

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních
technologií

1. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Predrag Nikolic



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**ANALÝZA ŽIVOTNOSTI BATERIOVÝCH
ZDROJŮ PRO MODULY INTERNETU VĚCÍ**

BATTERY LIFE ANALYSIS FOR IOT MODULES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Predrag Nikolic

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radim Burget, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Student: Predrag Nikolic **ID:** 211267 **Ročník:** 3 **Akademický rok:** 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Analýza životnosti bateriových zdrojů pro moduly internetu věcí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Moduly pro komunikaci v oblasti Internetu věcí (IoT) pracující na technologii LPWAN (Low Power Wide Area Network) a založené na mobilních operátorech používají technologii 4G (LTE-M/NB-IOT) nebo nově 5G. Důležitý prvek u těchto komunikačních modulů je bateriový zdroj energie. Prostudujte si vlastnosti komunikačních modulů pro IoT 4G a 5G technologií a proveďte výběr vhodných baterií s cílem dosažení nejdelší možné životnosti. Proveďte simulaci bateriového dlouholetého provozu za stanovených podmínek a vytvořte vzorec podle kterého se bude stanovovat životnost baterie při použití určitého komunikačního modulu a četnost vysílání, popř. dalších parametrů. Navrhněte možnosti prodloužení životnosti bateriového zdroje a srovnějte s existujícími nástroji.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Maddikunta, P. K. R., Srivastava, G., Gadekallu, T. R., Deepa, N., & Boopathy, P. (2020). Predictive model for battery life in IoT networks. IET Intelligent Transport Systems, 14(11), 1388-1395.
- [2] Mahmoud, M. S., & Mohamad, A. A. (2016). A study of efficient power consumption wireless communication techniques/modules for internet of things (IoT) applications.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Burget, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, 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

Hlavním cílem bakalářské práce bylo stanovení životností bateriových zdrojů pro IoT moduly. Teoretická část popisuje charakteristiky komunikačních modulů a bateriových zdrojů určených pro IoT. Praktická část práce obsahuje program pro výpočet životnosti bateriového zdroje na IoT modulu. Testování daného IoT modulu se provádí pomocí osciloskopu. Získaná data se používají pro přepočet skutečného proudového odběru modulu. Druhá praktická část práce je simulace provozu bateriového zdroje v pracovním prostředí za účelem přiblížení všech parametrů prostředí, které přímo či nepřímo ovlivňují životnost bateriového zdroje.

Abstract

The main goal of the bachelor thesis is to measure battery lifetime for IoT modules. The theoretical part describes the characteristics of IoT communication modules and battery sources designed for these devices. The practical part contains a program for calculating the battery source life on the IoT module. Current consumption has to be tested by oscilloscope. Measured data is used for recalculation of the actual current consumption. The second practical part of the thesis deals with battery source simulation in the working environment. This simulation is used to approximate all the parameters of the environment that directly or indirectly affect the life of the battery source.

Klíčová slova

IoT, Baterie, Životnost, LPWAN, NB-IoT, Python

Keywords

IoT, Battery, Life time, LPWAN, NB-IoT, Python

Bibliografická citace

NIKOLIC, Predrag. Analýza životnosti bateriových zdrojů pro moduly internetu věcí [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141231>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Radim Burget.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Nikolić Predrag
VUT ID studenta:	211267
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Analýza životnosti bateriových zdrojů pro moduly internetu věcí

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci 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:

podpis autora

Obsah

2. TEORETICKÁ ČÁST	17
2.1 KOMUNIKAČNÍ MODULY PRO INTERNET VĚCI	17
2.1.1 Hardwarové části modulu.....	17
2.1.2 Softwarové části modulu.....	18
2.2 BATERIOVÉ ZDROJE PRO MODULY INTERNET VĚCI	18
2.2.1 Typy bateriových zdrojů pro moduly internet věcí	18
2.2.2 Důležité parametry při výběru bateriových zdrojů	23
2.2.3 Porovnání bateriových zdrojů	24
2.3 PŘEHLED ZPŮSOBU STANOVENÍ ŽIVOTNOSTI BATERIOVÝCH ZDROJŮ	25
2.3.1 Výpočet životnosti založené na počtu spuštění kódu	25
2.3.2 Výpočet životnosti založené na spotřebě komponent.....	25
2.3.3 Porovnání způsobu výpočtu životnosti bateriového zdrojů	27
3. PRAKTICKÁ ČÁST	28
3.1 PROGRAM PRO STANOVENÍ ŽIVOTNOSTÍ BATERIOVÝCH ZDROJŮ	28
3.1.1 Navrch vzorce pro stanovení životnosti baterie.....	28
3.1.2 Vstupní parametry programu.....	29
3.1.3 Výstup stanovené životnosti	30
3.2 SIMULACE BATERIOVÉHO DLOUHOLETÉHO PROVOZU	31
3.2.1 Popis experimentu	31
3.2.2 Navrch hardwarů u testovacího zařízení	31
3.2.3 Navrch softwarů testovacího zařízení	33
4. VÝSLEDKY A DISKUSE	35
4.1 SIMULACE BATERIOVÉHO DLOUHOLETÉHO PROVOZU	35
5. ZÁVĚR.....	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 [15] Lithium-iontová baterie	19
Obrázek 2 [16] Lithium-iontová polymerová baterie.....	19
Obrázek 3 [17] Lithium-kobaltová baterie.....	20
Obrázek 4 [18] Lithium-manganová baterie.....	21
Obrázek 5 [19] Lithium fosfátová baterie	21
Obrázek 6 [20] Lithiová titanitová baterie.....	22
Obrázek 7 [21] Baterie Lead-Acid	22
Obrázek 8 [22] Nikl-kadmiová baterie.....	23
Obrázek 9 [23] Kalkulátor založen na počtu spuštění kódu	25
Obrázek 10 [24] Kalkulátor založen na spotřebě komponent.....	26
Obrázek 11 Zařízení používaná programem k výpočtu životnosti baterie	28
Obrázek 12 Diagram pro stanovení životnosti baterie	29
Obrázek 13 Hardwar u testovacího zařízení	32
Obrázek 14 Struktura zpracování dat modulem	33
Obrázek 15 [25] Baterie Saft LSH20.....	35
Obrázek 16 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LSH20.....	36
Obrázek 17 [25] Baterie Saft LS14500.....	37
Obrázek 18 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LS14500	37
Obrázek 19 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LS14500	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 [5] Porovnání bateriových zdrojů (první část)	24
Tabulka 2 [5] Porovnání bateriových zdrojů (druhá část)	24

ÚVOD

Digitalizace, která je na vzestupu, je stále více přítomná ve všech aspektech života. Po internetu a mobilních technologiích se digitalizace v posledních letech vyvinula v novou technologii známou jako internet věcí. Jedná se o elektronická zařízení vybavená senzory a softwarem, která mají možnost připojení k internetu. Přijímají a odesílají svá data přes internet, aby je zpracovaly, a nakonec se na jejich základě rozhodovaly.

Nicméně, pro správné a spolehlivé nasazení v průmyslových aplikacích je jednou z významných překážek, řešení napájení těchto zařízení. Napájení zařízení se často provádí pomocí baterie nebo sběrem energie. I když mnoho aplikací lze vyvíjet při extrémně nízkých úrovních výkonu, kterému technologie pro sběr energie vyhovují, mnoho dalších nejsou pro tento přístup vhodné. Požadovaný výkon zařízení může být příliš vysoký, potřeby komunikační techniky jsou příliš náročné nebo v oblasti naprosto není dost kvalitní zdroj energie. V tomto případě jsou pro napájení systému zapotřebí baterie.

Při návrhu bezdrátového IoT modulu, který je nezávislý na konstantním zdroji energie, je nutné zvolit vhodný bateriový zdroj. Musí být přizpůsoben aplikaci, pro kterou se používá, aby poskytl potřebné napájení samotnému zařízení a umožnil jeho nejdelší možnou životnost. V současnosti existuje spousta vzorců a kalkulaček, pomocí kterých můžeme získat odhad o tom, jak dlouho nám zařízení na konkrétní zdroj baterie vydrží. Jejich nevýhodou je, že při výpočtu výdrže neberou v úvahu vliv prostředí, kde se zařízení nachází, které také významně ovlivňuje nebo může ovlivnit výdrž baterie.

