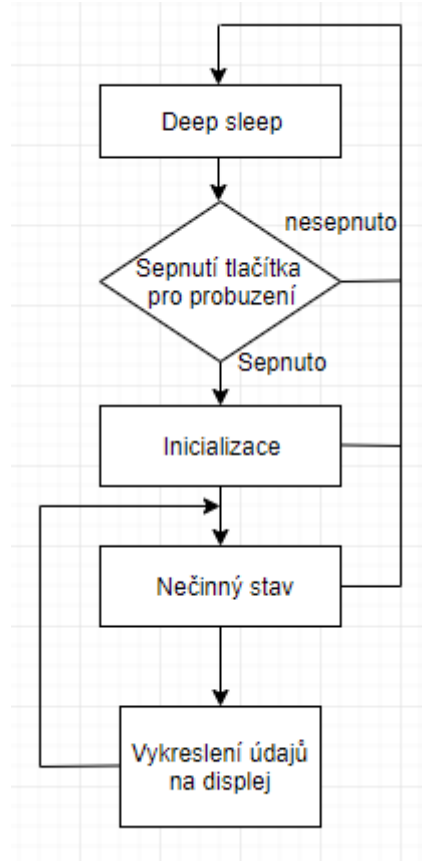
Spotřeba při nečinném stavu činí okolo 60 mA a při stavu, kdy se přípravek připojuje nebo stahuje informace z Webservere v největší zátěži dosahuje odběr skokově až 120 mA. Tyto hodnoty odpovídají těm, které udává výrobce.

6.5 Programové vybavení

V této podkapitole se nachází vlastní řešení programového vybavení. Toto vybavení se dále dělí do dvou podkapitol, a to vlastní programové vybavení přípravku a uživatelské rozhraní.

6.5.1 Struktura programu

Na obrázku níže (Obrázek 15) je možné vidět vlastní strukturu programu, která byla vytvořena pro správnou funkci výrobku.



Obrázek 15 Blokové schéma struktury programu

V podkapitolách níže se nachází rozvedení jednotlivých bloků a popis jejich funkcí

6.5.2 Deep sleep

Jedná se o výchozí stav programu, do kterého se program dostane třemi různými způsoby:

1. Dosažení napětí na baterii blízkého k její vybití (326.5.5).
2. Překročení časového limitu spuštění (6.5.5).
3. Vynucené ukončení uživatelem z webového rozhraní vizitky (6.5.5).

Přípravek je v tomto stavu uspán a spotřebovává minimální elektrickou energii z bateriového článku, která je závislá na přípravku a dodatečným připojeným hardwarem. RGB dioda nesvítí.

6.5.3 Sepnutí tlačítka pro probuzení

Tento blok vyznačuje signál z externího tlačítka. Při sepnutí tlačítka pro probuzení se na určeném vstupu přepne logický stupeň z „0“ na „1“. Program tuto změnu zaregistruje a dojde k spuštění stavu inicializace a celého programu.

Tento vstup musí být programově nastaven, aby mohl přijímat signál v režimu deep sleep.

6.5.4 Inicializace

Ve stavu inicializace se přiřadují jednotlivé vstupy/výstupy k jednotlivým používaným pinům, spustí se sériová komunikace, komunikace s displejem, komunikace se SPIFFS a vizitka se připojí k Wi-Fi. Na konci inicializace se spustí Webserver.

Jednotlivé funkce a komunikace přípravku s Webserverem jsou zde také vyjádřeny.

6.5.5 Nečinný stav

V tomto stavu se rozsvítí signálem z určeného výstupu zelená LED a kontrolují se podmínky, při jejichž splnění/nesplnění dojde k přepsání dat na displeji.

První podmínka se týká baterie. Z bateriového článku je vyvedeno napětí na napěťový dělič, ze kterého vede výstupní napětí na určený vstup přípravku, ze kterého je tato hodnota napětí analogově čtena. Zvolená hodnota pro určení stavu, kdy je baterie téměř vybita, odpovídá hodnotě 1594, což je 1,7 V. Tato hodnota odpovídá v daném poměru děliče 3,3 V na výstupu baterie. Když se čtená hodnota z toho analogového vstupu dostane pod 1594, program rozsvítí červenou LED a uspí se za 5 sekund přechodem do režimu deep sleep.



