



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BEZDRÁTOVÝ DATALOGGER PRO MONITOROVÁNÍ PROSTŘEDÍ UCHOVÁVANÝCH LÉČIV – KLIENTSKÁ ČÁST

WIRELESS DATA LOGGER FOR ENVIRONMENTAL MONITORING - CLIENT-SIDE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vlastimil Štopl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora, MBA

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Vlastimil Štopl

ID: 240571

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový datalogger pro monitorování prostředí uchovávaných léčiv – klientská část

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Navrhněte zařízení klient-server pro automatické zaznamenávání teploty prostředí pro uložení léčiv. Prostudujte příslušnou legislativu SÚKL k dané problematice. 2) Proveďte systémový návrh zařízení pro snímání teploty s automatickým zasíláním na server prostřednictvím bezdrátové sítě WiFi. 3) Zařízení musí umožňovat synchronizaci data a času (NTP) a snímání teploty v nastavených intervalech. Export teploty bude pomocí protokolu, který musí jednoznačně uvádět identifikátor zařízení, datum, čas a naměřenou hodnotu. 4) Zařízení musí umožňovat snímání teploty v rozsahu 0°C až 50°C s přesností 1°C. Napájení bude bateriové s indikací stavu baterie. Zaměřte se na energetickou úspornost zařízení. 5) Sestavte navržené zařízení a ve spolupráci se serverovou částí ověřte správnou funkci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WILSON, Jon S. The digital signal processing handbook: theory, design, and implementation. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, 1 sv. The electrical engineering handbook series. ISBN 978-1-4200-4604-5.

[2] WILSON, Jon S. Sensor technology handbook: theory, design, and implementation. Boston: Elsevier, c2005, ix, 691 p. Engineering. ISBN 07-506-7729-5.

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora, MBA

doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.
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

Cílem této práce je navrhnout zařízení klient-server pro automatické zaznamenávání teploty prostředí pro uložení léčiv. Tato práce je zaměřená na klientskou část. V teoretické části je uvedena příslušná legislativa k uložení léčiv a definice Internetu věcí. Praktická část obsahuje samotný systémový návrh zařízení a jeho realizaci. Jako řídicí jednotka byl zvolen mikrokontrolér ESP8266 ve spojení se senzorem DS18B20.

KLÍČOVÁ SLOVA

ESP8266, senzor teploty, legislativa, Internet věcí, UDP, NTP

ABSTRACT

The aim of this work is to design a client-server device for automatic recording of environmental temperature for the storage of pharmaceuticals. This work focuses on the client part. The theoretical section includes relevant legislation for pharmaceutical storage and definitions of the Internet of Things. The practical part comprises the actual system design of the device and its implementation. The chosen control unit is the ESP8266 microcontroller in conjunction with the DS18B20 sensor.

KEYWORDS

ESP8266, temperature sensor, legislation, Internet of Things, UDP, NTP

ŠTOPL, Vlastimil. *Bezdrátový datalogger pro monitorování prostředí uchovávaných léčiv – klientská část*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2024, 52 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora, MBA.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Vlastimil Štopl
VUT ID autora: 240571
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Bezdrátový datalogger pro monitorování prostředí uchovávaných léčiv – klientská část

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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi, MBA, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Děkuji také za poskytnutí podmínek a prostředků pro realizaci praktické části. Práce je výsledkem společného tématu, zde je řešena klientská část a navazuje na serverovou část, kterou sestavil Jiří Bártek. Poděkování patří i jemu za jeho cenný přínos a spolupráci.

Obsah

Úvod	10
1 Legislativní požadavky	11
1.1 Předpisy a normy	11
1.2 Legislativní rámec v oblasti uchovávání léčiv	11
1.2.1 Vybavení skladových prostor měřicím zařízením	11
1.2.2 Požadavky na měřicí zařízení	11
1.2.3 Kalibrace měřidel	11
1.2.4 Dodržování skladovacích podmínek	12
1.2.5 Sledování a kontrola teploty skladování léčiv	12
1.2.6 Přeprava léčiv	12
2 Komunikace senzorů v síti Internet a IoT	14
2.1 Rizika technologie	14
2.1.1 Bezpečnost	14
2.1.2 Ochrana osobních údajů	15
2.2 Aktuální trendy využití	15
3 Systémový návrh zařízení	16
3.1 Blokové schéma	16
3.2 Požadavky na hardware	17
3.2.1 Mikrokontrolér ESP8266	17
3.2.2 Teplotní senzor DS18B20	18
3.2.3 LED Indikátor	20
3.2.4 Napájení	21
3.3 Software	24
3.3.1 Vývojové prostředí Arduino IDE	24
3.3.2 Platforma NodeMCU	25
3.4 Nástroje pro komunikaci	25
3.4.1 WiFi	25
3.4.2 UDP	25
3.4.3 NTP	26
4 Realizace měřicího zařízení	28
4.1 Programové řešení	28
4.1.1 Použité knihovny	28
4.1.2 Vývojový diagram	28
4.1.3 Konfigurace počátečního nastavení	30

4.1.4	Čas a časové zóny	30
4.1.5	Konfigurace senzorů	30
4.1.6	Hlavní smyčka programu	31
4.1.7	Protokol pro export dat	31
4.1.8	WiFi statusy	33
4.1.9	LED signalizace	33
4.1.10	Správa a přenos dat	34
4.2	Elektrické schéma zapojení	35
4.2.1	Napájecí obvod	35
4.2.2	Obvod senzoru a diody	36
4.3	Energetická náročnost	36
5	Ověření funkčnosti zařízení	38
5.1	Testování v různých podmínkách	38
5.1.1	Měření v chladničce	38
5.1.2	Měření v mrazničce a teplé místnosti	39
5.2	Srovnání s validovaným teploměrem	39
6	Diskuze	40
	Závěr	42
	Literatura	43
	Seznam symbolů a zkratk	46
	Seznam příloh	47
A	Ukázky funkčnosti zařízení se serverovou částí	48
A.1	Ověření funkčnosti více zařízení	48
A.2	Test výpadku WiFi připojení	48
A.3	Varovné e-maily	49
B	Fotodokumentace výsledného zařízení	51
C	Zdrojový kód	52

Seznam obrázků

3.1	Blokové schéma celého zařízení server - klient	16
3.2	Blokové schéma pouze klientské části	17
3.3	Konektory mikrokontroléru ESP8266	18
3.4	Teplotní senzor DS18B20	19
3.5	Schéma zapojení teplotního senzoru ke sběrnici 1-Wire	19
3.6	RGB Dioda	20
3.7	Označení pinů RGB diody	20
3.8	Použitý měnič napětí	21
3.9	Účinnost měniče	22
3.10	Bateriový box	23
3.11	Ukázka vývojového prostředí Arduino IDE	24
3.12	Schéma principu UDP protokolu	26
3.13	NTP hierarchie	27
4.1	Vývojový diagram programu	29
4.2	Vytvořený protokol s popisem	33
4.3	Ukázka posílání zpráv v sériovém monitoru	34
4.4	Elektrické schéma zapojení, mikrokontrolér je vyobrazen jako funkční blok	35
A.1	Poslaný e-mail od serveru	48
A.2	Sériový monitor serveru	49
A.3	Překročení nastavené hranice teploty	49
A.4	Problém s senzorem	50
A.5	Změna napájení	50
A.6	Slabá baterie	50
B.1	Zařízení klient	51
B.2	Zařízení server	51

Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout zařízení pro automatizované monitorování teploty s následným bezdrátovým odesláním dat na server pomocí WiFi sítě. Práce je strukturována do dvou hlavních částí: klientské a serverové. Navržené zařízení bylo sestaveno a ověřeno ve spolupráci se serverovou částí.

Spolupráce mezi oběma částmi je klíčovým prvkem této práce, jelikož monitorování teploty je zásadní pro látky, které vyžadují udržování konstantní teploty. Zařízení by mělo být schopno sledovat teplotu a v případě změny tuto událost signalizovat.

První kapitola poskytuje přehled legislativy týkající se monitorování teploty v prostředí určeném pro skladování léčiv. Druhá kapitola se zaměřuje na definici, přehled a vývoj Internetu věcí.

Třetí kapitola je věnována systémovému návrhu zařízení a obsahuje popis použitého hardwaru a softwaru, včetně důvodů pro jejich výběr. Je zde popsán výběr mikrokontroléru, senzoru a dalších komponent, které byly zvoleny pro jejich spolehlivost, energetickou úspornost a snadnou implementaci. Dále jsou vysvětleny nástroje pro komunikaci, jako je WiFi, protokol UDP pro odesílání dat a získávání času z NTP serveru, které zajišťují spolehlivé a efektivní připojení a přenos informací.

Závěrečná kapitola se věnuje programové realizaci zařízení. Na základě dohody se serverovou částí byl stanoven protokol pro export dat na server. Tato část také zahrnuje podrobný popis zapojení jednotlivých komponent a jejich propojení v rámci celého systému. Dále se zabývá implementací energeticky úsporných opatření, které prodlužují výdrž bateriově napájeného zařízení. Kromě toho je v této části popsán proces ověření funkčnosti zařízení v různých provozních podmínkách, což zahrnuje testování v simulovaných reálných podmínkách pro zajištění spolehlivosti a přesnosti měření.

1 Legislativní požadavky

V České republice je dohlížena kvalita, bezpečnost a registrace farmaceutických produktů prostřednictvím Státního úřadu pro kontrolu léčiv SÚKL. Tento orgán hraje klíčovou roli v zajištění toho, aby léčiva, která jsou dostupná na trhu, splňovala vysoké standardy kvality a bezpečnosti. Součástí těchto standardů jsou i přísné požadavky na sledování a ukládání teploty pro léčiva, které mají zajistit, že léky zůstanou účinné a bezpečné pro pacienty.

1.1 Předpisy a normy

Státní ústav pro kontrolu léčiv SÚKL vydává doporučující pokyn pro distributory a výrobce léčiv, který poskytuje směrnice a standardy pro správné skladování a přepravu léčiv. Tyto směrnice jsou založeny na relevantní legislativě, konkrétně v § 35 písm. a), § 37 odst. 1 a odst. 3–6, § 38 odst. 1 a 4 a v § 39 odst. 1 až 3 a 6 vyhlášky č. 229/2008 Sb., o výrobě a distribuci léčiv. [5]

1.2 Legislativní rámec v oblasti uchovávání léčiv

1.2.1 Vybavení skladových prostor měřicím zařízením

Pro ověření, zda při skladování termolabilních léčiv je výsledné rozložení teplot v prostoru správné se využívají teplotní mapy. Teplotní mapa je zpracována v písemné formě. Dále se teploměry umístí na kritická místa podle teplotní mapy. Pokud došlo například ke vnitřní rekonstrukci, nebo se zasahovalo do chladících či klimatizačních jednotek, mělo by se opakovat ověření.[5, 20]

1.2.2 Požadavky na měřicí zařízení

Je nutné mít připraven schválený postup pro případ výpadku proudu. Měřicí zařízení by mělo být vybaveno signalizačním zařízením, který upozorňuje o překročení teplotního rozmezí. Též by měla být prováděna pravidelná kontrola o funkčnosti a vést o ní záznam. V případě aktivace alarmu, který signalizuje odchylku od stanoveného teplotního rozmezí, je nezbytné bez prodlení provést předem schválený postup uvedený v řídicí dokumentaci.[5, 20]

1.2.3 Kalibrace měřidel

Zajištění přesného měření teploty v kontrole a skladování léčiv je klíčové. Rekalibrace teploměrů by měla být prováděna s ohledem na rizika, spolehlivost a stav měřidel.

