

Univerzita Palackého v Olomouci

Prírodovedecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**OPTIMALIZÁCIA ENERGETICKÉHO
ZAŤAŽENIA UZLA WASPMOTE PLUG&SENSE
S OHLĎADOM NA VYBRANÉ FAKTORY**

Bakalárska práca

Jakub KONÍČEK

(autor práce)

Mgr. Vendula HEJLOVÁ

(vedúci práce)

Olomouc 2016

Geoinformatika a geografia

ANOTÁCIA

Cieľom tejto bakalárskej práce je zistiť výdrž batérií uzlov Waspomote Plug&Sense od španielskej spoločnosti Libelium, vzhľadom na rôzne pôsobiace faktory.

Teoretická časť práce stručne a všeobecne charakterizuje bezdrôtové senzorové siete, princípy fungovania a príklady ich využitia vo svete. Hlavnou témou tejto časti je podrobný popis používanej skupiny uzlov Waspomote Plug&Sense so zameraním primárne na charakterizovanie ich energetických zdrojov, súčasného využitia a vlastností.

V praktickej časti práce sú podrobne predstavené využité technológie a testovania zamerané na zistenie jej samotnej energetickej spotreby. Overovanými faktormi pôsobiacimi na vybíjanie batérie sú komunikačná vzdialenosť medzi uzlami, interval záznamu prvkov, počet a druh zapojených senzorov v uzle a prekážky v prenose dát. Na základe uskutočnených testov tu sú prítomné štatistické a taktiež predpokladané výsledky, vďaka ktorým je možné vyčleniť vplyvajúce faktory na energetické zaťaženie uzlov nielen z testovaných oblastí ale aj napríklad mieru vplyvu meteorologických podmienok. Finálnym výsledkom je návrh optimálneho zaťaženia a využitia uzlov v overenej špecifikácii.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

bezdrôtová senzorová sieť; energetické zaťaženie; batéria; testovanie; optimalizácia

Počet strán práce: 70

Počet príloh: 4 (z toho 2 voľné)

ANOTATION

The main aim of this bachelor work is to find out a real energetical load of Waspote Plug&Sense nodes from Spanish company Libelium in regard to selected factors.

The theoretical part of work shortly and generally describes wireless sensor networks in the world with examples of their common usage. The main aim in this part is the description of Waspote Plug&Sense nodes with primary characteristics of their energetical loads, specific usage and properties.

Practical part describes used technology and plans of testing in detail. Practical testing checks-up 5 different factors which could affect battery discharge. It was the communication distance between nodes, the recording interval, number and type of connected sensors, and also the influence of material obstacles in communication line. Also, there was an effort to find out some correlation between climatic data and battery discharge.

In according to results from testing it was possible to make statistical outputs and theoretical predictions about effective usage of wireless sensor networks systems in future, based on similar conception like this work tested.

KEYWORDS

wireless sensor network; energetical load; battery; testing; optimization

Number of pages: 70

Number of appendixes: 4

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že

- bakalársku prácu, vrátane príloh, som vypracoval samostatne a uviedol som všetky použité podklady a literatúru,
- som si vedomý, že na moju bakalársku prácu sa v plnej miere vzťahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, hlavne § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského, a § 60 – školské dielo,
- beriem na vedomie, že Univerzita Palackého v Olomouci (ďalej UP Olomouc) má právo nezárobkovo, k svojej vnútornej potrebe, bakalársku prácu používať (§ 35 odst. 3),
- súhlasím, aby jeden výtlačok bakalárskej práce bol uložený v Knížnici UP k prezenčnému nahliadnutiu,
- súhlasím, že údaje o mojej bakalárskej práci budú zverejnené v Študijnom informačnom systéme UP,
- v prípade záujmu UP Olomouc uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť výsledky a výstupy mojej bakalárskej práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použitie výsledkov a výstupov mojej bakalárskej práce alebo poskytnutie licencie k jej využitiu môžem len so súhlasom UP Olomouc, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli UP Olomouc na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Olomouci dňa _____

Plné meno autora: *Jakub Koníček*

Podpis autora:

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcej práce, Mgr. Vendule Hejlovej, za podnety, cenné pripomienky a pomoc pri vypracovávaní tejto práce.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLÓMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub KONÍČEK**
Osobní číslo: **R13250**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **OPTIMALIZACE ENERGETICKÉHO ZATÍŽENÍ UZLU
WASPMOTE PLUG&SENSE S OHLEDEM NA VYBRANÉ
FAKTORY**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je otestovat na různých scénářích zatížení výdrž baterie v uzlech Wasmote Plug&Sense. Každý uzel sensorové sítě je vybaven baterií, jejíž životnost se odvíjí od velkého množství faktorů, z nichž ty nejvýznamnější budou vybrány a sledovány. Výdrž baterie určuje životnost uzlu, a tak čím vyšší jsou hodnoty výdrže baterie, tím je využitelnost uzlu v reálném nasazení vyšší a uzly mohou být využity pro sledování vybraných prvků i v těžko dostupných místech, aniž by jejich baterie musely být měněny v krátkém časovém intervalu.