Cílem této práce je, vytvořit program, který bude počítat životnost modulu IoT nejen na základě jeho druhu využití a charakteristikám bateriového zdroje včetně zohlednění vlivu prostředí a ověření spolehlivosti navrženého řešení. Za tímto účelem bude provedena simulace bateriového dlouholetého provozu za stanovených podmínek. Bakalářská práce vznikla ve spolupráci se společností Utilcell, s.r.o a VUT.

Hlavním přínosem této práce je poskytnutí velmi přesné informace o výdrži IoT zařízení na konkrétním bateriovém zdroji. Zohledněny jsou parametry prostředí, ve kterém se zařízení nachází a pracuje, celková specifikace bateriového zdroje a kvalita mobilního operátora.

2. TEORETICKÁ ČÁST

S příchodem internetu se způsob, jakým navrhujeme naše elektronické systémy, hodně změnil. Od chytrých zásuvek až po velké průmyslové stroje, které využívají konektivitu jako základní součást své funkčnosti. Se zavedením nízkoenergetických senzorových systémů, které mají možnost připojení k internetu, došlo k zásadnímu posunu. Mohou měřit hmotnost, ovládat vytápění, sledovat polohu osoby a další. Taková zařízení se nazývají internet věcí.

2.1 Komunikační moduly pro internet věcí

Hlavní důvod, proč IoT zařízení mohou fungovat a komunikovat se sítí i několik let, spočívá v tom, že se skládají ze speciální sady fyzického hardwaru a aplikačního softwaru a protokolů které jsou speciálně vyrobeny pro tento typ zařízení. Tato kapitola se bude zabývat hardwarovými a softwarovými řešeními pro tento typ zařízení.

2.1.1 Hardwarové části modulu

Role procesoru jako hardwarové součásti je velmi důležitá. Procesory v řešeních IoT nabízejí řadu režimů spánku s ultra nízkou spotřebou [1]. V tomto režimu bude procesor trávit drtivou většinu času. Probudí se jen krátce, aby mohl přechít data, zpracovat je nebo odeslat data uživateli.

Součástí hardware jsou také periferie pro komunikaci se senzorem i samotný senzor. Moderní IoT zařízení jsou velmi složité produkty. Mají mnoho vestavěných periférií, aby splňovaly nároky mnoha požadavků uživatelů. Tyto periferie zvýší spotřebu elektrické energie při provozu zařízení, proto se při návrhu doporučuje brát v úvahu pouze ty, které budou používány. Tento případ máme často u vývojových desek. Naopak se jim to vůbec nevyčítá. Jsou vyrobeny za účelem testování všech možných variant využití.

Hardwarová komponenta, která má nejvyšší spotřebu energie, je komunikační modul. A jako taková je speciálně navržena pro tento typ zařízení. Typ rádiové technologie, kterou využívají IoT zařízení k zajištění co nejnižší spotřeby, je obvykle Low Power Wide Area Network (LPWAN) [2].

Low Power Wide Area Network je nový typ rádiové technologie používané pro různé aplikace IoT. Na rozdíl od jiných rádiových technologií, jako je WiFi či Bluetooth, které se používají k přenosu velkého množství informací na velké vzdálenosti, tato technologie přenáší malé množství informací na velké vzdálenosti [2]. Některé z důležitějších vlastností těchto technologií jsou velmi nízké náklady ale také nízká přenosová rychlost.

Zde jsou uvedeny některé obecné vlastnosti této technologie:

- Dosah 5 až 30 kilometrů v různých podmínkách
- Velká autonomie chytrých zařízení s životností až 10 let
- Levné rádiové moduly a čipové sady

- Malý počet přístupových bodů, které pokrývají oblast, jako je město či dokonce i stát

V současnosti existuje řada technologií LPWAN. Obsahují: NB-IoT, Lora, Sigfox, HaLow, RPPM atd. Každý z nich má jedinečné vlastnosti, o kterých musí být vývojář informován, než se rozhodne, která technologie mu vyhovuje [1] [2].

2.1.2 Softwarové části modulu

Software a programovací jazyky, pomocí kterých IoT fungují, mají velmi nízkou spotřebu energie. Vzhledem k tomu, že systémy IoT mají nízkou kapacitu úložiště a zpracování, jejich programovací potřeby se liší. Nejčastěji se používají operační systémy jako Yocto Linux, nebo Android. Nejznámější programovací jazyky pro aplikace IoT jsou C, C++ a Python.

Programovací jazyk C je stále více přítomen v programování zařízení IoT. Jazyky jako C a C++ jsou jazyky, které jsou v podstatě napsány pro hardwarové systémy, díky čemuž jsou velmi snadno použitelné. Python je velmi oblíbený programovací jazyk, který se lze relativně rychle naučit, pamatovat a programovat v něm. Varianta jazyka Python používaná v systémech IoT se nazývá microPython. Jak název napovídá, bylo potřeba jej mírně předělat, aby jej bylo možné používat se zařízeními určitého výkonu a spotřeby [3].

2.2 Bateriové zdroje pro moduly internet věcí

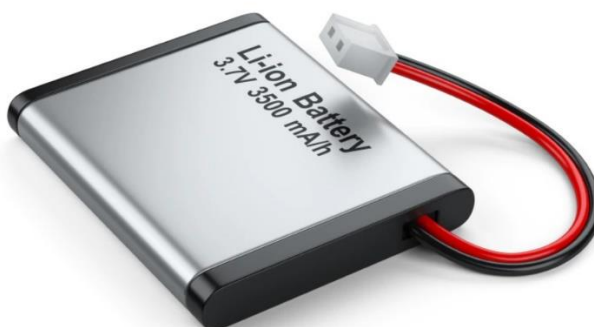
Další kapitola je zaměřena na technologie bateriových zdrojů nejčastěji používaných v aplikacích IoT. Každý z nich má speciální vlastnosti a parametry, které se liší od druhů použití. V první řadě je důležité všechny znát, aby se později získané znalosti daly využít při vývoji programu pro stanovení životnosti bateriového zdrojů. Na závěr kapitoly jsou zdroje vzájemně srovnány.

2.2.1 Typy bateriových zdrojů pro moduly internet věcí

Většina zařízení IoT používá chemické baterie. Tyto baterie přeměňují chemickou energii na elektrickou energii či naopak. Zdroj baterie, který bude konkrétní IoT zařízení používat, záleží na mnoha aspektech. Použitá zařízení a aplikace budou v některých případech vyžadovat krátký nárůst energie, zatímco někteří budou vyžadovat konstantní napájení [5]. Baterie se velmi liší v použití, takže jejich výběr musí být moudrý, abyste zajistili co nejdelší životnost.

- Lithium-iontová baterie obsahuje zápornou a kladnou elektrodu, mezi kterými proudí ionty lithia. Během vybíjení se pohybují z negativní elektrody na pozitivní a během nabíjení z pozitivní na negativní. Obsahují integrovanou lithium-iontovou sloučeninu, která slouží jako elektrolyt [4]. Specifická energie, kterou může tato baterie poskytnout, je od 100 do 250 Wh/kg. Měrný

výkon se pohybuje od 250 do 340 W/kg. Životnost této baterie je v současnosti od 400 do 1200 cyklů [5].



Obrázek 1 [15] Lithium-iontová baterie

- Lithium-iontové polymerové baterie jsou typy baterií, se kterými se v každodenním životě setkáváme nejčastěji. Jedná se o dobíjecí baterie, které využívají gel jako vysoce vodivý polymerní elektrolyt [4]. Tyto baterie se používají v případech, kdy je velmi důležitá hmotnost a velikost baterie. Tyto baterie mají hustotu energie 0,90-2,63 MJ/l. Napětí LIPO baterie závisí na chemii použité při výrobě a je určeno potřebami produktu. Problémem těchto baterií je, že mohou být ovlivněny přebíjením, příliš vysokou teplotou nebo zkratem [9].