Interval mezi dvěma rekalibracemi by neměl přesáhnout 24 měsíců, s výjimkou teploměrů používaných při přepravě, kde by měl být tento interval nejvýše 12 měsíců. Při použití měřicích systémů je nezbytná kalibrace nebo ověření teplotních čidel ve vztahu k vyhodnocovací jednotce. Jakékoli zjištěné nesprávné funkce teploměrů nebo měřicích systémů musí být pečlivě posouzeny s ohledem na vliv na dodržení předepsaných teplot skladování nebo přepravy léčiv a na jejich kvalitu. Kalibrace by měla také určit chybu měřidel. Pro sledování teploty skladovaných léčiv by teploměry neměly vykazovat chybu větší než 0,5 °C, zatímco pro sledování teplotních podmínek mimo mrazicí a chladičí zařízení by tato chyba neměla přesáhnout 1,0 °C. [5, 20]

1.2.4 Dodržování skladovacích podmínek

V rámci správného skladování léčiv jsou zavedena striktní pravidla, která jsou řízena a dokumentována pro jednotlivé skladovací režimy. Tyto informace jsou přístupné přímo v místnosti pro příjem zboží nebo jsou integrovány do skladového hospodářství prostřednictvím počítačem řízeného programu, což zajišťuje správnou identifikaci skladovacího režimu každého léčiva při jeho příjmu. Dále je nezbytné, aby léčiva nebyla skladována přímo na podlaze, blízko zdrojů tepla, na místech vystavených přímému slunečnímu záření nebo v blízkosti chladičích a mrazicích zařízení, a to včetně míst označených jako nevhodná na základě teplotní mapy. Nakonec je také vyžadováno, aby podmínky skladování léčivých přípravků a pomocných látek přesně odpovídaly specifikacím uvedeným výrobcem na obalu či v dokumentaci, což zahrnuje udržování léčiv v rozmezí teplot stanovených výrobcem. [5, 20]

1.2.5 Sledování a kontrola teploty skladování léčiv

Každodenní sledování a dokumentace podmínek skladování léčiv je klíčové pro zajištění jejich kvality a bezpečnosti. U termolabilních léčiv se teploty kontinuálně monitorují a zaznamenávají. U léčiv skladovaných za jiných než v chladičích zařízeních lze teplotní záznamy provádět manuálně alespoň jednou denně v období s největšími teplotními výkyvy. Důležité je také zálohování záznamů uložených v elektronické formě, pokud neexistují tištěné kopie těchto záznamů. Toto opatření zajišťuje pečlivé sledování teplotních podmínek skladovaných léčiv a jejich dodržení. [5, 20]

1.2.6 Přeprava léčiv

Při přepravě léčiv je nezbytné zvláště dbát na dodržování teplotních podmínek, zejména v letních a zimních měsících, kdy mohou teploty v dopravních prostředcích

dosahovat extrémních hodnot. Termolabilní léčiva se přepravují ve speciálně vybavených chladičích vozech nebo chlazených přepravních schránkách, aby bylo zajištěno, že léčiva nezmrznou (s výjimkou těch, které vyžadují mrazicí podmínky). Teplota během přepravy se musí neustále monitorovat pomocí vhodných měřicích zařízení a zajišťovat, aby byly splněny podmínky skladování specifikované na obalu léčiva. Validace přepravních podmínek může nahradit neustálé monitorování teploty, pokud se prokáže, že standardní postupy přepravy udrží léčiva v předepsaném teplotním rozmezí po celou dobu přepravy. V případě, že teplotní podmínky nejsou během přepravy dodrženy, je třeba vyhodnotit potenciální vliv na kvalitu léčiva a rizika spojená s další distribucí. Tyto postupy se aplikují obdobně i pro léčiva, která nevyžadují chladičí nebo mrazicí podmínky. Navíc, při smluvní přepravě léčiv je zásadní zajistit, že podmínky přepravy jsou důsledně dodržovány a dokumentovány.[5, 20]

2 Komunikace senzorů v síti Internet a IoT

Internet věcí znamená revoluční změnu v oblasti informačních technologií. Samotná zkratka IoT v angličtině znamená „Internet of Things“. Internet je globálním sítí propojující miliony počítačových sítí a uživatelů po celém světě. Zahrnuje všechny druhy fyzických objektů, které lze propojit se sítí Internet, od elektroniky a zařízení až po běžné předměty jako oblečení a nábytek. To znamená, že do této sítě mohou být zapojeny živé i neživé věci, což umožňuje sběr dat a vzájemnou komunikaci mezi nimi. IoT má potenciál změnit způsob, jakým žijeme a pracujeme tím, že nám poskytne nové možnosti v oblasti automatizace, monitorování a efektivního řízení různých aspektů našeho života.[6]

IoT je definován jako složitý koncept, který spojuje fyzické objekty a zařízení, umožňující jim komunikovat přes internet. Tyto objekty jsou vybaveny senzory, které shromažďují data o svém okolí, což jim umožňuje reagovat na různé situace a podmínky. IoT mění způsob, jakým interagujeme s fyzickým světem, přinášeje automatizaci a sledování. Získaná data jsou zpracovávána a analyzována, což otevírá nové možnosti v mnoha odvětvích, včetně zdravotnictví, kde mohou například senzory v reálném čase monitorovat pacienty a poskytovat zdravotní péči na základě těchto informací.[15]

Historie Internetu věcí je plná zajímavých milníků. Termín IoT byl oficiálně definován Kevinem Ashtonem, britským inženýrem, v roce 1999. První známky v moderním smyslu se objevily v 60. letech 20. století, kdy Coca-Cola provozovala automat, který monitoroval stav chlazených nápojů a informoval o potřebě doplnění zboží. V 90. letech 20. století experimentoval John Romkey s připojením toašovače k internetu prostřednictvím TCP/IP protokolu. Ve stejné době na univerzitě v Cambridge použili webkameru ke sledování stavu kávovaru. První oficiální konference věnovaná IoT se uskutečnila v roce 2008 ve Švýcarsku, a s příchodem IPv6 v roce 2011 se začalo masové rozšíření po celém světě, což přineslo prudký nárůst zařízení připojených k internetu a pozornost velkých hráčů na trhu, jako jsou Apple, Samsung, Google a Cisco. [11]

2.1 Rizika technologie

2.1.1 Bezpečnost

Uživatelé se mohou setkat s ohrožením svého soukromí, protože IoT zařízení sbírají citlivé informace, které mohou být neoprávněně zneužity. Navíc nestabilita a selhání těchto zařízení mohou způsobit nepohodlí a ztrátu funkcí. Bezpečnostní zranitelnosti, jako jsou slabá hesla a zastaralý software, mohou hackerům umožnit pronik-

nout do zařízení. Botnety složené z IoT zařízení mohou být použity k útokům typu DDoS, což může způsobit nedostupnost internetových služeb. Výzvou je i ochrana soukromí uživatelů a nedostatečná podpora a aktualizace ze strany výrobců. Zajištění bezpečnosti v IoT vyžaduje aktivní opatření, včetně silných hesel, pravidelných aktualizací a obezřetného výběru zařízení, a vyžaduje spolupráci mezi uživateli, výrobcí a regulátory.[14]

2.1.2 Ochrana osobních údajů

Dalším významným bodem je ochrana osobních údajů. Uživatelé mají oprávněné obavy ohledně zachování soukromí, protože IoT může zaznamenávat a sdílet jejich citlivé informace. Zabránění úniku osobních údajů, musíme zvažovat metody ochrany soukromí jako například vytvoření síťové architektury. Bude vracet nezbytné informace a ochraňovat citlivé údaje. Dále ignorování dotazů na data, které považujeme jako citlivá. Ochrana soukromí je komplexní výzvou, která vyžaduje inovativní kryptografická řešení a bezpečné architektury, aby se zajistila integrita dat a ochrana soukromí uživatelů v tomto prostředí. [14]

2.2 Aktuální trendy využití

V průmyslu se nachází široké využití v monitorování a automatizaci výrobních procesů. IoT zajišťuje výhody jako například snížení nákladů ve výrobě, nebo může vést ke zvýšení efektivity. Díky sensorům je možnost odhalení závad se stroji dříve, než dojde k velkým chybám. Mezi další výhody je možnost monitorování podmínek a bezpečnosti pro zaměstnance.

Zemědělství usiluje o zvýšení produktivity a snížení spotřeby vody i chemikálií prostřednictvím sensorů, které monitorují vlhkost a pH půdy.

Obrovský počet uživatelů objevuje chytrou domácnost. Napomohly tomu události posledních měsíců, včetně pandemie, které tento vývoj urychlily. Jedná se o bezpečnostní systémy, sledování teploty, vlhkosti, osvětlení a oxidu uhličitého. Dokonce ovládání již zmíněných přes internet.

Problémy s rostoucí urbanizací řeší chytrá města. Mají za úkol snížit nakládání s odpady, zlepšit veřejnou bezpečnost, nebo pomoci urychlit městskou dopravu. Jelikož počet lidí stále roste tyto aspekty budou hrát velkou roli v udržitelnosti a kvalitě života.

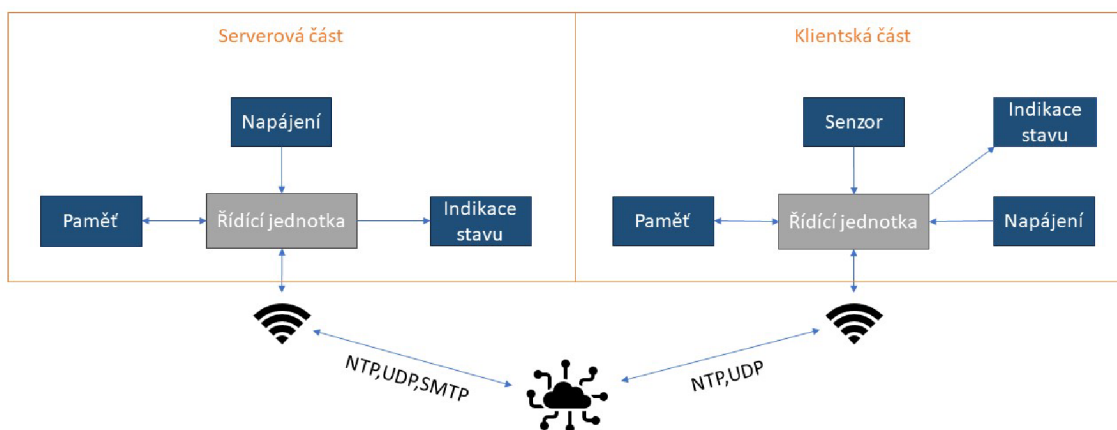
Posledním zmíněným bodem je zdravotnictví. Největší převrat nastal ve sledování zdravotního stavu pacientů, díky domácím sensorům a přenosným zařízením. Pacientovi se tímto způsobem dostává nepřetržitá péče i možnost vyšetření na dálku.[4]

3 Systémový návrh zařízení

Úvod kapitoly je zaměřen na klíčové aspekty plánování a implementace zařízení pro monitorování teploty prostředí. Tato fáze návrhu je klíčovým krokem k vytvoření komplexního systému, který nejen splňuje technické požadavky, ale také reflektuje nezbytné legislativní normy a zároveň klade důraz na energetickou úspornost a spolehlivost. Kapitola dává prostor pro detailní pohled na hardwarovou a softwarovou architekturu zařízení, metody komunikace a energetickou efektivitu.

3.1 Blokové schéma

Na obrázku 3.1 je znázorněno blokové schéma komunikačního systému, který se skládá ze dvou hlavních částí: serveru a klienta. Každá z těchto částí obsahuje řídicí jednotku propojenou s pamětí a indikačními prvky stavu. Server a klient jsou oba vybaveni WiFi moduly, které umožňují jejich vzájemnou komunikaci prostřednictvím internetu s použitím protokolů NTP a UDP. Na straně klienta je navíc senzor, který bude získávat data z okolního prostředí. Celkově schéma ukazuje, jak jsou jednotlivé komponenty propojeny a jakou roli hrají v rámci celého systému.

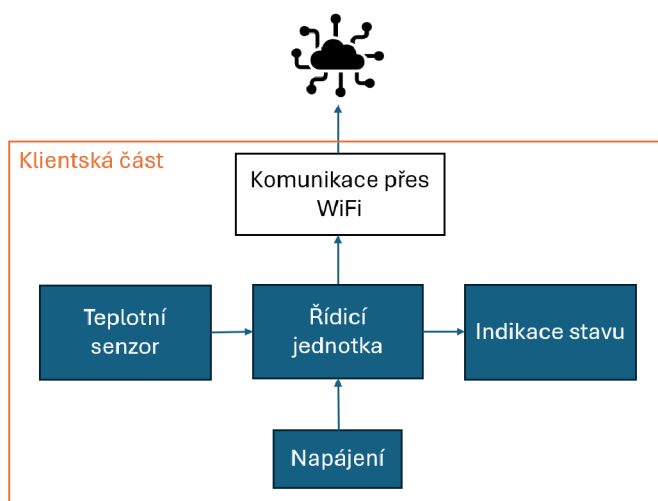


Obr. 3.1: Blokové schéma celého zařízení server - klient

3.2 Požadavky na hardware

Vzhledem k specifikacím a účelu aplikace byly definovány následující požadavky na řídicí mikrokontrolér: nízká spotřeba energie, možnost přímého připojení k síti WiFi, podpora komunikace pomocí 1-Wire protokolu a malá velikost. Vybraný mikrokontrolér splňuje všechny uvedené požadavky.

Na obrázku 3.2 je znázorněno blokové schéma pouze klientské části, které obsahuje bloky odpovídající výběru hardwaru. Napájení se skládá z části pouzdra baterie, napájecího konektoru a DC/DC měniče. Pro blokování proudu ze zdroje do baterie je v cestě zařazena dioda.