Obrázek 16 Vzhled vizitky při hlášení téměř vybité baterie

Druhá podmínka se týká doby spuštění programu. Pro omezení spotřeby elektrické energie je Skrze funkci `uptime` sledován čas od spuštění programu a po 5-ti minutách automaticky uspán do režimu deep sleep.

Třetí podmínka rozhoduje o tom, kdy mají být přepsány údaje na displeji. Displej má podporu částečného přepsání, tudíž podmínka kontroluje mezi uloženými údaji a nově nahrانými. Pokud se jedna z hodnot liší vyvolá se funkce pro přepsání dat na displeji. Po jejím skončení se nové údaje uloží do údajů starých.



Obrázek 17 Elektronická vizitka v nečinném stavu

6.5.6 Vykreslení údajů na displej

Funkce pro vykreslení údajů na displeji je v programu pod názvem `update_to_display`. Při vnoření se do této funkce se rozsvítí signálem z určeného výstupu modrá LED. Na displej se vykreslují 4 údaje a to: Jméno, Příjmení, telefonní číslo a e-mail). Tyto údaje lze vykreslovat na displej samostatně, tudíž u každého údaje je vložena podmínka pro vykreslení. Tato podmínka kontroluje, jestli daný údaj se změnil od předchozího vykresleného. Pokud se tak stane, tak se načte obsah uloženého souboru změněného údaje pomocí funkce `readFile` a uloží se do proměnné. Pak se část displeje pro změněný údaj překreslí a vypíše se zde obsah dané proměnné. Jestliže změna u určitého údaje nenastane, daná část displeje zůstane nepozměněna.



Obrázek 18 Elektronická vizitka ve stavu přepisu dat na displeji

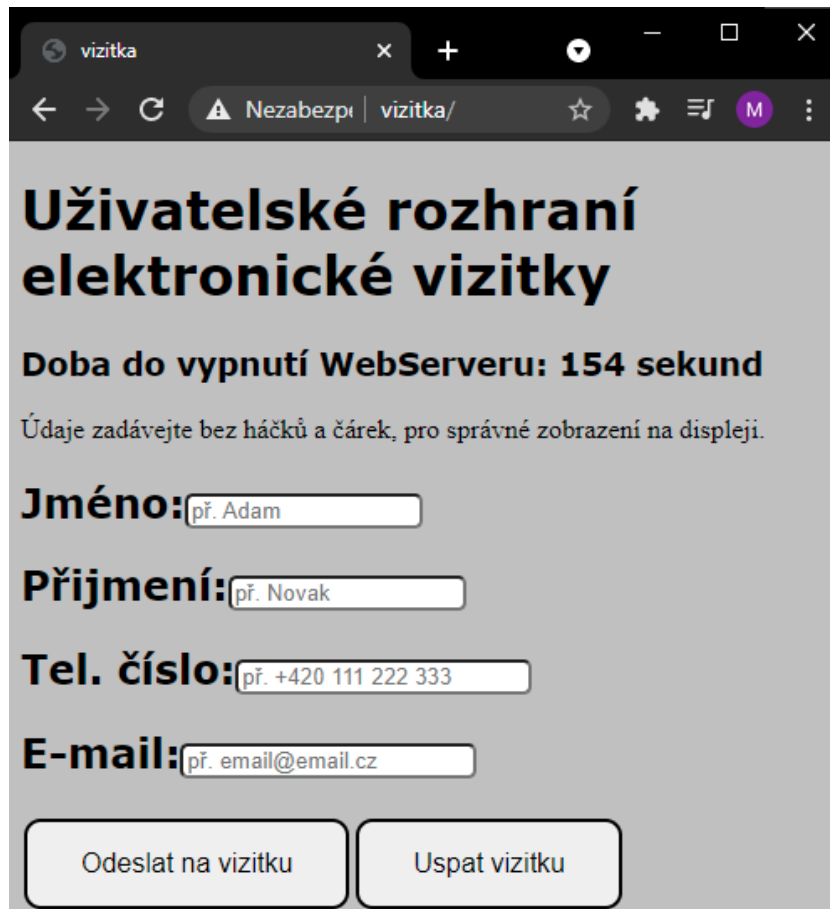
6.5.7 Další použité funkce

Zde jsou přiblíženy další funkce, které jsou použity, ale nejsou zmíněny v předchozích kapitolách:

- **writeFile** – Tato funkce má 3 vstupní parametry. První parametr je použitý souborový systém, v tomto případě SPIFFS, druhý vstupní parametr je cesta k uložení souboru a třetí parametr je samotná zpráva, která má být vepsána do souboru. Funkce writeFile slouží k obsluze souborového systému SPIFFS a vytvoří námi zvolený soubor a vepíše do něj námi požadované informace.
- **readFile** – Tato funkce má 2 vstupní parametry, a to použitý souborový systém, SPIFFS, a cestu k uloženému souboru. Funkce readFile slouží ke čtení souboru ze souborového systému SPIFFS a vrátí hodnotu, která je uložena v souboru, který byl zapsán funkcí writeFile
- **RGB_color** – Tato funkce má 3 vstupní parametry, a to pro červenou, zelenou a modrou složku barev. Funkce RGB_color analogově vypíše hodnotu na výstup a tím otevře průchod žádané barvě, či barevné kombinaci.

6.5.8 Webové rozhraní

Webové rozhraní je nedílnou součástí této práce, protože umožňuje komunikaci mezi uživatelem a výrobkem. Tuto komunikaci zprostředkovává Webserver, který je spuštěný skrze přípravek s elektronickým inkoustovým displejem a mikroprocesorem ESP32. Uživatelské rozhraní Webserveru je napsáno v značkovacím jazyce HTML, s prvky CSS a JavaScriptu. Uživatelské rozhraní můžete vidět na obrázku níže (Obrázek 19).



Obrázek 19 Ukázka hlavní stránky webového rozhraní

Ovládání a přechody jsou v kódu vepsány v části inicializace (6.5.4). Po zadání adresy „vizitka.local/“ nebo adresy přidělené Wi-Fi routerem do internetového prohlížeče se skrze příkaz odešle zdrojový kód hlavní stránky na Webserver a zobrazí se.

Na Webserver se také odesílá strojový čas od spuštění přípravku, který je zobrazován a neustále aktualizován, aniž by se celá stránka musela aktualizovat. Strojový čas se musí dělit konstantou 1000000, jelikož mikroprocesor ESP32 tento čas počítá v mikrosekundách. Tohle všechno je řešeno v kódu ve funkci `uptime`, která vrací hodnotu času v textovém řetězci a skrze příkaz je textový řetězec odeslán na adresu „./uptime“ a z ní pak přes příkazy v JavaScriptu je každých 100 milisekund čtena hodnota, která je odečítána od konstanty 300. Výsledná hodnota se zobrazuje na hlavní stránce.

Po vypsání údajů do textových polí, které jsou jim určené, a po stisku tlačítka „Odeslat na vizitku“ se tyto hodnoty jednotlivých údajů odešlou do výrobku, který je zpracovává. Údaje se odešlou na adresu „./download_data“, kde si tyto data přečte program a kontroluje jestli data byla vyplněna či změněna. Pokud data byla změněna, tak program vytvoří/přepíše soubor v interní paměti mikroprocesoru a uloží změněná data do příslušných souborů s příponou „.txt“. Následně se Webserver vrátí na hlavní stránku, která je na adrese „/“.

Na hlavní stránce se dále nachází tlačítko „Uspat vizitku“, které slouží k okamžitému uspání vizitky. Po stisku se Webserver přesune na adresu „/force_sleep“, kde program pozná, že se má přepnout do režimu deep sleep.