Obrázek 2 [16] Lithium-iontová polymerová baterie

- Lithium-kobalt – jedná se o typ baterie, která má jako hlavní materiál kobalt. Má vysokou měrnou energii 150-200 Wh/kg. Skládá se z katody, oxidu kobaltu a anody z uhlíkového grafitu [4]. Během vybíjení lithia se ionty pohybují z katody, která má vrstvenou strukturu. Tyto baterie mají krátkou životnost a špatnou tepelnou stabilitu. Cena těchto baterií je velmi vysoká, protože kobalt je také drahý [7].



Obrázek 3 [17] Lithium-kobaltová baterie

- Lithium Mangan – Tato baterie má velmi dobrou tepelnou stabilitu a nízký vnitřní odpor, což umožňuje rychlé nabíjení. Celková kapacita je ve srovnání s předchozími bateriemi velmi malá. Baterie má oproti kobaltové verzi větší bezpečnost při použití. Při výrobě této baterie se přidávají i různé další kovy, aby se zlepšil výkon kapacity a proudového zatížení [4], [5].



Obrázek 4 [18] Lithium-manganová baterie

- Lithium-Phosphate – Tato baterie se vyznačuje vysokou mírou samočištění. Charakteristické pro ni je také to, že není uzpůsobena na nízké teploty. Životnost této baterie se pohybuje mezi 1000 a 2000 cykly [5]. Pokud jde o vybíjení, je ve většině případů konstantní. Z bezpečnostního hlediska se jedná o jednu z nejbezpečnějších baterií.



Obrázek 5 [19] Lithium fosfátová baterie

- Lithium Titanite – Má schopnost dodávat velmi vysoký proud při zachování kapacity. Baterie má také velmi vysokou kapacitu a nabíjení je rychlé. Na rozdíl od mnoha lithium-iontových baterií může pracovat při velmi nízkých teplotách [4]. Nevýhodou těchto baterií je ale velmi vysoká cena. Je to také jedna z velmi spolehlivých baterií z hlediska bezpečnosti [5].



Obrázek 6 [20] Lithiová titanitová baterie

- Lead Acid – Jedná se o nízkoenergetickou baterii, která má nízký poměr energie k hmotnosti. Rychlost samovybíjení baterií se pohybuje mezi 3 a 20 procenty. Díky nízké ceně, pro kterou se většina lidí rozhodne, najde místo v různých oborech [6].



Obrázek 7 [21] Baterie Lead-Acid

- Nickel-Kadmium – Díky velmi nízkému vnitřnímu odporu jsou tyto baterie schopny dodávat vždy velmi vysoký výkon. Tyto baterie mají problém s tzv. paměťovým efektem. To znamená, že pokud se několikrát nabije a vybije na stejnou úroveň, bud způsobovat poklesy napětí [4], [5].



Obrázek 8 [22] Nikl-kadmiová baterie

2.2.2 Důležité parametry při výběru bateriových zdrojů

Jak už bylo několikrát řečeno, při navrhování IoT systému, je potřeba dávat zvláštní pozor na spotřebu zařízení. To je jeden z hlavních parametrů, na základě kterého je vybírán bateriový zdroj [7], [8]. Níže jsou uvedeny z nejdůležitějších parametrů při volbě bateriového zdroje:

- Celková doba provozu zařízení
- Počet nabití a vybití zdroje baterie
- Fyzické rozměry zařízení
- Prostor, kde je zařízení umístěno
- Provozní napětí baterie

Kapacita baterie se projektuje na základě toho, jak moc plánujete nechat zařízení běžet nepřetržitě. Kapacita baterie se měří v A/h nebo W/h. Pokud jde o zařízení IoT, většinou se používá mA/h [12].

Fyzikální vlastnosti baterie jsou také velmi důležité. Pokud jde o bezdrátová zařízení IoT, jsou obvykle vyžadovány malé baterie. Na druhou stranu například při automatizaci chytré domácnosti, kde je spousta úložného prostoru, tento parametr nebude mít velký význam.

Velmi důležitý je prostor, kde je zařízení umístěno. V první řadě se bavíme o tom, zda se jedná o vnitřní nebo venkovní prostor. Možnost zkorodování zařízení, jeho odolnost vůči okolní teplotě, možnost přehřátí, odolnost vůči fyzickému nárazu atd. To vše jsou vlastnosti zařízení, které je třeba vzít v úvahu, pokud jde o prostředí, ve kterém se nachází.

2.2.3 Porovnání bateriových zdrojů

Tabulka 1 [5] Porovnání bateriových zdrojů (první část)

Specifikace	Lead-Acid	NiCd	NiMH
Měrná hustota energie (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120
Vnitřní odpor (ohm/V)	< 8.3	17-33	33-50
Životnost cyklu (80% vybíjení)	200-300	1000	300-500
Doba rychlého nabíjení (h)	8-16	1	2-4
Tolerance přeměny	Vysoký	Mírný	Nízký
Samovybíjení/měsíc (pokojová tepl.)	5-15 %	20 %	30 %
Napětí článku (V)	2	1.2	1.2
Vypínací napětí nabíjení (V/Cell)	2.4	Individuální	Individuální
Vybíjecí vypínací napětí (V/Cell)	1.75	1	1
Špičkový zátěžový proud	5 C	20 C	5 C
Teplota nabíjení	-20-50 °C	0-45 °C	0-45 °C
Teplota vybíjení	-20-50 °C	-20-65 °C	-20-65 °C
V provozu od	1881	1950	1990
Toxicita	Vysoký	Vysoký	Nízký

Tabulka 2 [5] Porovnání bateriových zdrojů (druhá část)

Specifikace	Kobalt	Mangan	Fosfát
Měrná hustota energie (Wh/kg)	150-190	100-135	90-120
Vnitřní odpor (ohm/V)	21-42	6.6-20	7.6-15
Životnost cyklu (80% vybíjení)	500-1000	500-1000	1000-2000
Doba rychlého nabíjení (h)	2-4	1	1
Tolerance přeměny	Nízký	Nízký	Nízký
Samovybíjení/měsíc (pokojová tepl.)	<5 %	<5 %	<5 %
Napětí článku	3.6	3.8	3.3
Vypínací napětí nabíjení (V/Cell)	4.2	4.2	3.6
Vybíjecí vypínací napětí (V/Cell)	2.5-3	2.5-3	2.8
Špičkový zátěžový proud	3 C	30 C	30 C
Teplota nabíjení	0-45 °C	0-45 °C	0-45 °C
Teplota vybíjení	-20-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C
V provozu od	1991	1996	1999
Toxicita	Nízký	Nízký	Nízký

2.3 Přehled způsobu stanovení životnosti bateriových zdrojů

Následující kapitola se zabývá způsoby, jak vypočítat životnost bateriového zdroje. Jsou pro to dva běžně používané způsoby. Jedná se o předem připravené kalkulačky, které používají matematické operace k nalezení řešení. V prvním příkladu je typ kalkulátoru, který vyžaduje minimální parametry při výpočtu životnosti, zatímco druhý vyžaduje mnohem více parametrů a také jejich přesnost.

2.3.1 Výpočet životnosti založené na počtu spuštění kódu

Prvním typem kalkulačky, kterou si vezmeme jako příklad, je kalkulačka, kde zadáváme pouze 6 parametrů. Tento typ kalkulačky pracuje na výpočtu počtu spuštění kódu. Nerozlišuje mezi velkým počtem provozních operací a tedy rozdílnou spotřebou energie v určitých provozních režimech. Tyto typy kalkulátorů jsou vyráběny pouze pro LIPO baterie, jsou velmi dobré v případech, kdy potřebujeme co nejrychlejší informace o výdrži bateriového zdroje. Informace je získána během několika sekund. Takové kalkulačky se používají na již vyvinutých IoT modulech.