Obr. 3.2: Blokové schéma pouze klientské části

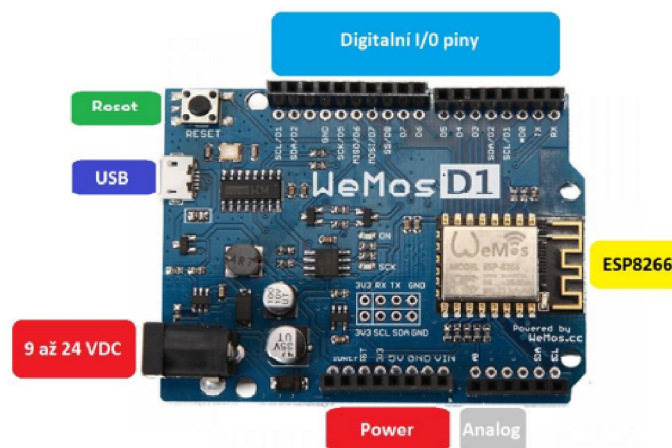
3.2.1 Mikrokontrolér ESP8266

Modul a mikrokontrolér ESP8266 se používá pro bezdrátovou komunikaci, který našel široké uplatnění v oblasti Internetu věcí. Je velice kompaktní a cenově dostupný čip. Umožňuje snadnou komunikaci s internetem a dalšími zařízeními. ESP8266 nabízí různé varianty s různými parametry výkonu a paměti, což umožňuje jeho přizpůsobení pro širokou škálu aplikací. Hlavní rozdíly mezi zařízeními jsou velikost interní paměti a počet vstupně-výstupních bran. Díky velké komunitě vývojářů je ideální volbou pro projektování a prototypování IoT zařízení, ať už jde o sledování sensorických dat, vzdálené ovládání nebo sběr a zpracování dat ve vzdálených lokacích. Nabízí výhody jako nízká cena, malá spotřeba energie a snadná integrace s cloudovými službami, což ho činí jednou z preferovaných platform pro vývojáře v oblasti IoT.[8]

Specifikace zvoleného zařízení:

- ISM 2,4 GHz
- Zesilovač výkonu PA + výstupní výkon 25dBm
- Podpora protokolu 802.11b/g/n
- TCP/IP socket
- Integrovaná anténa
- Konektor na externí anténu
- Komunikační rychlost až 115200 baudů
- Flash paměť 4 MB
- Hmotnost 25 g
- Rozměry 68,8 x 53,4 mm

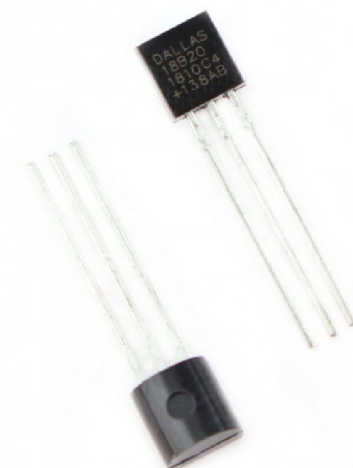
WeMos D1 s modulem ESP8266 nabízí zajímavou možnost využít tento modul jako náhradu za Arduino čip. Důvodem je, že WeMos D1 obsahuje pinové rozložení, které je téměř identické s Arduino UNO. Obsahuje 11 vstupně-výstupních bran a jeden analogový pin. Dále velkou výhodou je nahrávání kódu přes USB kabel.[9]



Obr. 3.3: Konektory mikrokontroléru ESP8266 (převzato z [22])

3.2.2 Teplotní senzor DS18B20

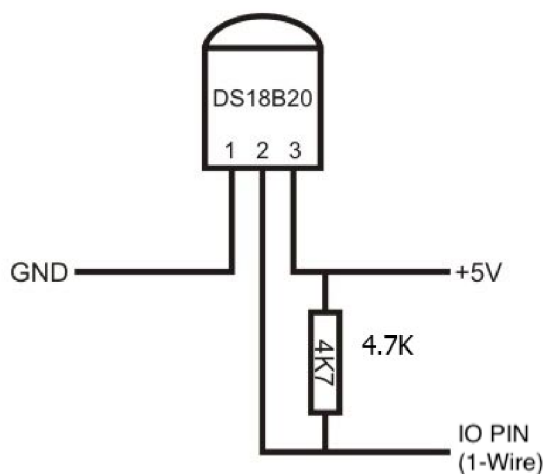
DS18B20 je vspělý digitální teplotní senzor s jedním kanálem, navrženy k přesnému měření teploty v rozsahu od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Tento senzor je vybaven rozhraním 1-Wire, což umožňuje snadnou integraci s různými mikrokontroléry a mikroprocesory. Jeho volitelné rozlišení od 9 do 12 bitů poskytuje uživatelům možnost vybrat optimální rovnováhu mezi rychlostí odezvy a přesností měření teploty. DS18B20 je zapouzdřen v obalu TO-92, který je běžně používán pro elektronické komponenty, a disponuje třemi piny: výstupním, zemním a napájecím.



Obr. 3.4: Teplotní senzor DS18B20 (převzato z [21])

Senzor je navržen tak, aby pracoval v širokém napájecím rozsahu od 3 do 5,5V, což umožňuje jeho použití s různými typy napájecích zdrojů, včetně baterií.

Díky své spolehlivosti, přesnosti a snadné integraci je DS18B20 široce využíván v různých aplikacích. Patří mezi ně termostaty pro domácnosti a průmyslové systémy, monitorování teplot v průmyslových procesech, teploměry pro spotřební zboží a mnoho dalších tepelných systémů, kde je klíčové přesné a spolehlivé měření teploty.



Obr. 3.5: Schéma zapojení teplotního senzoru ke sběrnici 1-Wire (převzato z [21])

Celkově lze tedy konstatovat, že to je vhodný senzor. Splňuje požadavky na měření teploty v daném rozsahu s přesností a zároveň umožňuje napájení pomocí baterie s indikací stavu baterie.[21]

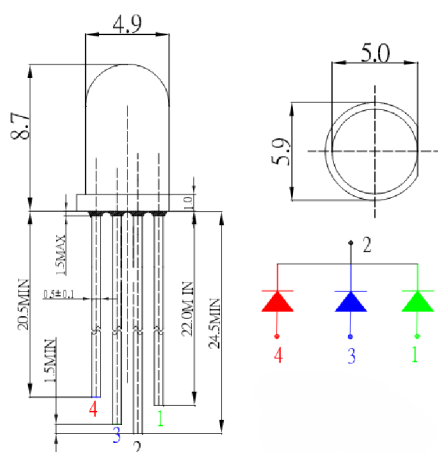
3.2.3 LED Indikátor

Funkčnost senzoru a připojení k síti zajistí LED indikátor, který v režimu RGB bude prezentovat vybrané stavy.



Obr. 3.6: RGB dioda (převzato z [16])

OptoSupply OSTHJC5B61A je RGB LED s kulatým pouzdem o průměru 5 mm, navržená pro montáž typu THT. Tato LED má čirá pouzdra a je vybavena čtyřmi piny, z nichž jeden je společná katoda. S vyzařovacím úhlem 60° poskytuje široký rozptyl světla, což je ideální pro různé aplikace osvětlení a indikace. RGB design umožňuje vytvářet různé barvy světla kombinací červené, zelené a modré světelné emise. LED má pracovní proud I_f 30 mA a je označena jako výrobek značky OptoSupply. Její kulaté pouzdro T-1 3/4 a průměr 5 mm z ní činí vhodnou volbu pro mnoho elektronických aplikací, kde je potřeba kompaktní a výkonná RGB osvětlení. [16]

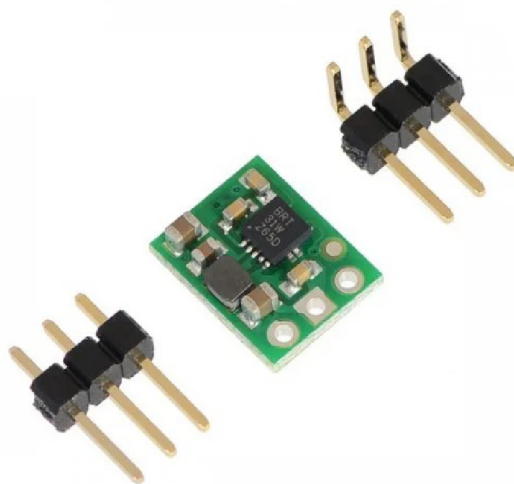


Obr. 3.7: Označení pinů RGB diody (převzato z [16])

3.2.4 Napájení

Měnič napětí

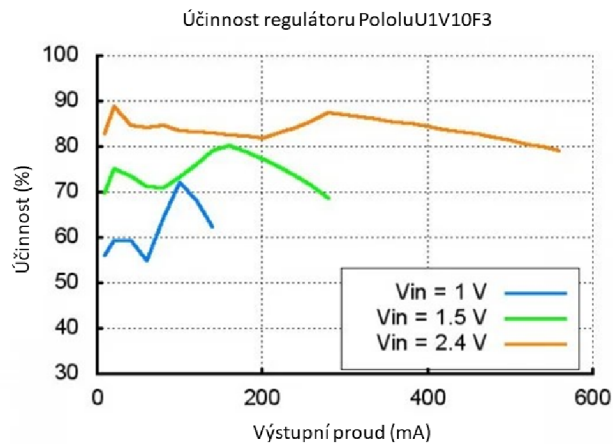
Měničem napětí je při naší konfiguraci klíčová role, kdy USB kabel je využíván jako hlavní zdroj napájení. Kromě toho je doplněn záložním zdrojem napájení ve formě tužkových baterií, které jsou určeny jako náhradní zdroj energie pro desku Wemos D1. Toto uspořádání zajišťuje nejen nepřetržitou dostupnost napájení pro naše zařízení, ale i stabilitu a spolehlivost v situacích, kdy by hlavní zdroj, tedy USB kabel, selhal nebo nebyl k dispozici. Díky měniči napětí je zajištěno efektivní a stabilní dodávání energie z tužkových baterií na požadovanou úroveň napětí, což umožňuje nepřerušenou funkci zařízení i v nepříznivých podmínkách. V tomto konkrétním případě, kdy jsou teplotní záznamy posílány na server, je klíčové, aby zařízení bylo schopno provádět své úkoly i v případě dočasného výpadku hlavního napájení.



Obr. 3.8: Použitý měnič napětí (převzato z [18])

Měnič napětí je zařízení, které hraje klíčovou roli v elektronických obvodech, převádějící vstupní napětí z rozmezí 0,5V až 5,5V na stabilní výstupní napětí 3,3V. Jeho funkce je zajišťovat konzistentní dodávku energie do komponentů elektronického zařízení, a to i při proměnlivých vstupních podmínkách. Jeho specifikace jsou důkladně navrženy s ohledem na požadavky konkrétního použití. Maximální výstupní proud je definován jako 1,2A, což umožňuje měniči poskytovat dostatečný výkon pro napájení připojených zařízení i při zvýšené zátěži. Výstupní proud závisí na vstupním napětí, jak je znázorněno ve schématu. Pro dosažení efektivního provozu je měnič napětí navržen s účinností systému v rozmezí 70% až 90%, což umožňuje minimalizaci ztrát energie a zároveň zajišťuje stabilní provoz. Přesnost výstupního napětí je 4%. Integrovaný obvod v měniči obsahuje ochranný mechanismus, který vypíná

převodníky, když je provozní teplota příliš vysoká. Tato funkce chrání jak samotný měnič, tak i připojené komponenty před možnými škodlivými důsledky přehřátí. Důležitým parametrem je i vstupní proud bez zátěže, který ovlivňuje účinnost měniče a jeho schopnost zachovat nízkou spotřebu energie i při minimální zátěži. Celkové rozměry měniče jsou 11,5 x 8,9 x 3 mm, což zajišťuje kompaktní design a snadnou integraci do různých elektronických zařízení. Hmotnost měniče bez konektorů je 0,5 g, což umožňuje snadnou montáž na desku plošných spojů a minimalizuje potřebné místo pro umístění měniče v koncovém zařízení.[18]



Obr. 3.9: Účinnost měniče (převzato z [18])

Baterie

Tužková baterie, která je využívána jako záložní zdroj napájení pro desku Wemos D1, patří mezi nejpoužívanější typy baterií díky svému širokému využití a spolehlivosti. S jejími standardními rozměry, měřícími 50 mm na délku a 14,9 mm v průměru, a dostupností v různých variantách jako zink-uhlíkové, zink-chloridové, alkalické, lithiové a dobíjecí (NiMH), je ideálním zdrojem energie pro mobilní aplikace, které vyžadují nepřetržitý provoz. Dobíjecí baterie obvykle nabízejí napětí 1,2 V, zatímco klasické poskytují 1,5 V, což jsou klíčové parametry pro správné fungování celého systému.[19]

Schottkyho dioda

Schottkyho dioda 1N5818 je speciální typ polovodičové diody, která slouží k ochraně proti zpětnému proudu při použití dvou zdrojů. Je známá svým nízkým úbytkem

napětí a rychlou spínací dobou. Díky těmto vlastnostem je ideální pro aplikace, kde je důležité minimalizovat energetické ztráty, například v usměrňovačích, ochranných obvodech nebo nabíjecích systémech. Dioda 1N5818 má nízký úbytek napětí, obvykle kolem 0,3 V až 0,4 V, což je výrazně méně než u běžných křemíkových diod. Tato dioda je také schopna pracovat s proudy až do 1 A a má maximální zpětné napětí 30 V, což ji činí vhodnou pro řadu nízkonapěťových aplikací.[7]