6.6 Cena výsledného výrobku

V tabulce níže se nachází přibližná cena komponent a následně i celého výrobku, bez započítání vlastní práce, přístrojů a náradí použitého k výrobě:

Číslo	Počet	Název	Hodnota	Cena s DPH
1	3	El. odpor-R ₁ , R ₂ , R ₃	100 kΩ	2,4 Kč
2	3	El. odpor-R ₄ , R ₅ , R ₆	1k2 Ω	8,7 Kč
3	1	RGB LED-D1	-	15 Kč
4	1	Baterie LiPol 1500 mA 3,7 V	-	198 Kč
5	1	LILYGO® TTGO V2.30 2.13 Inch	-	978 Kč
6	1	Pouzdro (materiál)	25 g	14,9 Kč
7	1	Mikrospínač 6x6x8 mm	-	2 Kč
Celková cena za výrobek:				1219 Kč

Tabulka 3 Použité komponenty a jejich ceny

7. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí elektronické vizitky s elektronickým inkoustovým displejem. Je zde implementována bezdrátová komunikace skrze Wi-Fi síť a je kladen důraz na nízkou spotřebu elektrické energie a kompaktní rozměry. Je zde zpracován návrh a vlastní realizace výrobku. Nachází se zde popis přípravku od firmy LILYGO®, přípravkem využívaného mikroprocesoru ESP32 a elektronického inkoustového displeje, u kterého je i vysvětlen popis funkce. Dále jsou zde rozepsány knihovny, výběr bateriového článku a pomocné programy, které značně pomohli k realizaci této práce. Finální výrobek dokáže sloužit jako plnohodnotná vizitka a splňuje požadavky, které byly požadovány v zadání práce.

Použitý přípravek od firmy LILYGO® navzdory předpokladům, v režimu deep sleep nedosahuje takového proudového odběru, jako samotný mikroprocesor ESP32. I přes snahu snížit odebíraný proud přípravku se však nepodařilo přiblížit k hodnotě 0,15 mA či 40 μ A. Změřený odebíraný proud při režimu deep sleep je okolo 3 mA. Na tento odběr se reagovalo použitím bateriového článku s vyšší kapacitou, který dokáže výrobek udržet správně fungovat přibližně 12 dní, pokud je výrobek v režimu deep sleep.

Velikost vizitky by se dala zredukovat více při použití samotného ESP32 a odděleného elektronického inkoustového displeje. Tímto by se nejspíš snížila spotřeba i celého výrobku.

Komunikace skrze Wi-Fi síť může být nebezpečná, jelikož se k přípravku může připojit kdokoli, kdo je připojen na stejné síti a připojí se na přiřazenou adresu. Tento problém by se mohl vyřešit přidáním přihlašovacích údajů do Webserveru a tím znemožnit přístup cizím uživatelům používajících stejnou Wi-Fi síť.

LITERATURA

- [1] LILYGO® TTGO T5 V2.3 2.13 Inch E-Paper Screen New Driver. Lilygo [online]. China: Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology, c2020 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50031&Id=1149
- [2] Vzhled LILYGO® TTGO T5 V2.3 2.13 Inch E-Paper Screen New Driver Chip. In: Lilygo [online]. China: Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology, c2020 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://ae01.alicdn.com/kf/H6771ddce182346d59e541523f548de0e7.jpg>
- [3] ESP32 Technical reference manual [online]. Shanghai: Espressif Systems, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- [4] Správa napájení ESP32. Lastminuteengineers [online]. LastMinuteEngineers, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>
- [5] How E-Paper Works. Smartcity-displays [online]. Italy: GDS Holding, c2019 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.smartcity-displays.com/how-does-e-paper-work/>
- [6] Princip funkce elektronického inkoustového displeje. E-ink-info [online]. Metalgrass, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.e-ink-info.com/introduction>
- [7] Serial Peripheral Interface. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [8] Wi-Fi. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [9] WebServer. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Web_server
- [10] HTML. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Markup_Language
- [11] CSS. W3schools [online]. Refsnes Data, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp
- [12] JavaScript. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/JavaScript>
- [13] Arduino IDE. Arduino [online]. Italy: Arduino, c2021 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