Software	
duration of code execution	2 sec
sleep time	120 sec

Hardware	
consumption during code execution	100 mA
consumption in sleep mode*	80 µA

Battery	
power of battery	4400 mAh
discharge safety	20 %

Obrázek 9 [23] Kalkulátor založen na počtu spuštění kódu

2.3.2 Výpočet životnosti založené na spotřebě komponent

Na rozdíl od předchozího způsobu výpočtu výdrže, tato kalkulačka vyžaduje velké množství informací o hardwarových součástech zařízení. Pro tento způsob výpočtu životnosti jsme jako příklad použili kalkulačku od společnosti Farnall. V článku se uvádí, že s nejkritičtějšími informacemi o samotné životnosti bateriového zdroje vyvinuli kalkulačku, která vám umožní rychle a snadno odhadnout výdrž baterie vašeho systému IoT [24]. Kalkulačka vám umožňuje zadat parametry pro vaše procesorové komunikační zařízení, senzor a baterii, stejně jako definovat způsob, jakým váš software funguje, a poté odhadnout životnost baterie základního návrhu. Tento cenný nástroj poskytuje hodnocení prvního průchodu, aby bylo zajištěno, že je váš návrh proveditelný. Umožní vám také experimentovat s různými přístupy, které ukazují dopad změny komunikačního procesoru baterie nebo softwarového algoritmu. Kalkulačka životnosti baterie IoT

zajišťuje, že nebudete ztrácet čas na produkty, které nemohou dosáhnout přijatelné životnosti baterie.

Farnell element14 IOT Power Calculator

Processor Power

Select a processor or enter your own parameters

System Voltage Volts

Processing/comms mode current mA

On-chip peripheral processing current mA

Data logging mode current uA

Data logging peripheral current uA

Sleep mode current uA

Wake up time us

Processing and Communications Mode

Active clock frequency MHz

Clock cycles per wakeup Cycles

Time between wakes ms

Data Logging Mode

Data logging clock frequency MHz

Clock cycles per wakeup Cycles

Time between wakes ms

Peripheral Power Requirement

Sensor/transducer current when active mA

Sensor on all the time? ☐

Communications device current mA

Battery

Select a standard battery or enter your own parameters

Battery Capacity mAh

Battery shelf life Years

Battery Life for Your Application

Calculate

Obrázek 10 [24] Kalkulátor založen na spotřebě komponent

Článek vysvětluje fungování kalkulačky a hovoří o tom, jak provádět ještě přesnější výpočty [24]. zdůraznění, kde kalkulačka nepočítá zcela přesná data a jaké reálné podmínky nedokáže vytvořit.

2.3.3 Porovnání způsobu výpočtu životnosti bateriového zdrojů

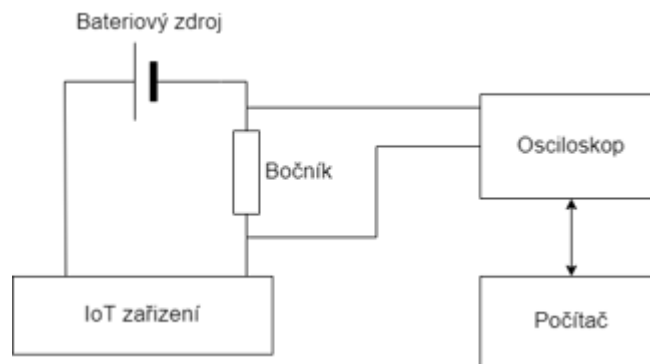
Výše uvedené způsoby výpočtu životnosti bateriového zdroje v IoT modulech jsou nejpoužívanější. Jejich použití je velmi snadné a výsledek je okamžitý. Skutečnost, že výpočet velmi rychle naznačuje, že výsledek nemusí být příliš přesný. Jedním z hlavních důvodů, proč tomu tak je, jsou informace o spotřebě energie hardwarových komponent. Často je hrubá a vyrobena na základě modelů procesorů a periférií. V reálném použití to nemusí znamenat, že je stejná. Také, jak sami výrobci kalkulačky uvedli, není možné simulovat reálné podmínky, kde se zařízení nachází a pracuje. Podmínky prostředí mohou velmi negativně ovlivnit spotřebu bateriového zdroje v modulech

3. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část práce se zabývá výpočtem životnosti bateriového zdroje s doplněním nedostatků v metodách dříve uvedených způsobů. Její první část se zabývá vytvořením programu, který okamžitě poskytuje výsledek životnosti. Je určen pro vyráběné IoT platformy, které jsou již kompletní na úrovni hardwaru a softwaru. Druhá část praktické práce simuluje podmínky prostředí, kdy se dostávají do kontaktu s dalšími parametry prostředí, které mohou ovlivnit životnost bateriového zdroje.

3.1 Program pro stanovení životností bateriových zdrojů

Program je inspirován předchozími způsoby výpočtu výdrže baterie. Cílem práce je vytvořit program, který je připojen k osciloskopu. Program řídí osciloskop, provádí výpočty spotřeby v různých režimech a na konci sbíraná data zpracovává s dalšími parametry.



Obrázek 11 Zařízení používaná programem k výpočtu životnosti baterie

3.1.1 Navrch vzorce pro stanovení životnosti baterie

Pro sestavení vzorce, potřebujeme pochopit, jak zařízení pro komunikaci mezi senzorem a serverem funguje, a také vlastnosti baterie, kterou používají. Zařízení ve většině aplikací IOT mohou pracovat ve 3 režimech. Každý z těchto 3 režimů způsobuje jinou spotřebu:

- Režim spánku
- Režim čtení dat
- Režim odesílání dat

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Výstup} \\ \text{stanovené} \\ \text{životnosti} \\ \text{[dny]} \\ \hline \end{array} = \left(\begin{array}{|c|} \hline \text{Nominální} \\ \text{kapacita} \\ \text{baterie} \\ \hline \end{array} \right) / \left(\left(\begin{array}{|c|} \hline \text{Proudová} \\ \text{spotřeba} \\ \text{energie} \\ \text{při čtení} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Čas čtení} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Proudová} \\ \text{spotřeba} \\ \text{energie} \\ \text{při spaní} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Čas spaní} \\ \hline \end{array} \right) \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Počet} \\ \text{přečtení} \\ \text{před} \\ \text{odesláním} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Proudová} \\ \text{spotřeba} \\ \text{při} \\ \text{odesílání} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Čas} \\ \text{odesílání} \\ \hline \end{array} \right) / \begin{array}{|c|} \hline \text{Odesílání} \\ \text{za jeden} \\ \text{den} \\ \hline \end{array}$$

Obrázek 12 Diagram pro stanovení životnosti baterie

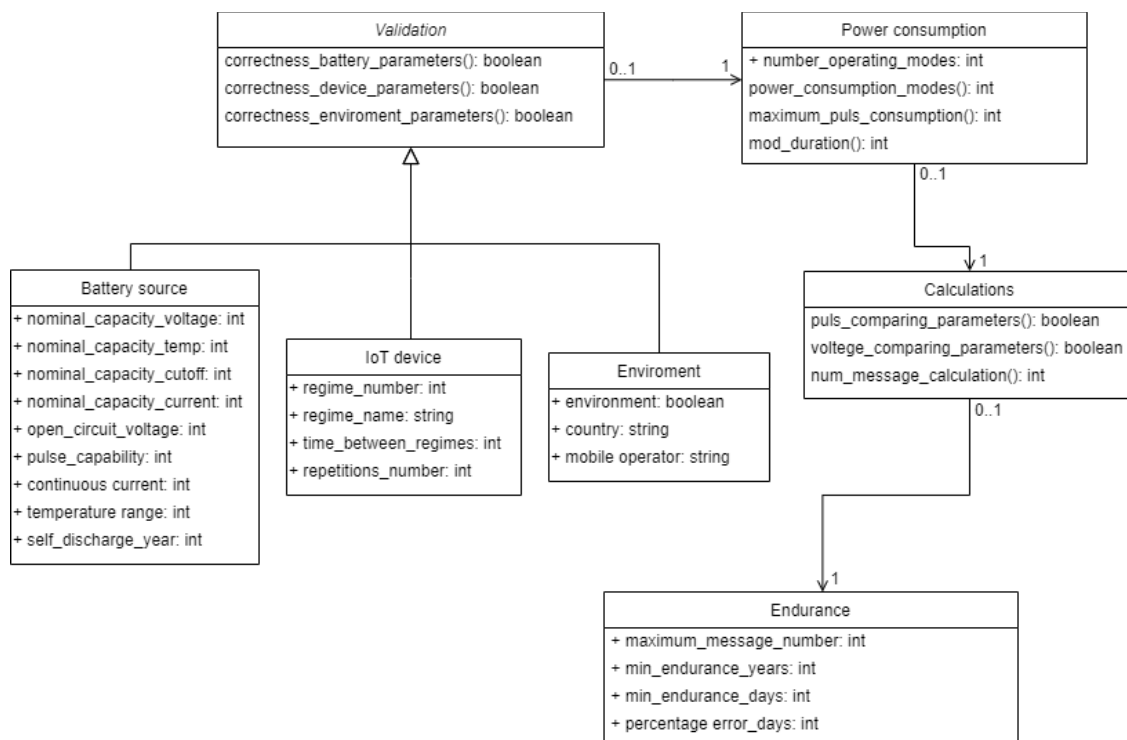
$$B = \left(\frac{N_c}{\left(\int x_1 dx * T_1 + \int x_2 dx * T_2 \right) * K + \int x_3 dx * T_3} \right) / D$$