Bateriový box

Vzhledem k požadavkům na spolehlivé napájení a záložní zdroj energie byl zaveden bateriový box pro dvě baterie. Tento box je navržen tak, aby byla umožněna kombinace měniče napětí a tužkových baterií, které jsou použity jako záložní zdroj energie pro zařízení. S výstupním napětím 3V, odpovídajícím dvěma bateriím typu AA, je tento box snadno integrován s naším měničem napětí a je zajištěna spolehlivá dodávka napájení. Jeho kompaktní design a jednoduché připojení vodičů umožňují snadnou montáž a spolehlivý provoz zařízení i v nepříznivých podmínkách. Díky této kombinaci je zajištěn nepřetržitý provoz zařízení a udržena stabilita i v případě výpadku hlavního napájení.[3]



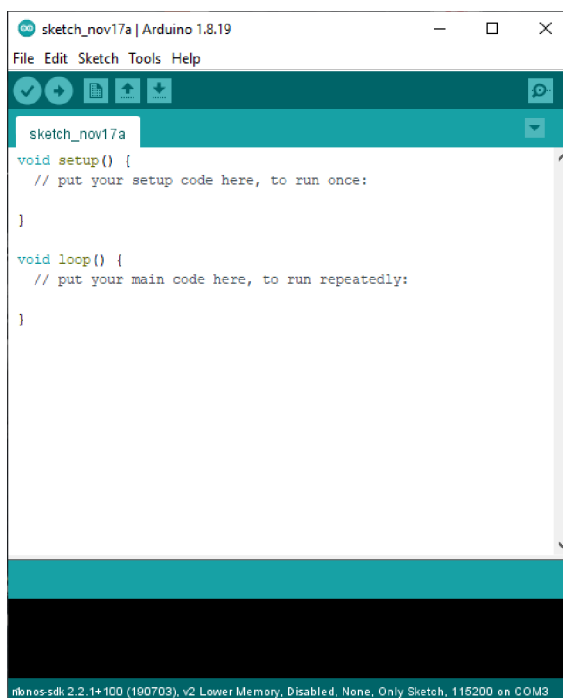
Obr. 3.10: Bateriový box (převzato z [3])

3.3 Software

3.3.1 Vývojové prostředí Arduino IDE

Arduino IDE je open-source software, který usnadňuje psaní, kompilaci a nahrávání kódu do modulů Arduino. Je dostupný pro operační systémy Windows, Linux a iOS (MAC). Tento oficiální vývojový software je přístupný pro uživatele s různými úrovněmi dovedností. Hlavní kód, nazývaný *náčrt*, se vytvoří a poté se kompiluje do hexadecimálního souboru. Arduino IDE se sestavuje kód ve zjednodušené verzi jazyka C++ a nabízí knihovny a funkce pro snadnou práci s Arduino komponenty. Prostředí je oblíbené pro svou přístupnost a jednoduchost, což umožňuje i začátečníkům v programování rychle začít s vývojem vlastních projektů pro Arduino. Dělí se do 3 hlavních částí:

- Příkazová oblast: V horní části Arduino IDE najdeme příkazovou oblast s nabídkami Soubor, Upravit, Náčrt, Nástroje a Nápověda.
- Textová oblast: Zde píšeme svůj kód.
- Okno zprávy: Zobrazuje zprávy z IDE [2]



Obr. 3.11: Ukázka vývojového prostředí Arduino IDE

3.3.2 Platforma NodeMCU

NodeMCU představuje platformu pro vývoj aplikací IoT. Je to tzv. open-source software, což znamená, že má otevřený zdrojový kód. Používá se pro projekty, které využívají WiFi konektivity. Především na připojení senzorů a displejů, které se například využívají k monitorování prostředí. Umožňuje bezdrátovou komunikaci a připojení k internetu. Kombinuje výhody jednoduchého programování v platformě Arduino IDE, nebo jazyku Lua. Má velkou komunitní podporu i velice dostupné knihovny. Je vhodná, jak pro zkušené programátory, tak i pro začátečníky.[13]

3.4 Nástroje pro komunikaci

3.4.1 WiFi

Bezdrátová technologie, která umožňuje přenos dat mezi zařízeními pomocí rádiových vln. Tato technologie umožňuje bezproblémové a pohodlné připojení k internetu nebo vnitřní síti bez nutnosti fyzických kabelů. Standardní frekvenční pásma jsou 2,4 GHz a 5 GHz, a přenos dat se odehrává mezi zařízeními vybavenými WiFi čipem a bezdrátovým routerem, který slouží jako přístupový bod k internetu. Signál vysílaný z routeru je zachycen přijímačem ve vzdáleném zařízení, což umožňuje rychlý a efektivní přenos informací. ESP8266, který je používán, podporuje pouze frekvenční pásmo 2,4 GHz. Díky průběžným aktualizacím standardů byly dosaženy vyšší rychlosti přenosu dat, zlepšení spolehlivosti a posílení zabezpečení sítí, čímž se WiFi stala klíčovým prvkem moderních komunikačních sítí. [17]

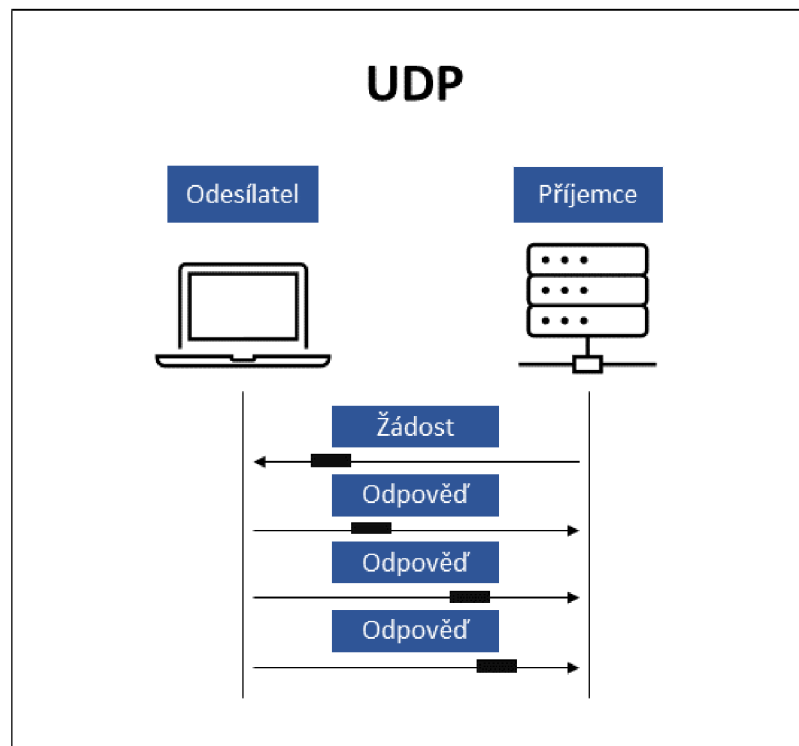
3.4.2 UDP

UDP je jedním z dvou hlavních protokolů transportní vrstvy v modelu TCP/IP. Navzdory své jednoduchosti a absenci některých funkcí, které nabízí TCP, má své specifické využití v síťové komunikaci.

Protokol je orientován na datagramy, což znamená, že data jsou přenášena ve formě nezávislých balíčků, nazývaných datagramy. Každý datagram obsahuje informace o zdroji a cíli, což umožňuje přenos dat mezi zařízeními v síti bez nutnosti navazování a udržování spojení.

Jedná se o bezstavový protokol, který nezaručuje žádné záruky doručení, a jeho vrstva na straně odesílatele neudržuje žádný stav při odesílání zpráv. Sestává ze čtyř hlavních políček v hlavičce: zdrojový port, cílový port, délka paketu včetně dat a kontrolní součet. Jelikož odesílatel nemusí vyžadovat odpověď, zdrojový port je volitelný. Kontrolní součet, i když je volitelný, se téměř vždy používá pro ověření integrity dat.

Využívá porty k identifikaci jednotlivých aplikací na počítači, což umožňuje přesně směřovat data i v případě, že počítač obsahuje více komunikujících aplikací. Port představuje 16bitovou hodnotu, která umožňuje rozsah od 0 do 65535. Port 0 je sice rezervován, ale může být použit, pokud odesílající proces nepočítá s odpovědí. Prvních 1023 portů je označováno jako „dobře známé“, a na Unixových systémech vyžadují oprávnění root pro jejich používání. Následující rozmezí portů 1024-49151 jsou registrované porty, zatímco porty v rozmezí 49152-65535 jsou vyhrazeny pro komunikaci mezi klientem a serverem. Tato struktura portů umožňuje efektivní a organizovanou komunikaci v rámci sítě. [23]

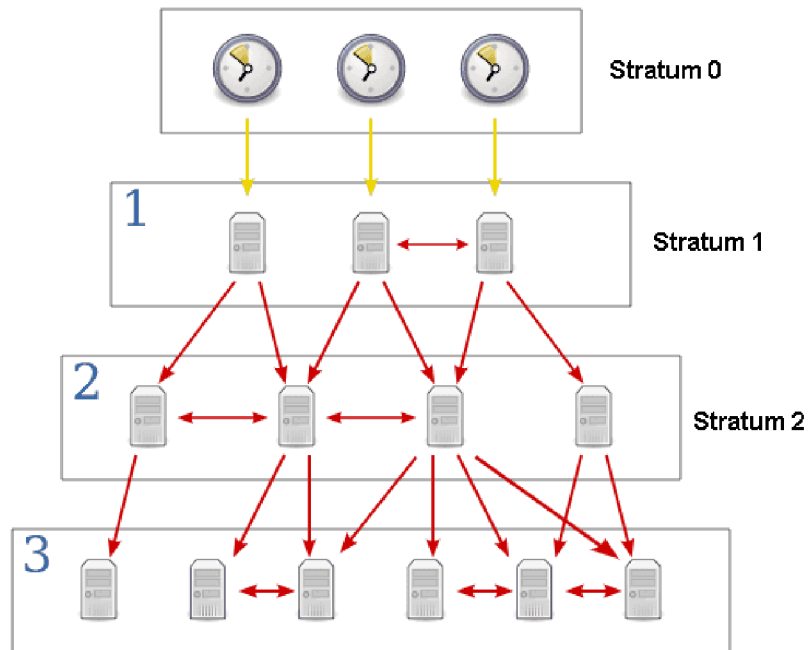


Obr. 3.12: Schéma principu UDP protokolu (převzato z [12])

3.4.3 NTP

NTP je protokol používaný k synchronizaci času mezi počítači nebo jinými zařízeními v počítačové síti. Jeho hlavním cílem je zajistit, aby všechna zařízení v síti měla správný čas, a to s co největší přesností. NTP umožňuje synchronizaci času pomocí přenosu informací o čase přes síťové spojení.

NTP využívá hierarchický systém stratum hodin, kde stratum 0 představují nej-
přesnější externí hodiny, například GPS nebo hodiny synchronizované rádiovým sig-
nálem. Stratum 1 systémy jsou přímo synchronizovány s těmito referenčními hodi-
nami. Stratum 2 systémy odvozují svůj čas od jednoho nebo více stratum 1 prvků,
a tak dále. Hierarchie zabraňuje vytváření cyklů v grafu synchronizujících se strojů.
Stratum hodin se pohybuje od 1 do 14, kde stratum 15 značí systémy, které nemohou
být synchronizovány nebo se synchronizují po výpadku spojení.[10]



Obr. 3.13: NTP hierarchie (převzato z [10])