- [14] Knihovna GxEPD. Github [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://github.com/ZinggJM/GxEPD>
- [15] Knihovna Adafruit-GFX-Library. Github [online]. Adafruit Industries, c2012 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library>
- [16] Knihovna ESPmDNS. <https://github.com/> [online]. espressif [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [esp32/tree/master/libraries/ESPmDNS](https://github.com/espressif/esp32/tree/master/libraries/ESPmDNS)Knihovna
- [17] Knihovna AnalogWrite. <https://github.com/> [online]. ERROPiX, 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://github.com/ERROPiX/ESP32_AnalogWrite
- [18] SPIFFS. <https://www.arduinosllovakia.eu/> [online]. Slovensko: Róbert Ulbricht, 2020 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.arduinosllovakia.eu/blog/2019/2/esp8266---suborovy-system-spiffs?lang=cs>
- [19] Knihovna WiFi. Arduino [online]. Italy: Arduino, c2021 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi>
- [20] Knihovna ESPAsyncServer. <https://github.com/> [online]. Bulgaria: Me no dev, 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>
- [21] Knihovna AsyncTCP. <https://github.com/> [online]. Bulgaria: Me no dev, 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://github.com/me-no-dev/AsyncTCP>
- [22] Solidworks. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [23] Varta CR2032 [online]. In: Německo: Varta, s. 2 [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: https://www.varta-microbattery.com/fileadmin/varta_microbattery//mb_data/documents/data_sheets/DS6032.pdf
- [24] Baterie LiPol. <https://www.laskarduino.cz/> [online]. laskarduino.cz, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/baterie-li-po-3-7v-1500mah-lipo/>
- [25] Baterie LiI-on. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [26] Rozměry přípravku LILYGO® TTGO T5 V2.3 2.13 Inch. In: Lilygo [online]. China: Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology, c2020, s. 2 [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1kRkTB8mWBUkSndVq6AsApXaS.jpg>

Seznam symbolů a zkratk

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
Wi-Fi	Wireless fidelity
IDE	Integrated Development Environment
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA2	Wifi Protected Access 2
PC	Personal computer
CAD	Computer-aided desing
ID	Identifikace
QR	Quick response
HTML	Hypertext Markup Language
SGML	Standart Generalized Markup Language
WWW	World Wide Web
TCP	Transmission Control Protocol
SPI	Seriál Peripheral Interface
RAM	Random Access Memory
CPU	Central processing unit
RTC	Real Time Clock
GPIO	General-purpose input/output
ULP	Ultra Low Power
CSS	Cascading Style Sheets
SPIFFS	SPI Flash File Storage
LED	Light Emiting Diode
CS	Chip Select
LCD	Liquid Crystal Display
TCP	Transmission Control Protocol
USB	Universal Seriál Bus
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure

Symboly:

U	elektrické napětí	[V]
I	elektrický proud	[A]
R	elektrický odpor	[Ω]
P	elektrický výkon	[W]
l	délka	[m]
t	čas	[s]

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - OBSAH PŘILOŽENÉHO CD	42
--	----

Příloha A - Obsah přiloženého CD

- ↳ Bakalarska_prace_vizitka.pdf
- ↳ e_ink_vizitka
 - ↳ e_ink_vizitka.ino ... *program využívaný vizitkou*
- ↳ Obrazky ... *vlastní obrázky, které se nacházejí v práci*
 - ↳ Blokove_schema_Software.png
 - ↳ Blokove_schema_komunikace.png
 - ↳ Blokove_schema_vizitka.png
 - ↳ Deep_sleep.jpg
 - ↳ Necinny_stav.jpg
 - ↳ Spodni_cast_pouzdra.jpg
 - ↳ Spodni_cast_pouzdra_SW.jpg
 - ↳ Stav_prepisu_dat_na_displeji.jpg
 - ↳ Stav_temer_vybite_baterie.jpg
 - ↳ Vizitka_bez_krytu.jpg
 - ↳ Vrchni_cast_pouzdra.jpg
 - ↳ Vrchni_cast_pouzdra_SW.png
 - ↳ Web_navrh.png
 - ↳ Webove_rozhrani.png
- ↳ Pouzdro ... *podklady pro výrobu pouzdra*
 - ↳ Dil1_spodni_cast.sldprt
 - ↳ Dil1_spodni_cast_3Dprint.stl
 - ↳ Dil2_vrchni_cast.sldprt
 - ↳ Dil2_vrchni_cast_3Dprint.stl
- ↳ Navod_pro_pridani_ESP32_do_Arduino_IDE.txt ... *návod pro přístup k přípravku*
- ↳ Schema_zapojeni_vizitky.sxe ... *elektronické schéma vizitky*