Režim spánku v zařízeních IoT vypne hlavní CPU a RAM. Zůstane zapnuté Low Power Coprocessor a RTC časovač. Spotřeba je v tomto případě minimální a pohybuje se v závislosti na čipu mezi 10 a 30 mikroampéry. Používá se mezi režimy odesílání a je jedním z hlavních důsledků udržení zařízení co nejdéle v nezávislém provozu. Režim čtení je režim, kdy zařízení čte hodnotu ze senzoru přes různá rozhraní. Když obdrží hodnotu, přepočítá a poté rozhodne, zda je třeba informace dodat nebo ne. Režim odesílání dat je režim, který spotřebuje nejvíce energie. Jde o režim využívající i periferie komunikující přes protokol LPWAN se sítí. Tento režim je nutné používat uvážlivě, aby byla zajištěna co nejvyšší účinnost.

3.1.2 Vstupní parametry programu

První část programu je určena pro informace o zdroji baterie. První skupina vstupních parametrů se bude týkat výrobcem předepsaných specifikací bateriového zdroje. Kromě nominální kapacity, která je také důležitá, bude program vyžadovat následující parametry:

- Otevřený okruh napětí
- Nominální napětí
- Nominální energie
- Pulzní kapacita
- Maximální doporučený trvalý proud
- Rozsah provozních teplot
- Skladovací teplota



Obrázek 12 Zpracování informací programové části

Po zadání těchto údajů bude program vyžadovat také počet režimů provozu zařízení. Po této informaci bude nutné připojit zařízení k osciloskopu, aby mohl přesně vypočítat spotřebu proudu ve všech režimech provozu. Tímto způsobem byly získány nejpřesnější informace o spotřebě. Bude to zásadní faktor, díky kterému bude očekávaná délka života přesnější než předchozí výpočty.

3.1.3 Výstup stanovené životnosti

Zpracováním vstupních informací, které se skládají z informací o bateriovém zdroji a také měřením aktuální spotřeby zařízení pomocí osciloskopu, by program nejprve posoudil, zda bateriový zdroj může na konkrétním zařízení vůbec fungovat. Pokud to program považuje za možné, program uvede odhad životnosti bateriového zařízení, tj. kolik dní je bateriový zdroj schopen zařízení napájet.

Otevřený okruh napětí, nominální napětí nám poskytují informace o provozním napětí našeho zařízení. Tato napětí musí odpovídat vstupnímu napětí našeho mikrokontroleru. Pokud není v jeho dosahu, bateriový zdroj nelze s tímto mikrokontrolerem použít. Pulzní kapacita a maximální doporučený proud nám poskytují informace o tom, jak je zdroj baterie schopen dodat proud za sekundu. Při měření proudového odběru zařízení na osciloskopu získáme informaci o tom, jak velký proud je v jakých provozních režimech a v jakých částech těchto režimů dodáván. Nakonec porovnáme parametry a přehodnotíme, zda je zajištěna stabilní práce v tomto oboru.

S informací o průměrné teplotě, kde bude zařízení používáno, si můžeme spočítat, jak moc to ovlivní spotřebu. Při znalosti skladovací teploty zařízení budeme předpokládat, že

tato teplota nemá vliv na spotřebu. S každým krokem dolů snížíme přepočtenou výdrž o 1 %. To za předpokladu, že venkovní teplota je po celou dobu provozu zařízení stejná, což je nepravděpodobné.

Nakonec, jak je uvedeno po posouzení, zda je bateriový zdroj dostatečně schopný pro připojení k IoT zařízení, bude na základě spotřeby všech provozních režimů a nominální energie baterie vypočítáno, kolik dní bude zařízení zapnuto.

3.2 Simulace bateriového dlouholetého provozu

Celkovou spotřebu zdroje baterie IoT zařízení ovlivňuje mnoho faktorů. Většina z těchto faktorů nebyla při výpočtu životnosti zohledněna. Důvodem je, že je obtížné je převést do jednoduché kalkulační formy. Může to být skript programu, venkovní teplota během roku, doba spojení s poskytovatelem sítě, protokol pro správu dat atd [14]. Simulací provozu zařízení se pokusíme vytvořit podobné prostředí, kde by byly zohledněny všechny faktory, které přímo či nepřímo ovlivňují spotřebu.

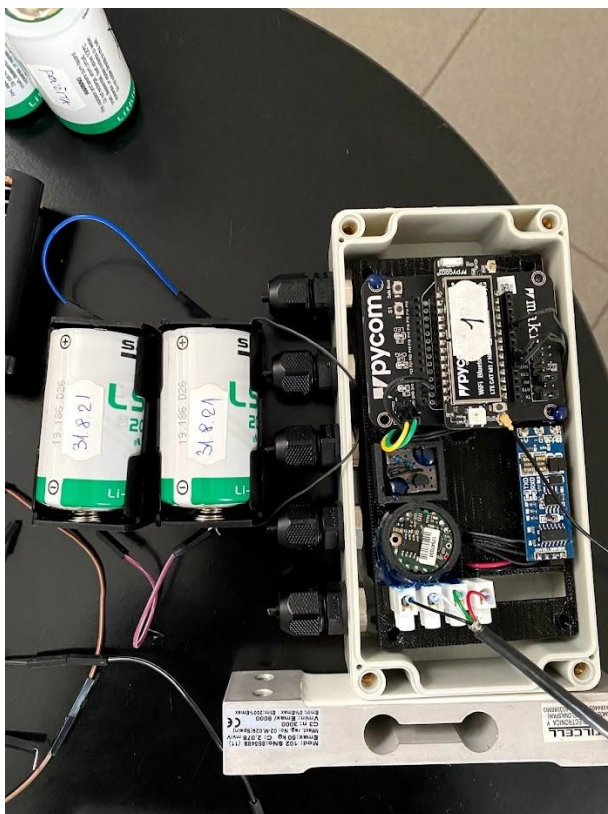
3.2.1 Popis experimentu

Cílem experimentu je navrhnout veškerý hardware a software zařízení IoT, které budou mít více možností pro skriptování, více než dvě volby poskytovatele sítě a více než dva protokoly pro správu zpráv kromě dalších senzorů, které budou na čipu a budou monitorovat prostředí, kde zařízení se nachází.

Připojením bateriového zdroje, který chceme testovat, zůstane zařízení zapnuté 7 dní a bude simulovat provozní podmínky, kde by bylo rok i déle, tedy jak vypočítal program dříve. Během této doby bude zařízení po síti odesílat data senzoru a také informace o kapacitě baterie a další. Později na základě těchto stejných informací budeme schopni určit procentuální rozdíly ve spotřebě, tedy zjistit, které parametry a jak ovlivňují spotřebu.