4 Realizace měřícího zařízení

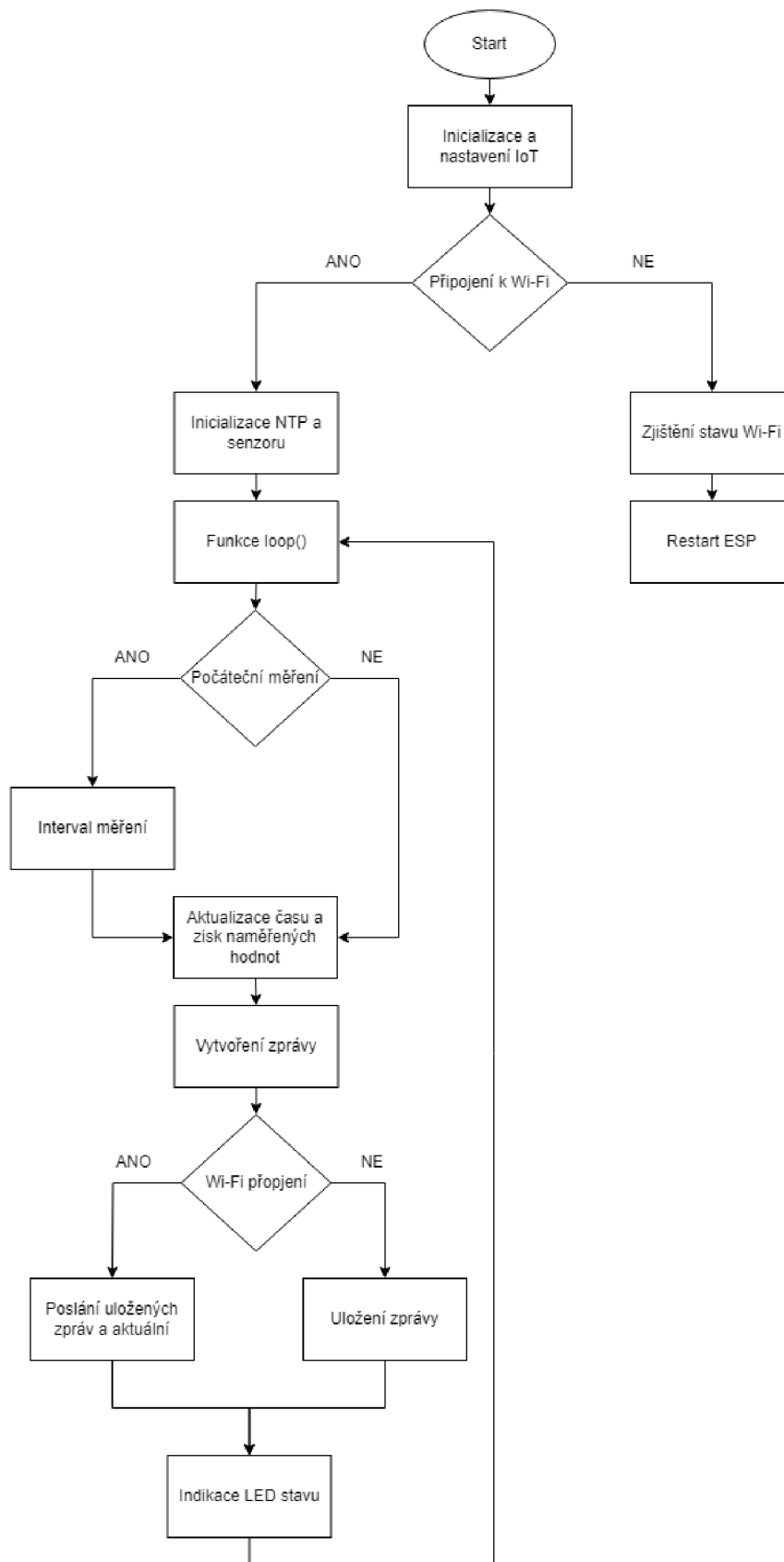
4.1 Programové řešení

4.1.1 Použité knihovny

- **ESP8266WiFi.h** - Tato knihovna poskytuje funkce pro práci s modulem ESP8266 přes WiFi. Umožňuje inicializaci a správu WiFi připojení, což je nezbytné pro komunikaci s bezdrátovou sítí.
- **NTPClient.h** - NTPClient je knihovna umožňující synchronizaci času na ESP8266 pomocí NTP serveru.
- **WiFiUdp.h** - WiFiUdp je knihovna, která implementuje UDP pro bezdrátovou komunikaci.
- **Timezone.h** - Knihovna Timezone slouží k manipulaci s časovými pásmy. Pomocí této knihovny lze nastavovat a konvertovat časy mezi různými časovými zónami.
- **1-Wire** - Knihovna 1-Wire umožňuje komunikaci s teplotními senzory a dalšími zařízeními pomocí protokolu 1-Wire. Tento protokol umožňuje komunikaci s více zařízeními přes jediný datový vodič, což usnadňuje zapojení a řízení více senzorů. 1-Wire poskytuje základní funkce pro inicializaci sběrnice, čtení a zápis dat a správu komunikace s jednotlivými zařízeními.
- **DallasTemperature** - Knihovna DallasTemperature je postavena nad knihovnou 1-Wire a poskytuje vyšší úroveň abstrakce pro snadné použití teplotních senzorů řady DS18B20 a podobných. Umožňuje snadné načítání teploty z jednoho nebo více senzorů připojených k 1-Wire sběrnici. Zahrnuje funkce pro inicializaci senzorů, čtení teplotních hodnot, nastavení rozlišení a řízení parazitního napájení. Knihovna DallasTemperature poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní pro práci s teplotními senzory a usnadňuje integraci do různých projektů, jako jsou termostaty, teploměry, monitorování teploty a další aplikace, které vyžadují měření teploty.

4.1.2 Vývojový diagram

Vývojový diagram níže 4.1 poskytuje ucelený přehled procesů provozu IoT zařízení, které je popsáno v následujících odstavcích. Znázorňuje průběh operací od počáteční inicializace až po běžný provoz, včetně reakcí na potenciální selhání připojení.



Obr. 4.1: Vývojový diagram programu

4.1.3 Konfigurace počátečního nastavení

Funkce *setup* je zavolána jednou na začátku provozu zařízení, aby bylo zajištěno správné nastavení hardwaru a komunikačních služeb, což je nezbytné pro stabilní a efektivní fungování zařízení. Proces začíná inicializací sériové komunikace pomocí příkazu *Serial.begin*, který nastavuje komunikační rychlost na 115200 bps, umožňující ladění programu a monitorování jeho chodu v reálném čase. Následně se pomocí funkce *pinMode* nastaví LED diody na příslušných pinech jako výstupní, což umožňuje signalizaci různých stavů zařízení, jako jsou připojení k síti a různé druhy chyb. Pro připojení k Wi-Fi síti je ESP8266 nastaveno do režimu stanice (STA) příkazem *WiFi.mode* a následně je spuštěn pokus o připojení k síti pomocí *WiFi.begin(ssid, password)*. Během pokusu o připojení se provádí kontrola stavu připojení a v případě potřeby se signalizuje stav blikáním žluté LED. Po úspěšném připojení nebo identifikaci problémů, jako je chybné heslo nebo nedostupnost SSID, jsou tyto stavy reportovány přes sériový port a v případě potřeby je zařízení restartováno pomocí *ESP.reset*. Součástí počátečního nastavení je také inicializace NTP klienta pro synchronizaci času a spuštění teplotních senzorů, což zajišťuje, že zařízení má přesný čas a je schopno monitorovat teplotní podmínky.

4.1.4 Čas a časové zóny

V další části se program zabývá nastavením a synchronizací času pomocí NTP klienta a správou časových zón. Inicializace NTP klienta probíhá pomocí funkce *timeClient.begin*, která nastavuje spojení s NTP serverem *pool.ntp.org* a zajišťuje pravidelnou aktualizaci systémového času. Časová zóna, ve které zařízení operuje, je definována s přesnými pravidly pro letní a zimní čas, což umožňuje automatické přepínání mezi středoevropským letním časem (CEST) a středoevropským časem (CET) podle aktuálního data a času. Toto je realizováno pomocí objektu *Timezone*, který přijímá dva parametry pro letní a zimní časové změny, a umožňuje tak dynamické úpravy časového posunu. Tyto mechanismy zajišťují, že zařízení vždy pracuje s přesným lokálním časem.

4.1.5 Konfigurace senzorů

Poté se program soustředí na nastavení a používání teplotních senzorů, které jsou připojeny prostřednictvím 1-Wire komunikačního rozhraní. Inicializace komunikace s teplotním senzorem je realizována pomocí instance 1-Wire, která je vytvořena pro konkrétní GPIO pin určený pro připojení teplotního senzoru. Následně je přes tento 1-Wire interface inicializován teplotní senzor pomocí knihovny *DallasTemperature*.

Tento proces zahrnuje spuštění komunikace s čidlem a jeho konfiguraci pro pravidelné vyčítání teplotních dat. Po úspěšném nastavení jsou senzory připraveny k periodickému vyčítání teplot, kde každé čtení je prováděno na základě definovaného časového intervalu v hlavní smyčce programu.

4.1.6 Hlavní smyčka programu

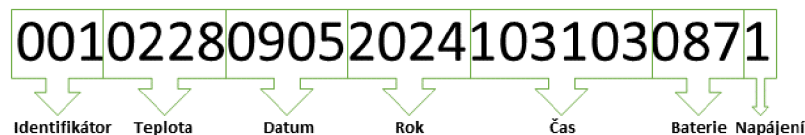
Funkce *loop* je základní smyčka, která se opakuje v nekonečném cyklu po dobu provozu mikrokontroléru ESP8266. Tato smyčka zajišťuje pravidelné vykonávání všech důležitých úloh.

- **Zjištění aktuálního času** - Na začátku každého cyklu smyčky se pomocí *millis* získá aktuální čas v milisekundách.
- **Kontrola času pro měření** - Srovnání aktuálního času s časem uloženým v proměnné *previousMillis* určí, zda uplynul interval pro další měření nebo jestli ještě nebylo provedeno první měření.
- **Aktualizace časovače pro měření** - Pokud je čas na měření, proměnná *previousMillis* se aktualizuje na aktuální hodnotu časovače.
- **Čtení a aktualizace teploty** - Spustí se funkce *senzoryDS.requestTemperatures* pro zahájení měření teploty.
- **Měření napětí baterie** - Analogový vstup z pinu A0 se čte a převede na hodnotu napětí a z té na procentuální stav nabití baterie.
- **Aktualizace a synchronizace času** - Synchronizace času s NTP serverem pomocí *timeClient.update* zajišťuje, že systémový čas je přesný.
- **Kontrola stavu Wi-Fi připojení** - Provádí se průběžná kontrola stavu Wi-Fi připojení. Pokud je připojení ztraceno, smyčka reaguje podle nastavených pravidel pro opětovné připojení nebo zpracování chyb.
- **Odeslání a ukládání dat** - Pokud je WiFi připojení aktivní, odesílají se akumulované zprávy a nově generovaná data. V případě, že není dostupné připojení k WiFi, nová data se ukládají do pole *ulozeneZpravy* pro pozdější odeslání až do limitu kapacity pole.
- **Nastavení indikátoru pro první měření** - Po provedení všech operací se nastaví *initialMeasurementDone* na true, což označuje, že první měření bylo úspěšně dokončeno.

4.1.7 Protokol pro export dat

Na základě dohody s vývojářem serverové části byl vypracován protokol, který jednoznačně identifikuje zařízení, datum, čas, naměřenou hodnotu, stav baterie a zdroj napájení. Struktura tohoto protokolu je následující.

- **Identifikátor zařízení** - Identifikátor zařízení je převeden na řetězec a doplněn nulami na začátku, aby měl vždy délku alespoň tři znaky. Tato normalizace zajišťuje, že identifikátor zařízení má vždy standardizovanou délku bez ohledu na to, jak dlouhý původní identifikátor byl. Identifikátor zařízení je klíčový pro jednoznačnou identifikaci v síti a umožňuje serveru přesně určit zdroj dat.
- **Teplota** - Nejprve se zkontroluje, zda je zařízení připojeno. V případě, že není, je použita speciální hodnota „0999“ k reprezentaci odpojení zařízení. Pokud je zařízení připojeno a teplotní hodnota je k dispozici, provede se výpočet reprezentace teploty. Teplota je vynásobena deseti pro převedení na celé číslo. Pokud teplota není odpojena, formátování teploty zahrnuje přidání indikace znaménka na začátek řetězce. Pokud je teplota záporná, na začátek řetězce se přidá „1“, v opačném případě se přidá „0“. Poté se absolutní hodnota teploty vynásobená deseti převede na řetězec. Pokud je délka řetězce reprezentující teplotu menší než čtyři znaky, jsou na začátek řetězce přidány nuly, dokud nedosáhne délky čtyř znaků.
- **Datum a čas** - Datum a čas jsou formátovány do jednoho dlouhého řetězce. Kód bere den, měsíc, hodiny, minuty a sekundy. Pokud je hodnota menší než deset, je přidána nula, aby byl zachován konzistentní dvoumístný formát.
- **Indikátor napětí** - Jako první se přečte analogová hodnota z pinu A0, ke kterému je připojena baterie. Tato hodnota je následně převedena na odpovídající napětí, což je podkladem pro výpočet procentuálního nabití baterie. Pokud není zařízení připojeno nebo je napětí menší než 0,5 V, což indikuje, že chybí baterie nebo je vadná, je použita speciální hodnota „000“ k reprezentaci. Pokud je zařízení připojeno a napětí je v normálním rozsahu, vypočítá se procentuální úroveň nabití na základě rozsahu napětí od 1,8 V do 3 V. Následně se provede výpočet úrovně nabití baterie, a to vynásobením rozdílu mezi naměřeným napětím a minimálním napětím s následným vydělením rozdílem mezi maximálním a minimálním napětím. Výsledek se převede na celé číslo představující procentuální hodnotu nabití. Výsledná hodnota je nakonec převedena na textový řetězec, který má vždy tři znaky. To je zajištěno tak, že se na začátek řetězce přidají nuly, pokud je jeho délka menší než tři znaky.
- **Detekce zdroje napájení** - K detekci zdroje napájení se využívá pin číslo 5. Provádí se ověření, zda je na tomto pinu přítomno napětí. Přítomnost napětí na pinu signalizuje, že napájení je zajišťováno přes USB. V případě absence napětí se předpokládá, že napájení probíhá z baterie. Na základě výsledků této kontroly se nastavuje indikátor: hodnota „1“ značí, že napájení je zajištěno přes USB, hodnota „3“ naznačuje, že zařízení je napájeno z baterie s připojením k WiFi, a hodnota „0“ značí, že zařízení je napájeno z baterie bez připojení k WiFi.