V teoretické části bakalářské práce se student zaměří na typy baterií, které jsou využívány v uzlech bezdrátové sensorové sítě. V praktické části student ověří spotřebu energie v uzlu Wasmote Plug&Sense. Na těchto uzlech student ověří vliv následujících faktorů ovlivňujících výdrž baterie - komunikační vzdálenost mezi uzly, interval záznamu prvků, počet sensorů napojených na uzel, překážky v přenosu dat, zhodnotí jejich vliv a zváží, které faktory by měly mít vyšší váhu s ohledem na tvorbu topologie bezdrátové sensorové sítě při distribuci uzlů ve venkovním prostředí.

Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně vytvoří zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) bude odevzdána v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

ASÍN A. (2010): Sensor network to monitor air pollution in the cities. Libelium. [online]. [cit.2015-02-05]. Dostupné z:
[z:http://www.libelium.com/smart_cities_wsn_air_pollutio](http://www.libelium.com/smart_cities_wsn_air_pollutio)
BASAGNI, S., CONTI, M. (2004): Mobile ad hoc networking. Hoboken, NJ: John Wiley, 461 s. ISBN 04-713-7313-3.
FLICKENGER, R.(2007): Wireless Networking in the Developing World [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z:
<http://wndw.net/pdf/wndw2-en/wndw2-ebook.pdf>
MIZERA, J. (2011): Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí. Brno. Dostupné z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42512.
Bakalářská práce. VUT.
MURTHY, C., MANOJ B. C. (2004): Ad hoc wireless networks: architectures and protocols. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 857 s. ISBN 01-314-7023-X.
ROHNER, C. et al. (2013): Evaluating battery models in wireless sensor networks. 1th Intl Conf. on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2013), Saint Petersburg, Russia.
VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Vendula Hejlová**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. června 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2016**

prof. RNDr. Ivo Frébort, CSc., Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEINFORMATIKY
17. listopadu 50, 771 46 Olomouc
-1-
prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 15. června 2015

OBSAH

ÚVOD	8
1 CIELE PRÁCE.....	9
2 METÓDY A POSTUPY SPRACOVANIA.....	10
2.1 Použité dáta.....	10
2.2 Použité programy	10
2.3 Postup spracovania.....	12
3 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	14
3.1 Princípy a technológie bezdrôtových senzorových sietí.....	14
3.1.1 Topológia	15
3.1.2 Architektúry sietí	19
3.1.3 Možnosti komunikácie.....	20
3.1.4 Najznámejší výrobcovia	23
3.1.5 Využitie WSN v praxi	26
3.1.6 Energetické zdroje	31
4 PRAKTICKÉ RIEŠENIE	33
4.1 Popis technológie	33
4.1.1 Batérie	36
4.1.2 Komunikačný protokol	41
4.2 Scenáre testovania.....	43
5 VÝSLEDKY	47
5.1 Priebeh testovaní	47
5.1.1 Komplikácie	50
5.2 Výdrže batérií	52
5.2.1 Vyhodnotenie testov	52
5.2.2 Vyčlenenie vplyvajúcich faktorov	61
5.3 Optimálne energetické zaťaženie uzla	65
6 DISKUSIA.....	67
7 ZÁVER	69
POUŽITÁ LITERATÚRA A INFORMAČNÉ ZDROJE	
PRÍLOHY	

ÚVOD

Získavanie dát je vo všeobecnosti častokrát dlhodobou a náročnou činnosťou z každého uhla pohľadu. Nech už je používaná akákoľvek metóda, vždy je potrebné uskutočňovať merania čo možno najefektívnejšie.

Bezdrôtové senzorové siete, alebo Wireless Sensor Networks (ďalej WSN), patria k metódam, ktoré sú pri získavaní dát v súčasnosti pomerne veľmi rozšírené. Svedčí o tom nárast stavieb tzv. Smart Houses, vznik niekoľkých Smart Cities ako napríklad Salamanca, Assen, Santander, rozbiehajúci sa projekt Smart City Brno, Praha či už plne pracujúci Smart Pisek v Českej republike, prípadne efektívny monitoring životného prostredia a všeobecný vzostup popularity nielen geoinformačných technológií vo svete. Sú taktiež označované za jednu z najdôležitejších technológií 21. storočia, vďaka ich možnostiam širokej škály využiteľnosti (Cisco, 2006).