3.2.2 Navrch hardwarů u testovacího zařízení

Vybraný hardware pro náš systém bude vývojová deska Gpy od společnosti Pycom. [10] Pycom je společnost, která se zabývá vývojem platformy IoT. Gpy je vybaven dvoujádrovým 32bitovým mikroprocesorem Xtensa s mnoha komunikačními technologiemi [10]. Daný čip obsahuje protokoly a vstupy pro UART, I2C a také SPI, které budeme potřebovat ke komunikaci se senzorem. Jako takový představuje ideální kombinaci výkonu a flexibility.

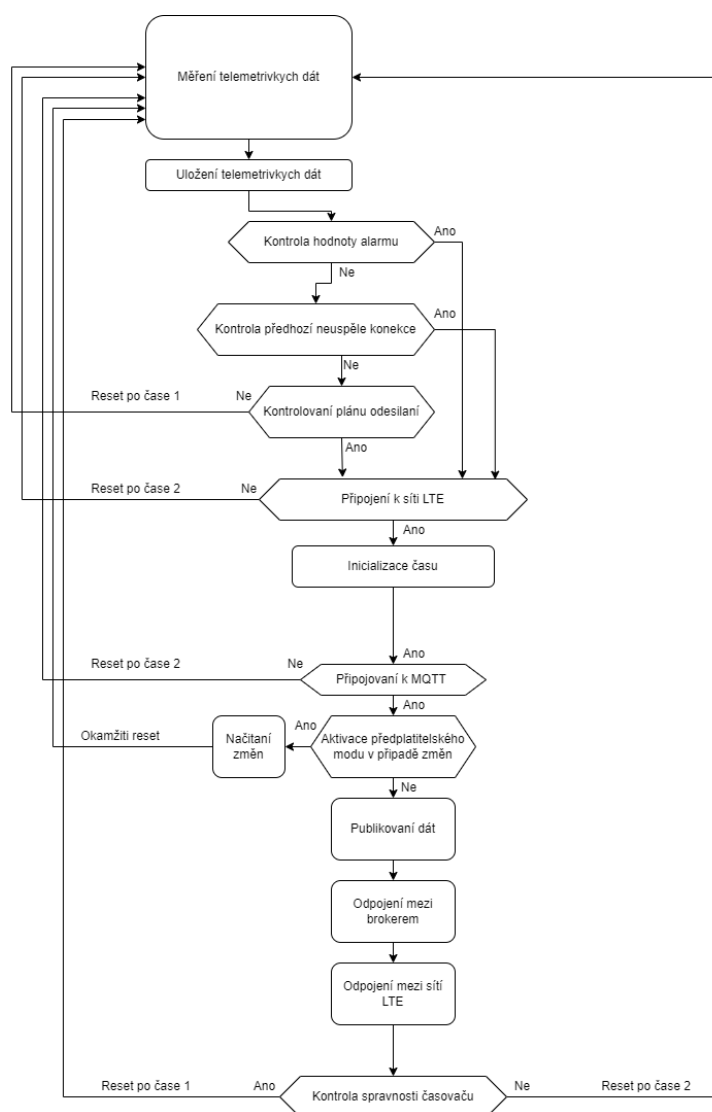


Obrázek 13 Hardwar u testovacího zařízení

Kromě Gpy ovladače využijeme převodník, který má na sobě dělič napětí, který budeme potřebovat k měření napětí na naší baterii [11]. Rozšíření je také vybaveno připojovacími konektory, které se používají pro připojení čidla.

3.2.3 Navrch softwarů testovacího zařízení

Podporovaný programovací jazyk v Gpy mikrokontroleru je MicroPython. MikroPython je softwarová implementace programovacího jazyka, který je do značné míry kompatibilní s programovacím jazykem Python 3. MicroPython má převodník na programovací jazyce C, který je optimalizován pro práci na mikrokontroleru. MicroPython je kompletní kompilátor pythonu a běží na hardwaru (mikrokontroleru). Má ideální uplatnění v aplikacích IoT.



Obrázek 14 Struktura zpracování dat modulem

Shromážděná data v režimu čtení budou odeslána na Mqtt server společnosti Utilcell, kde budou na konci simulace přepočítána. Informace, které bude zpráva obsahovat, jsou následující:

- Hodnota hlavního snímače hmotnosti
- Čas potřebný k připojení k poskytovateli
- Čas potřebný k připojení k serveru Mqtt
- Chyby připojení
- Napětí baterie
- Teplota na mikrokontroleru
- Teplota okolí

4. VÝSLEDKY A DISKUSE

V následujících simulacích porovnáme výpočty výdrže bateriových zdrojů získané klasickými metodami a výpočty dosažené vyvinutým softwarem. Je známou skutečností, že při návrhu odolnosti bateriových zdrojů jde o několik let nepřetržitého provozu. Během našeho testování byl software modulu IoT nastaven tak, aby byla možná co nejkratší doba mezi připojeními, abychom mohli bateriové zařízení vybit co nejdříve.

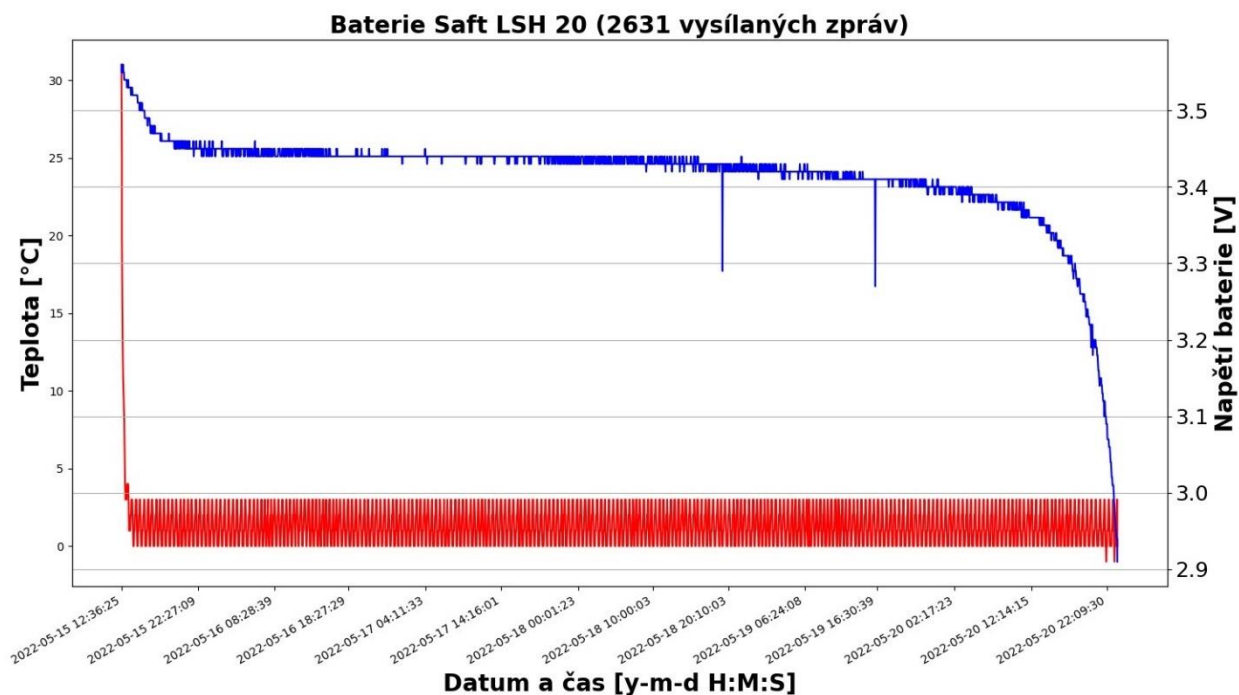
Baterie, které jsme vybrali k testování, jsou z řady válcových pyramidálních lithiových článků Saft na bázi lithium thionylchloridové (LI-SOCl₂) chemie. Bateriové zdroje dokonale splňují požadavky vysoké energie a vysokého napětí v širokém rozsahu teplot.