Obr. 4.2: Vytvořený protokol s popisem

4.1.8 WiFi statusy

Pomocí knihovny ESP8266WiFi.h jsou v kódu integrovány funkce pro správu WiFi připojení. Tato funkcionality umožňuje zařízení ESP8266 připojit se k WiFi síti a komunikovat s ostatními zařízeními v síti. Pro správnou funkci a řízení připojení k síti jsou využívány různé stavy WiFi spojení, které umožňují zařízení reagovat na různé situace, jako je úspěšné nebo neúspěšné připojení. Uvedené stavy poskytují informace o stavu WiFi modulu a umožňují řízení chování zařízení v závislosti na aktuálním stavu připojení.

- **WL_CONNECTED** - Tento stav značí, že ESP8266 je úspěšně připojeno k WiFi síti pomocí zadaného SSID a hesla. Pokud je tento stav detekován, zobrazí se informace o připojení, včetně přidělené IP adresy.
- **WL_NO_SSID_AVAIL** - Tento stav indikuje, že konfigurované SSID není dostupné v dosahu zařízení. To znamená, že zařízení nemůže najít WiFi síť se zadaným názvem (SSID).
- **WL_CONNECT_FAILED** - Tento stav nastává, když zadané heslo pro WiFi síť není správné nebo není přijato. To znamená, že připojení k WiFi síti bylo neúspěšné kvůli nesprávnému heslu.
- **WL_IDLE_STATUS** - Stav označuje, že WiFi modul je v procesu přepínání mezi různými stavy. Může se například jednat o přechod z módu připojení na WiFi do módu zastavení (idle) nebo naopak.[24]

4.1.9 LED signalizace

V rámci této bakalářské práce byla implementována LED signalizace pro indikaci různých stavů a procesů v zařízení založeném na platformě ESP8266. LED dioda slouží k vizuálnímu upozornění na aktuální stav WiFi připojení a funkčnost teplotního senzoru. Každá barva a způsob blikání LED má specifický význam, který umožňuje uživateli snadno identifikovat běžící procesy a případné problémy bez nutnosti přístupu k dalším diagnostickým nástrojům. Tato funkce je zásadní pro efektivní interakci s zařízením, zejména v situacích, kdy není k dispozici jiné uživatelské rozhraní.

- **Zelená** - Bliká zelenou barvou při úspěšném připojení k WiFi. Toto blikání se provádí třikrát, kdy LED svítí zeleně po dobu 200 ms a pak je vypnutá po dobu 200 ms.
- **Žlutá** - Bliká žlutou barvou během čekání na připojení k WiFi. Toto blikání se provádí ve smyčce, kde LED svítí žlutě po dobu 200 ms a pak je vypnutá po dobu 200 ms.
- **Modrá** - Bliká modrou barvou, pokud konfigurované SSID WiFi sítě není dostupné. Blikání probíhá třikrát po sobě s intervaly, kdy LED je zapnutá na 200 ms a vypnutá na 200 ms.
- **Červená** - Bliká červenou barvou, pokud je zadáno nesprávné heslo WiFi sítě. Blikání probíhá třikrát po sobě, kde LED je zapnutá na 200 ms a vypnutá na 200 ms. Svítí nepřetržitě, pokud je teplotní senzor odpojený, s následným vypnutím po třech sekundách.
- **Fialová** - Blikání fialovou barvou nastává, když je WiFi ve stavu změny mezi různými stavy. Blikání probíhá třikrát po sobě, kde obě LED jsou zapnuté na 200 ms a vypnuté na 200 ms.

4.1.10 Správa a přenos dat

Zpráva je posílána pomocí protokolu UDP. Nejprve je definována funkce pro odeslání zprávy, která přijímá textový řetězec jako vstupní parametr. Následně se inicializuje objekt pro komunikaci pomocí UDP. Poté, co je zpráva odeslána na určenou IP adresu a port, je vypsáno potvrzení o úspěšném odeslání do sériového monitoru. Pro zkrácení doby připojování a úsporu energie byla použita statická IP adresa. Pokud je zařízení připojeno k WiFi, kód projde uložené zprávy a pošle je všechny na předem určenou adresu a port. Poté odešle aktuální zprávu, která je uložená v proměnné. Pokud není zařízení připojeno k WiFi, zpráva se uloží do pole pro pozdější odeslání, pokud je připojení k dispozici. Toto pole má maximálně 24 položek.

```

...
WiFi connected
IP address:
192.168.1.164

Connected, IP address:
192.168.1.164
Zpráva odeslána: 001231090520241401570821

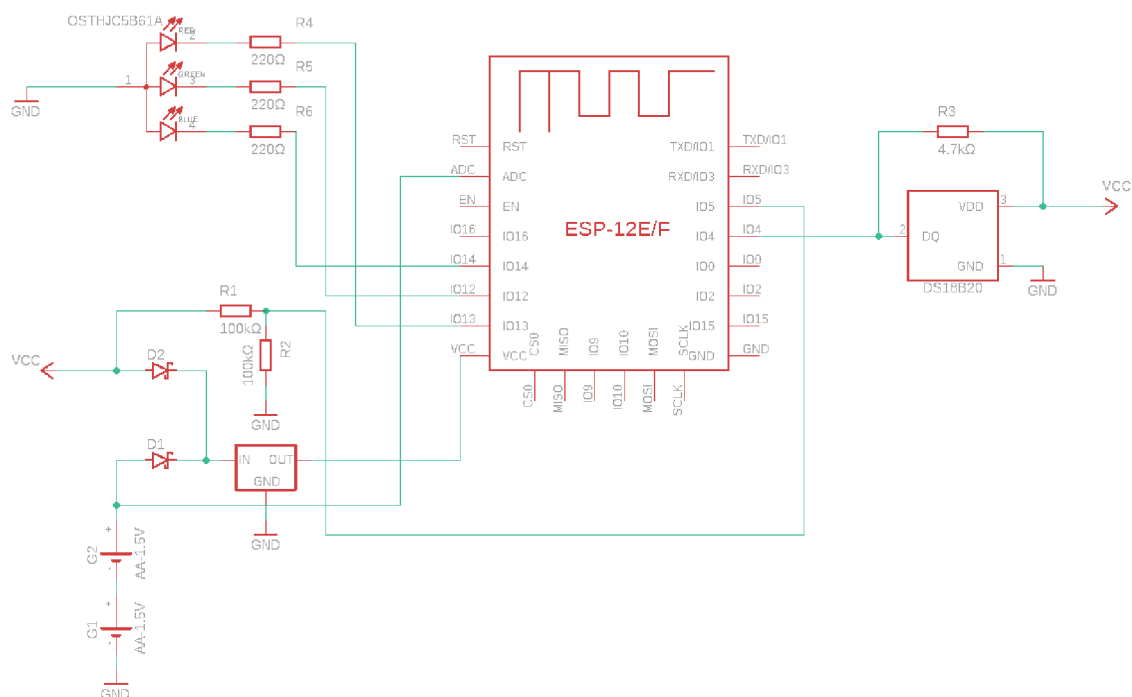
Connected, IP address:
192.168.1.164
Zpráva odeslána: 001231090520241402160821

```

Obr. 4.3: Ukázka posílání zpráv v sériovém monitoru

4.2 Elektrické schéma zapojení

Návrh zapojení byl realizován v programu EAGLE, což je software široce uznávaný pro návrhy tištěných spojů a elektronických obvodů. Hlavním prvkem zapojení je modul ESP-12E z rodiny ESP8266, který je významný svou schopností připojení k WiFi sítím. Pro zjednodušení návrhu a sestavení byla použita vývojová deska Wemos D1, která integruje modul ESP-12E. Tato deska poskytuje nejen WiFi konektivitu, ale také jednoduchost použití v rámci různých aplikací IoT.



Obr. 4.4: Elektrické schéma zapojení, mikrokontrolér je vyobrazen jako funkční blok

4.2.1 Napájecí obvod

Hlavní komponenty napájecího obvodu zahrnují dvě Schottkyho diody, které slouží jako ochrana proti zpětnému proudu. Toto řešení umožňuje bezpečné kombinování napájení z USB a baterií, které jsou označeny jako G1 a G2 na schématu, aniž by hrozilo poškození obvodu při současném připojení obou zdrojů. Tyto diody efektivně izolují napájecí cesty a zabraňují problémům spojeným s potenciálním konfliktem napájecích zdrojů.

Dále je v obvodu použit měnič napětí, který konvertuje vstupní napětí na stabilní výstup 3.3V potřebný pro provoz modulu ESP-12E a ostatních komponent. Tento měnič nejenže stabilizuje napětí, ale také chrání elektronické součástky před

možnými napětovými špičkami a fluktuacemi, což je klíčové pro bezproblémovou a spolehlivou funkci systému.

Rezistory R1 a R2 slouží jako napěťový dělič, protože na GPIO pinu lze detekovat maximálně 3.3V, zatímco USB poskytuje 5V. Tímto způsobem je zajištěno, že napětí přiváděné na GPIO pin nepřekročí bezpečnou úroveň 3.3V, čímž se chrání samotný pin a připojené elektronické součástky před poškozením.

4.2.2 Obvod senzoru a diody

V zapojení je klíčovým prvkem teplotní senzor DS18B20, který se vyznačuje svou schopností poskytovat přesné a digitálně kódované teplotní údaje. Senzor je připojen jedním datovým vodičem k mikrokontroléru, což zjednodušuje zapojení a minimalizuje počet potřebných vodičů pro komunikaci. V zapojení je také rezistor R3, který slouží jako pull-up rezistor pro datový pin, což je nezbytné pro správnou funkci 1-Wire komunikačního protokolu, který senzor používá.

Dále je součástí zapojení LED dioda, která má za úkol signalizovat různé operační stavy systému, jako jsou WiFi spojení nebo jiné důležité systémové události. Pro správné fungování diody jsou použity rezistory R4, R5 a R6, které omezují proud tekoucí skrze LED a tím chrání diodu před přetížením, zároveň umožňují nastavení jasu diody podle potřeb aplikace.

4.3 Energetická náročnost

Spotřeba energie ESP8266 se výrazně liší v závislosti na jeho pracovním režimu. V režimu hlubokého spánku může být spotřeba méně než 20 μ A, což je výhodné pro bateriově napájené projekty, kde je klíčové šetřit energii. Při připojování k WiFi síti, zejména během inicializace, může být spotřeba až 170 mA. V aktivním režimu přenosu dat je typická spotřeba okolo 70 mA při 3,3V. V klidovém režimu bez aktivního přenosu dat se spotřeba pohybuje kolem 15-20 mA.[1, 9]

Optimalizace spotřeby ESP8266 tedy vyžaduje pečlivé řízení režimů spánku a aktivního vysílání, aby se minimalizovalo energetické zatížení a prodloužila se životnost baterie. Tyto údaje se však týkají pouze samotného čipu ESP8266. V našem projektu je použita deska WeMos D1, teplotní senzor DS18B20, LED dioda, měnič napětí a další periferie jako například rezistory. Celková spotřeba systému bude tedy vyšší.

Při teoretickém výpočtu maximální doby provozu zařízení s průměrnou spotřebou 70 mA bychom vzali v úvahu skutečnost, že LED dioda svítí pouze 3 sekundy za hodinu, což zanedbatelně ovlivňuje celkovou spotřebu. Zařízení je napájeno dvěma bateriemi AA zapojenými sériově, což znamená, že celková kapacita zůstává 2500

mAh. Tedy zařízení by teoreticky mělo vydržet přibližně 36 hodin provozu s průměrnou spotřebou 70 mA.

Využití režimu hlubokého spánku s odběrem 0,2 μA by umožnilo zařízení probouzet se každou hodinu, přičemž by bylo aktivní přibližně 8 sekund s odběrem 70 mA. Tímto způsobem by bylo možné dosáhnout výdrže přibližně 668 dní na dvě AA baterie s kapacitou 2500 mAh. Nicméně, nikdy nevyužijeme 100% kapacity baterie. Dalším faktorem je proměnlivá délka setrvání zařízení v aktivním režimu, která je způsobena kolísáním doby připojování k lokální síti. Navíc samovolné vybíjení baterie ukázalo, že baterie neumožňuje využití celé své kapacity a postupně ztrácí akumulovaný náboj. Reálná výdrž zařízení by tedy byla odhadem přibližně 600 dní.