4.1 Simulace bateriového dlouholetého provozu

První test je založen na primárně dobrém výběru bateriového zdroje podle toho, jaké zařízení potřebuje napájet. Vybraná baterie je baterie řady Saft LSH. Baterie má spirálovou konstrukci a specifické prvky, které mohou pracovat při velmi nízkých teplotách. Při výběru byly zkontrolovány specifikace baterie, které se týkají pulzní kapacity a konstantního odběru proudu, který je specifikován.



Obrázek 15 [25] Baterie Saft LSH20



Obrázek 16 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LSH20

Na grafu výše můžete vidět výsledek výdrže modulu IoT napájeného saft baterií LSH20. Software modulu je nastaven na odesílání zpráv v intervalu 2 minut. Dokázali jsme tak maximálně zatížit bateriový zdroj. Abychom ukázali vliv okolní teploty na baterii, umístili jsme modul do tepelné komory, kde se teplota pohybovala od 0 do 3 stupňů Celsia. Při každém uskutečněném spojení zařízení odeslalo data, která zahrnují teplotu na čipu, napětí baterie a naměřenou telemetrii týkající se senzoru, pro který je určeno. Červená čára na grafu ukazuje teplotu na čipu a modrá napětí bateriového zdroje.

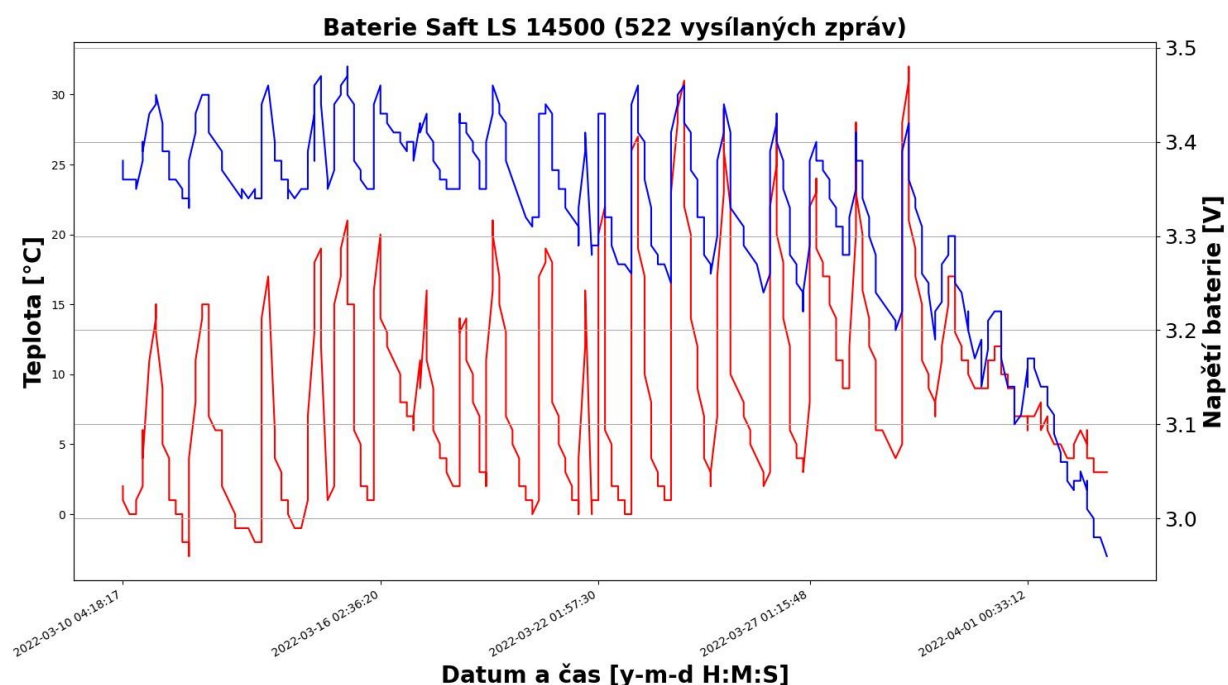
Dříve vypočtená výdrž pomocí stávajících metod pro zohlednění požadovaných parametrů pro tento konkrétní případ byla 168h, což je 7 dní nepřetržitého provozu. Při výpočtu s naším softwarem byl výsledek 122 hodin, což je 5 dní a 2 hodiny a výsledek samotného testu byl nakonec 121 hodin a 50 minut.

Můžeme dojít k závěru, že náš software provedl přesnější výpočet než standardní metody. Nejdůležitější důvody, které vedly k tomuto výsledku, jsou věnování pozornosti okolní teplotě, kde je IoT modul umístěn, a také vypínacímu napětí zařízení. Software přepočítal nominální kapacitu baterie, ale zohlednil teplotní podmínky, kde se zařízení nachází. Počítalo se také s vypínacím napětím režimu IoT.

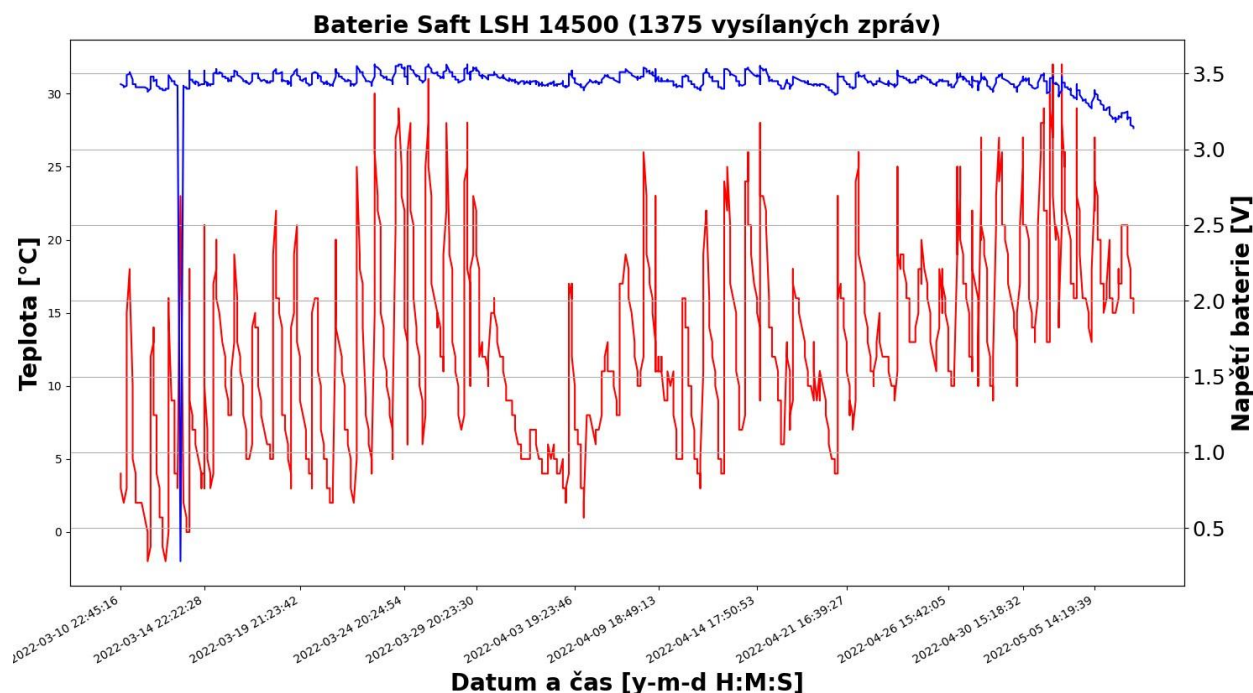


Obrázek 17 [25] Baterie Saft LS14500

Druhá dvojice testů je založena na špatné volbě zdroje baterie podle zařízení potřebného k jeho napájení. Obhajovaná baterie je baterie výrobce Saft řady LS, specifikace periodických pulsů v rozsahu od 5 do 150 mA. Tato baterie je také určena pro napájení IoT modulů, ale v našem případě nevhodná právě kvůli možnostem pulzního napájení.



Obrázek 18 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LS14500



Obrázek 19 Simulace provozu zařízení, napájeno baterií Saft LS14500

Na výše uvedených grafech můžete vidět výsledky výdrže modulů IoT napájených baterií saft LS14500. Software modulu byl nastaven tak, aby měřil telemetrická data každou hodinu a odesílal je jednou denně. Toto je typický režim provozu modulu založeného na technologii LPWAN NB-IoT. Zařízení byla instalována venku, kde se během dne měnily různé teploty. Při každém spojení zařízení odesílalo telemetrická data senzoru, teplotu čipu v době odeslání a také napětí naměřené na bateriovém zdroji. Stejně jako v předchozích případech červená čára představuje teplotu a modrá čára napájení na bateriovém zdroji.

Je důležité si uvědomit, že se jedná o identická zařízení, která byla testována se stejnými bateriemi na různých místech jen několik kilometrů od sebe. Při výpočtu životnosti pomocí stávajících metod jsme došli k závěru, že takový systém by měl mít nepřetržitý provoz déle než rok. Výsledek testu ukázal opak. První test trval pouze 1 měsíc a 20 hodin, zatímco druhý dokázal udržet nepřetržitou práci po dobu 2 měsíců, 6 dnů a 16 hodin. Vyvíjený software dospěl k závěru, že vybraný bateriový zdroj není schopen napájet zmíněný IoT modul, takže jsme nemohli dosáhnout příliš přesné výdrže, což se nakonec stalo. Jediným důvodem rozdílu ve výdrži mezi těmito simulacemi jsou teplotní podmínky, ve kterých se bateriové zdroje nacházely. Ten, kdo zaznamenal telemetrické přenosy při vyšších teplotách, dokázal navázat více spojení a dosáhnout větší výdrže. Bateriový zdroj, jehož připojení byla zaznamenána při nízkých teplotách, rychle degradovala v důsledku odběru pulzního proudu, který nebyl v přípustných mezích specifikace baterie

5. ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo analyzovat bateriové zdroje používané zařízeními IoT, tvorba programu pro výpočet životnosti bateriových zdrojů a simulace životnosti baterie v reálných podmínkách.

První část praktické části této práce se týká programu pro výpočet životnosti. Úkolem programu bylo spočítání, kolik dní bude zařízení mít stabilní provoz. Z počátku program na základě parametrů, které přijímá na vstupu, odesílá posouzení, zda je bateriový zdroj vůbec schopen napájet zařízení po dlouhou dobu. Je-li hodnocení kladné, nakonec spočítá životnost na základě modu práce. Výsledkem je nižší životnost ve srovnání s předchozími metodami, hlavním důvodem je více vstupních parametrů.

Druhý experiment je simulace provozu IoT zařízení s více bateriemi. Cílem experimentu bylo vytvořit co nejbližší pracovní podmínky provozního umístění. Výsledek experimentu potvrzuje správnost výpočtů a udává konkrétnější parametry, které spotřebu velmi ovlivňují. Jedním z nejdůležitějších parametrů jsou: Okolní teplota během roku měřená na povrchu mikrokontroleru, počet neúspěšných připojení, která se opakují kvůli neodeslaným zprávám, nominální kapacita baterie, kterou je nutné přepočítat z důvodu výpadku napájení procesorové jednotky modulu a mnoho dalších.

Baterie během simulace napájely IoT moduly jak v umělých podmínkách, tak v reálných prostorách, kde se instalují. Kombinací těchto metod jsme určili správnost našich výpočtů. Během simulací byly použity bateriové zdroje různých specifikací za účelem jejich vzájemného porovnání.

Na závěr lze říct, že výsledek, který na konci všech experimentů a metod přepočtu životností, je nižší ve srovnání s předchozími přepočty. Jednotlivci nebo společnosti, které budou v budoucnu navrhovat své IoT moduly, pomocí daného programu budou vědět velmi přibližnou dobu životnosti bateriového zdroje na modulu, což pomůže při vybití rychle reagovat, a nedostat se do situace ztráty důležitých dat.

LITERATURA

- [1] DATA-FLAIR Training [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://data-flair.training/blogs/iot-hardware/>
- [2] SONG, Yonghua, Jin LIN, Ming TANG a Shufeng DONG. An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN. Engineering. 2017, 2017, 460-466. ISSN 2095-8099.
- [3] ANTONIA, Iulia, Dumitru MARIUS a George MANUEL. Internet of Things Hardware and Software. Engineering. 2020, 2020, 54-65.
- [4] ARUMUGAM, Manthiram. An Outlook on Lithium Ion Battery Technology. ACS Central Science. 2017, 2017(2374-7943), 1063-1069.
- [5] BATTERIES FOR IOT DEVICES. BASEAPP [online]. 2018 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.baseapp.com/iot/batteries-iot-device-types-character/>
- [6] How to select the best battery for your cellular IoT devices? EMNIFY [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.emnify.com/blog/webinar-recap-how-to-select-the-best-battery-for-your-cellular-iot-devices?>
- [7] The 8 most common pitfalls when choosing a battery for your IoT device (and how to avoid them). SAFT BATTERIES [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.saftbatteries.com/energizing-iot/8-most-common-pitfalls-when-choosing-battery-your-iot-device-and-how-avoid-them>
- [8] Selecting Batteries for IoT Devices. DIGIKEY [online]. 2014 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/en/articles/selecting-batteries-for-iot-devices>
- [9] Battery selection for IoT design. DISK91 [online]. 2019 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.disk91.com/2019/technology/hardware/battery-selection-for-iot-design/>
- [10] GPy. PYCOM [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://docs.pycom.io/datasheets/development/gpy/>
- [11] Expansion Board 3. PYCOM [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://docs.pycom.io/datasheets/expansionboards/expansion3/>
- [12] What is battery? Types of battery, Primary and Secondary cells. ELECTRONICCLINIC [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.electronicclinic.com/what-is-battery-types-of-battery-primary-and-secondary-cells/>
- [13] Lithium-ion battery. EDYEAZUL [online]. 2017 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://edyeazul.blogspot.com/2017/07/lithium-ion-battery.html>
- [14] Using a Telefonica Data Bridge to Connect Narrow Band IoT Devices to AWS IoT Core. EDYEAZUL [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/blogs/apn/using-a-telefonica-data-bridge-to-connect-narrow-band-iot-devices-to-aws-iot-core/>

- [15] TERMOFISHER [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/blog/materials/electrolyte-materials-in-lithium-ion-batteries/>
- [16] ARDUBOTICS [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://ardubotics.eu/en/power-systems/1874-lithium-ion-polymer-battery-37v-900mah-2-pin-jst-connector.html>
- [17] ALIBABA [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Ruizhi-Lithium-Cobalt-Oxide-LiCoO2-ICR18650_60805324717.html
- [18] INDIAMART [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/lithium-cell-20459383588.html>
- [19] E-PAHON [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: https://www.e-pohon.cz/Clanek-CALB-L160F100B-LiFePO4-3-2V-100-Ah-d1579.htm?gclid=CjwKCAiA-9uNBhBTEiwAN3lINlz2TKb7RngYnPDiEuYGs9IJ0rflajCzAczoxxAAnO0VM2ESB8tipjBoCT5MQAvD_BwE
- [20] G2DAUDIO [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://g2daudio.com/products/xs-power-33-1100-2-7v-3-000f-supercell-single?variant=31431331119219>
- [21] KOLA-MAYO [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.kola-mayo.cz/baterie-nabijacky--motory/bateria-lead-acid--gel-12v-12ah-trackny-clanok/>
- [22] INDIAMART [online]. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/nickel-cadmium-battery-16429755333.html>
- [23] OF-THINGS [online]. 2019 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.of-things.de/battery-life-calculator.php>
- [24] FARNELL [online]. 2017 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://es.farnell.com/calculating-battery-life-in-iot-applications>
- [25] Saft batteries [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.saftbatteries.com/products-solutions/products/lsh-lsp?text=&tech=84&market=&brand=764&sort=newest&submit=Search>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

IoT	Internet Of Things
LPWAN	Low Power Wide Area Network
NB-IoT	Narrowband Internet Of Things
CPU	Central Processing Unit
RAM	Random access memory
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface

Symboly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
P	síla	(W)
N	síla	(J)
T	teplota	(°C)