Implementace režimu spánku by však vyžadovala přidání RTC modulu pro udržení přesného času z NTP, což by znamenalo další náklady a zvýšení komplexity systému. Tento modul by vyžadoval samostatné napájení a monitorování jeho baterie, což by ještě více komplikovalo celkový design a údržbu zařízení. Vzhledem k těmto faktorům bylo po konzultaci s vedoucím práce rozhodnuto nezařadit režim spánku do finálního designu zařízení.

$$t_{\max} = \frac{C_{\text{bat}}}{I_{\text{prum}}} = \frac{2500 [\text{mAh}]}{I_{\text{prum}} [\text{mA}]} \quad (4.1)$$

5 Ověření funkčnosti zařízení

Bylo ověřeno, že popsaný protokol pro zařízení funguje správně ve spolupráci se serverovou částí. Testování zahrnovalo několik klíčových funkcí a procesů, které byly úspěšně ověřeny.

- **Přidávání nul** - Bylo zajištěno, že teplotní hodnoty, identifikátor zařízení a procenta baterie jsou správně formátovány přidáním nul na začátek řetězce, dokud nedosáhnou požadované délky. Tento proces byl ověřen a funguje podle očekávání.
- **LED signalizace** - LED diody byly použity pro signalizaci různých stavů zařízení. Červená signalizuje odpojení teplotního senzoru, zelená úspěšné připojení k WiFi, modrá nedostupnost konfigurované SSID a fialová signalizuje změnu stavu WiFi. Všechny tyto signalizace byly úspěšně ověřeny.
- **WiFi připojení** - Byl ověřen proces připojení k WiFi síti. Zařízení správně rozpoznává různé stavy WiFi (připojeno, SSID nedostupné, nesprávné heslo, změna stavu) a podle toho aktivuje příslušnou LED signalizaci. Data jsou odesílána, pokud je zařízení připojeno. Pokud WiFi není dostupná, zprávy jsou uloženy pro pozdější odeslání.
- **Měření a formátování teploty** - Teplotní hodnoty jsou měřeny a formátovány s indikací znaménka. Pokud je teplotní senzor odpojen, teplotní hodnota je nastavena na „0999“. Tento proces byl také úspěšně ověřen.
- **Převod analogových hodnot** - Hodnota napětí baterie byla správně převedena z analogové hodnoty na napětí a následně na procenta. Tento proces byl úspěšně ověřen a zajišťuje správnou indikaci stavu baterie.
- **Detekce zdroje napájení** - Byla úspěšně ověřena detekce zdroje napájení. Zařízení správně rozpoznává, zda je napájeno z USB nebo z baterie. V závislosti na stavu WiFi připojení pak signalizuje stav napájení (USB, baterie s připojením k WiFi, nebo baterie bez připojení k WiFi).
- **Formátování data a času** - Datum a čas jsou správně formátovány do řetězce ve tvaru DDMMYYYYHHMMSS. Tento formát zajišťuje jednoznačnou identifikaci času měření.

5.1 Testování v různých podmínkách

5.1.1 Měření v chladničce

Pro ověření funkčnosti zařízení v různých podmínkách bylo první zařízení umístěno do chladničky, která má 4°C. Cílem tohoto testu bylo zjistit, zda chladnička funguje jako Faradayova klec, která by mohla blokovat signál a zabránit přenosu dat. Po

umístění zařízení do chladničky bylo zjištěno, že data byla stále úspěšně odesílána. Tento výsledek naznačuje, že chladnička nefunguje jako Faradayova klec a nebrání přenosu signálu. Toto zjištění je důležité pro pochopení, jak se zařízení bude chovat v různých prostředích a podmínkách, které mohou ovlivnit jeho schopnost přenosu dat.

5.1.2 Měření v mrazničce a teplé místnosti

Pro otestování zařízení v extrémních a minusových hodnotách bylo zařízení umístěno do mrazničky, která má -18°C . Bylo zjištěno, že data byla stále úspěšně odesílána, což naznačuje, že mraznička nefunguje jako Faradayova klec a nebrání přenosu signálu.

Následně bylo zařízení vyzkoušeno v serverové místnosti, kde byla vyšší než pokojová teplota, okolo 26°C , kvůli tepelnému výkonu ostatních zařízení. I v těchto podmínkách vše fungovalo správně a data byla úspěšně odesílána.

5.2 Srovnání s validovaným teploměrem

Pro přesné měření teplotního senzoru DS18B20 byly prováděny srovnávací testy s certifikovaným teploměrem. Testování zahrnovalo umístění obou zařízení do stejného prostředí a následné zaznamenávání teplotních hodnot v pravidelných intervalech. Výsledky ukázaly, že hodnoty poskytované senzorem DS18B20 byly velmi blízké těm z certifikovaného teploměru, s maximálním rozdílem 0.2°C , což potvrzuje jeho spolehlivost a přesnost. Přestože byly zaznamenány drobné odchylky, byly tyto v rámci přijatelné tolerance pro většinu praktických aplikací. Testy byly prováděny v různých teplotních podmínkách, aby bylo zajištěno, že senzor DS18B20 je schopen přesně měřit teplotu v širokém rozsahu hodnot.

6 Diskuze

Pro návrh zařízení pro automatické zaznamenávání teploty prostředí pro uložení léčiv bylo nezbytné prostudovat legislativu SÚKL, která stanovuje přísné požadavky na monitorování teplotních podmínek při skladování a přepravě léčiv. Měřicí zařízení musí pravidelně zaznamenávat teplotu v nastavených intervalech a být pravidelně kalibrováno pro zajištění přesnosti měření. Léčiva musí být skladována v prostředí, kde teplota nepřesahuje specifikované limity, což vyžaduje přesné a spolehlivé údaje o teplotě. Při přepravě léčiv musí být teplotní podmínky nepřetržitě monitorovány a v případě překročení limitů musí být poskytnuto okamžité upozornění.

Při návrhu zařízení byla pro jednodušší realizaci zvolena platforma WeMos D1, která integruje čip ESP8266 na vývojové desce. Tato deska usnadňuje nahrávání kódu a poskytuje další užitečné funkce, které by jinak bylo nutné implementovat samostatně. Je však možné realizovat zařízení i samotným čipem ESP8266, což by mohlo dále snížit spotřebu energie. Čip ESP8266 je energeticky úspornější ve srovnání například s ESP32, což je výhodné pro bateriově napájené aplikace.

Snímačem teploty byl zvolen senzor DS18B20, který je dostupný v různých variantách, včetně vodotěsného provedení v kabelu. Tím je umožněno flexibilní umístění senzoru podle konkrétních požadavků prostředí, ve kterém je zařízení používáno.

V obvodu byl použit měnič napětí, který konvertuje vstupní napětí na stabilní výstup 3.3V potřebný pro provoz modulu ESP-12E a ostatních komponent. Při první realizaci byl použit měnič s menším výstupním proudem, který nestačil po přidání dalších periférií, jako je LED dioda. Proto byl nahrazen měničem s vyšším výstupním proudem, vstupní napětí může dosahovat až 5.5V, což umožňuje použití většího pouzdra pro více baterií. Nejlepší možností by byla výměna za dobíjecí baterie, což by vedlo ke složitějšímu napájecímu systému, ale zvýšilo by to udržitelnost a uživatelskou přívětivost zařízení.

Pro správnou funkci zařízení je nezbytné, aby bylo schopno synchronizovat datum a čas pomocí protokolu NTP. Tato synchronizace zajišťuje, že všechny zaznamenané teplotní hodnoty budou opatřeny přesným časovým razítkem. Data jsou exportována v nastavených intervalech a protokol obsahuje jednoznačný identifikátor zařízení, datum, čas a naměřenou hodnotu teploty. Protokol UDP byl zvolen pro svou jednoduchost, ale bylo by možné použít i jiné protokoly, například TCP, který nabízí vyšší spolehlivost přenosu.

Zařízení bylo zkoušeno s režimem spánku, ale byl zaznamenán problém s časovým razítkem, které nebylo možné získat, pokud nebyla zrovna dostupná WiFi. Tento problém by mohl být vyřešen použitím RTC modulu pro udržení přesného času. Dalším omezením byla EEPROM na ESP8266, která má omezenou kapacitu a omezený počet zápisů, což ji činí nevhodnou pro časté ukládání dat. Proto by

bylo ideální přidat nějaké úložiště, jako například disk, kde by byla data zapisována. S tímto přídavkem by zařízení bylo velmi úsporné pro měření v podmínkách, kde není dostupné napájení ze sítě.

Při testování se ukázalo, že zařízení velmi dobře funguje ve spojení se serverovou částí i v extrémních podmínkách. Bylo zjištěno, že zařízení je schopné správně zaznamenávat a odesílat data jak při nízkých teplotách v mrazničce, tak při vyšších teplotách v serverové místnosti. Zařízení prokázalo spolehlivost a přesnost měření teplot v širokém rozsahu podmínek, což potvrzuje jeho vhodnost pro monitorování teploty při skladování léčiv.

Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na návrh a realizaci zařízení pro automatizované monitorování teploty s bezdrátovým odesláním dat na server pomocí WiFi sítě. Práce zahrnovala podrobnou analýzu legislativních požadavků, návrh systémové architektury, výběr vhodných hardwarových a softwarových komponent a implementaci celého systému.

V první části práce byla provedena analýza legislativy Státního ústavu pro kontrolu léčiv SÚKL, která stanovuje přísné požadavky na monitorování teplotních podmínek při skladování a přepravě léčiv. Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení schopné pravidelně zaznamenávat teplotu, uchovávat záznamy a poskytovat okamžitá upozornění v případě překročení stanovených limitů.

Následně byl vybrán mikrokontrolér ESP8266 integrovaný na desce WeMos D1 pro jeho spolehlivost a energetickou úspornost, což je klíčové pro bateriově napájené aplikace. Pro snímání teploty byl zvolen senzor DS18B20, který je dostupný v různých variantách, včetně vodotěsného provedení, umožňujícího flexibilní umístění senzoru.

Implementace zahrnovala také komunikaci pomocí protokolu UDP a synchronizaci času pomocí NTP serveru. Závěrečná kapitola se věnovala programové realizaci zařízení, která zahrnovala podrobný popis zapojení jednotlivých komponent, implementaci energeticky úsporných opatření a ověření funkčnosti zařízení v různých provozních podmínkách.

Testování ukázalo, že zařízení je schopno spolehlivě zaznamenávat a odesílat teplotní data i v extrémních podmínkách, jako jsou nízké teploty v mrazničce nebo vyšší teploty v serverové místnosti. Zařízení prokázalo svou vhodnost pro monitorování teploty při skladování léčiv, čímž splnilo všechny stanovené cíle.

Literatura

- [1] AKINTADE, Olubiyi O.; YESUFU, Thomas K. a KEHINDE, Lawrence O., 2019. Development of Power Consumption Models for ESP8266-Enabled Low-Cost IoT Monitoring Nodes. Online. *Advances in Internet of Things*. Roč. 09, č. 01, s. 1-14. ISSN 2161-6817. Dostupné z: <https://doi.org/10.4236/ait.2019.91001>. [cit. 2024-05-21].
- [2] BADAMASI, Yusuf Abdullahi, 2014. The working principle of an Arduino. Online. In: *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*. IEEE, s. 1-4. ISBN 978-1-4799-4106-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>. [cit. 2023-10-22].
- [3] *Bateriový box na dvě baterie AA - 3V*, © ECLIPSERA. Online. In: DRÁTEK.CZ. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/932-bateriovy-box-3v.html>. [cit. 2024-05-21].
- [4] *Co čeká IoT v roce 2023? Trendy a předpoklady*, 2022. Online. IoTPORT. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/co-ek-iot-v-roce-2023-trendy-a-pedpoklady>. [cit. 2023-11-05].
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 229/2008 Sb.: vyhláška o výrobě a distribuci léčiv. In: Sbírka zákonů. 2008, 73/2008.
- [6] *České Radiokomunikace*, © 2024. Online. Dostupné z: <https://www.cra.cz/ict-reseni/iot-internet-veci>. [cit. 2024-05-21].
- [7] *Dioda 1N5818 schottky*, ©2024. Online. In: KONDIK.cz. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/dioda-1n5818-schottky/>. [cit. 2024-05-21].
- [8] DRÁTEK NÁVODY. Online. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/esp8266-vyvojova-deska-wemos-d1.html>. [cit. 2023-10-21].
- [9] *ESP8266EX: Datasheet*, © 2023. Online. In: ESPRESSIF. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. [cit. 2024-05-19].
- [10] *ESP32: Získání času a data ze NTP serveru*, c2016-2023. Online. In: Fyzikální kabinet FyzKAB. Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/ESP32/ESP32-ntp/ESP32-a-NTP-server.php>. [cit. 2023-11-30].

- [11] *INTERNET VĚCÍ (IOT): DEFINICE, PŘÍKLADY VYUŽITÍ, PRODUKTY*. Online. Rascasone. 03.05.2023. Dostupné z: <https://www.rascasone.com/cs/blog/iot-internet-veci-definice-produkty-historie>. [cit. 2023-11-05].
- [12] *Introductory Guide to Tuning Your TCP and UDP Performance*, ©2023. Online. In: SUBSPACE. Dostupné z: <https://subspace.com/resources/tune-tcp-udp-performance>. [cit. 2024-01-02].
- [13] JAKLIC, Ales, 2020. IoT as an Introduction to Computer Science and Engineering: A Case for NodeMCU in STEM-C Education. Online. In: *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE, s. 91-95. ISBN 978-1-7281-0930-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125356>. [cit. 2023-10-27].
- [14] LEE, Suk; BAE, Mungyu a KIM, Hwangnam, 2017. Future of IoT Networks: A Survey. Online. *Applied Sciences*. Roč. 7, č. 10. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app7101072>. [cit. 2023-11-05].
- [15] MADAKAM, Somayya; RAMASWAMY, R. a TRIPATHI, Siddharth, 2015. Internet of Things (IoT): A Literature Review. Online. *Journal of Computer and Communications*. Roč. 03, č. 05, s. 164-173. ISSN 2327-5219. Dostupné z: <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>. [cit. 2023-11-02].
- [16] *OptoSupply OSTHJC5B61A LED 5mm, RGB*, © 2004 - 2024. Online. In: GMELECTRONIC. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1492094/optosupply-osthjc5b61a-led-5mm-rgb>. [cit. 2024-05-21].
- [17] PENG, Haishen, 2012. WIFI network information security analysis research. Online. In: *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*. IEEE, s. 2243-2245. ISBN 978-1-4577-1415-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/CECNet.2012.6201786>. [cit. 2023-12-29].
- [18] *Pololu 3.3V Step-Up Voltage Regulator U1V10F3*, © 2001—2024. Online. In: Pololu Robotics and Electronics. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2563>. [cit. 2024-05-21].
- [19] *Seven Pro Tips for ESP8266*, © 2024. Online. In: Autodesk Instructables. Dostupné z: <https://www.instructables.com/ESP8266-Pro-Tips/>. [cit. 2024-05-21].
- [20] STÁTNÍ ÚSTAV PRO KONTROLU LÉČIV, 2019. *DIS-15 verze 4*. Online. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/dis-15-verze-4>. [cit. 2024-05-14].

- [21] *2203071530_UMW-Youtai-Semiconductor-Co—Ltd-DS18B20_C376006.pdf*, © 2024. Online. In: Pájeníčko.cz. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/digitalni-cidlo-teploty-dallas-ds18b20>. [cit. 2024-05-19].
- [22] *Vývojová deska WeMos D1*, cECLIPSE s.r.o.. Online. In: ECLIPSE. DRÁTEK.CZ. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/1/1226/1478466175.pdf>. [cit. 2023-12-29].
- [23] WANG, Ming-Hung; CHEN, Lung-Wen; CHI, Po-Wen a LEI, Chin-Laung, 2017. SDUDP: A Reliable UDP-Based Transmission Protocol Over SDN. Online. *IEEE Access*. Roč. 5, s. 5904-5916. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2693376>. [cit. 2023-12-29].
- [24] *WiFi - WiFi.status()*, © 2024. Online. In: Arduino. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/wifi.status/>. [cit. 2024-05-21].

Seznam symbolů a zkratek

SÚKL	Státní Ústav pro kontrolu léčiv
IoT	Internet of Things – Internet věcí
TCP	Transmission Control Protocol – Protokol řízení přenosu
IP	Internet Protocol – Internetový protokol
UDP	User Datagram Protocol – Uživatelský datagramový protokol
NTP	Network Time Protocol – Síťový protokol času
GPS	Global Positioning System – Globální polohový systém
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol – Jednoduchý protokol pro přenos elektronické pošty
POP3	Post Office Protocol version 3 – Protokol poštovní kanceláře verze 3
IMAP	Internet Message Access Protocol – Internetový protokol pro přístup ke zprávám
WiFi	Wireless Fidelity – Bezdrátová síť
UTC	Coordinated Universal Time – Koordinovaný světový čas
LED	Light Emitting Diode – Elektroluminiscenční dioda
RGB	Red, Green, Blue – Červená, Zelená, Modrá
USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
GPIO	General Purpose Input/Output – Univerzální vstupní/výstupní pin
RTC	Real Time Clock – Hodiny reálného času
IDE	Integrated Development Environment – Integrované vývojové prostředí

Seznam příloh

A	Ukázky funkčnosti zařízení se serverovou částí	48
A.1	Ověření funkčnosti více zařízení	48
A.2	Test výpadku WiFi připojení	48
A.3	Varovné e-maily	49
B	Fotodokumentace výsledného zařízení	51
C	Zdrojový kód	52

A Ukázky funkčnosti zařízení se serverovou částí

A.1 Ověření funkčnosti více zařízení

Na obrázku je znázorněn tok dat z tří různých klientských zařízení na server. Každé z těchto zařízení odesílá svá data na server. Zařízení 1 bylo umístěno v chladničce, zařízení 2 v mrazničce a zařízení 3 v pokojové teplotě. Server tato data přijímá a následně po určené době odesílá e-mail na e-mailovou adresu.

Identifikátor	Teplota[°C]	Datum	Rok	Čas	Stav baterie[%]	Napájení
Zařízení 001:						
001	+23.1	22.05.	2024	22:16:09	60	sít
001	+3.4	22.05.	2024	22:46:09	60	sít
001	+3.4	22.05.	2024	23:16:09	60	sít
001	+6.6	22.05.	2024	23:46:09	60	sít
001	+2.7	23.05.	2024	00:16:09	60	sít
001	+2.7	23.05.	2024	00:46:09	60	sít
001	+6.2	23.05.	2024	01:16:09	60	sít
Zařízení 002:						
002	+15.8	22.05.	2024	22:17:27	50	sít
002	-19.3	22.05.	2024	22:47:27	50	sít
002	-22.8	22.05.	2024	23:17:27	50	sít
002	-21.0	22.05.	2024	23:47:28	50	sít
002	-21.0	23.05.	2024	00:17:28	50	sít
002	-22.0	23.05.	2024	00:47:28	50	sít
002	-18.8	23.05.	2024	01:17:28	50	sít
Zařízení 003:						
003	+24.2	22.05.	2024	22:18:26	55	sít
003	+24.2	22.05.	2024	22:48:26	55	sít
003	+24.3	22.05.	2024	23:18:26	55	sít
003	+24.2	22.05.	2024	23:48:26	55	sít
003	+24.3	23.05.	2024	00:18:26	55	sít
003	+24.1	23.05.	2024	00:48:26	55	sít
003	+23.9	23.05.	2024	01:18:26	55	sít

Obr. A.1: Poslaný e-mail od serveru

A.2 Test výpadku WiFi připojení

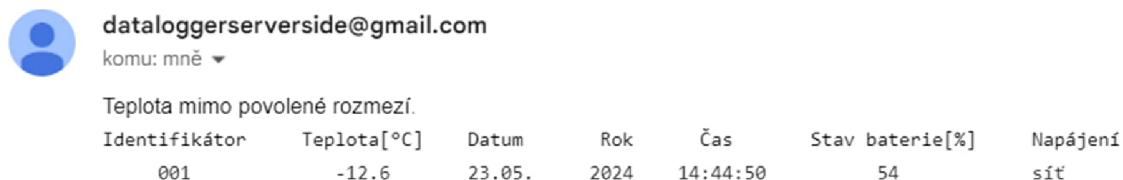
Na obrázku lze také vidět simulovaný výpadek WiFi připojení a výpadek proudu. Lze vidět, že zprávy uložené během výpadku byly odeslány na server až poté, co bylo WiFi připojení opět dostupné.

```
Aktuální čas: 21:49:04
Obsah UDP paketu: 0010247220520242149020531
Aktuální čas: 21:49:34
Obsah UDP paketu: 0010247220520242149320551
Aktuální čas: 21:51:34
Obsah UDP paketu: 0010248220520242150100310
Aktuální čas: 21:51:35
Obsah UDP paketu: 0010249220520242150400300
Aktuální čas: 21:51:36
Obsah UDP paketu: 0010248220520242151100290
Aktuální čas: 21:51:37
Obsah UDP paketu: 0010248220520242151330531
Aktuální čas: 21:52:04
Obsah UDP paketu: 0010248220520242152030541
```

Obr. A.2: Sériový monitor serveru

A.3 Varovné e-maily

Na obrázcích jsou také zobrazeny varovné e-maily, které jsou odesílány při překročení hranice teploty, problému se senzorem (když senzor neměří), změně napájení a upozornění na výměnu baterie. Tyto e-maily slouží k okamžitému informování uživatele o jakýchkoli abnormálních stavech a nutnosti provést příslušná opatření.



Obr. A.3: Překročení nastavené hranice teploty



dataloggerserverside@gmail.com

komu: mně ▾

Senzor mimo provoz.

Identifikátor	Teplota[°C]	Datum	Rok	Čas	Stav baterie[%]	Napájení
001	+99.9	18.05.	2024	11:11:26	55	sít

Obr. A.4: Problém s senzorem



dataloggerserverside@gmail.com

komu: mně ▾

Zařízení bylo odpojeno od sítě.

Identifikátor	Teplota[°C]	Datum	Rok	Čas	Stav baterie[%]	Napájení
001	24.9	15.05.	2024	21:42:03	78	baterie

Obr. A.5: Změna napájení



dataloggerserverside@gmail.com

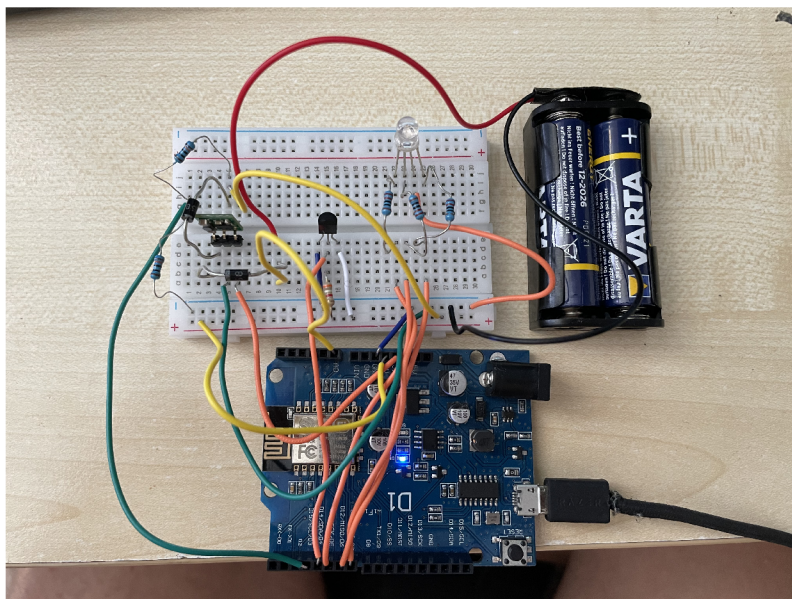
komu: mně ▾

Nízký stav baterie.

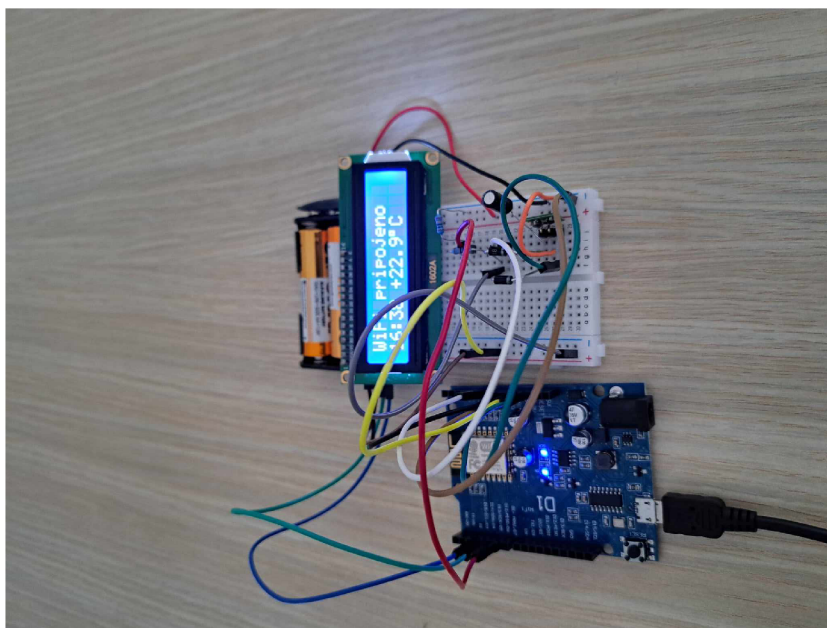
Identifikátor	Teplota[°C]	Datum	Rok	Čas	Stav baterie[%]	Napájení
001	+21.6	23.05.	2024	14:54:04	18	sít

Obr. A.6: Slabá baterie

B Fotodokumentace výsledného zařízení



Obr. B.1: Zařízení klient



Obr. B.2: Zařízení server

C Zdrojový kód

Součástí práce je komprimovaný archiv metodou Zip obsahující zdrojový kód programu v prostředí Arduino a schéma napájení vytvořené v programu Eagle.