Uzly týchto sietí zaznamenávajú rôzne veličiny podľa ich zamerania skrz širokú škálu senzorov, ktoré ich ďalej posúvajú priamo k užívateľovi. Je to veľmi efektívna metóda, avšak vždy je tu prítomná možnosť ešte viac celý systém zlepšiť optimalizovaním niektorých slabších stránok systému, napríklad energetického zaťaženia.

Vo všeobecnosti je známe, že limitujúcim faktorom množstva mobilných technológií, resp. tých čo permanentne nie sú zapojené do elektrickej siete a sú závislé na napájaní z batérií, sú práve ich energetické zdroje. Nie vždy je možné dodávanie energie z elektrických sietí či dobíjanie pomocou alternatívnych zdrojov energií. Preto sa častokrát využívajú spomínané batérie, ktorých životnosť je obmedzená (Sharma a kol., 2011). Energetické nároky WSN a ostatných technológií sú však stále rovnaké, bez ohľadu na druh napájania. Z toho dôvodu je potrebné využiť ich energiu čo najefektívnejšie.

Preto cieľom tejto bakalárskej práce je podrobnejšie preskúmať a prakticky otestovať v simulovaných podmienkach energetické zaťaženie batérií uzlov WSN pre zostavenie, optimalizáciu siete nielen v Olomouci. Výsledky budú taktiež slúžiť ako podnety na inšpiráciu pre užívateľov týchto sietí využívajúcich podobnú konfiguráciu ako bola otestovaná v práci, nakoľko pokiaľ by mohli využiť dlhšiu výdrž batérií, ich merania by sa razom posunuli o úroveň vyššie. Otvára sa možnosť získavať väčšie množstvo informácií, vďaka ktorým môžu byť merania oveľa efektívnejšie a výsledky presnejšie. Podstatou získavania dát je totiž vyťažiť z nich maximum.

1 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom práce je zistiť aká je skutočná výdrž batérií uzlov Waspnote Plug&Sense na základe ich praktického otestovania pri rôznych scenároch v určitej využívanej špecifikácii. Vďaka tomu bude možné určiť najšetrnejšie spôsoby použitia bezdrôtovej senzorovej siete v daných pomeroch s ohľadom na ich energetické zaťaženie a v určitej miere predpokladať možnú dĺžku trvania meraní.

Samotná práca tiež dokladá odpovede hneď na niekoľko ďalších stanovených cieľov. Tým prvým je vytvorenie teoretickej časti, ktorá sa týka opisu technológií WSN so zameraním na batérie, pretože práve tie sú hlavným predmetom skúmania. Vyčlenenie najčastejšie používaných batérií či vyhodnotenie ich výdrží z teoretického pohľadu, vďaka štúdiu jednotlivých technických špecifikácií. To všetko je súčasťou tejto časti spolu s opisom samotných druhov uzlov, vybraných svetových výrobcov alebo používaných komunikačných štandardov.

V ďalšej, praktickej časti, je cieľom prakticky otestovať v simulovaných testoch uskutočňovaných nielen v už existujúcej WSN umiestnenej vo vedeckom parku Univerzity Palackého - Holic. Cieľom je tiež nasimulovať testovanie s jednotlivými uzlami v interiéri a tak získať čo najpresnejšie informácie o správaní ich batérií v daných testoch. Jednotlivé testy budú prebiehať na základe predom pripravených scenárov a budú sa zaoberať energetickým zaťažením batérie pri rôznom intervale záznamu dát, komunikačnej vzdialenosti uzlov, vplyvu prekážok pri prenose dát a zaťaženia batérie jednotlivými senzormi. Z nameraných dát následne bude možné vyvodiť vzťah aj ďalších vplývajúcich faktorov akými sú príkladom meteorologické vplyvy.

Výsledky práce vďaka zosumarizovaniu všetkých testov pomôžu splniť hlavný cieľ, čo je zistenie optimálneho zaťaženie batérie uzlov pri danej konfigurácii. Tým bude možné v budúcnosti efektívnejšie pracovať s WSN nielen v Olomouci ale aj všade tam, kde sa rozhodnutú brať poznatky z tejto práce do úvahy.

Konkrétne závery, predikcie a hodnotenia bude možné konštatovať z vytvorených tabuliek, grafov a iných doplňujúcich vizualizácií a sumarizácií výsledkov meraní.

2 METÓDY A POSTUPY SPRACOVANIA

Táto kapitola je zameraná na predstavenie jednotlivých metód, technológií a postupov spracovania, ktoré boli využívané počas tvorby práce hlavne vo všeobecnom meradle. Celý obsah je prehľadne rozčlenený do nasledujúcich podkapitol. Ďalšie doplňujúce informácie je obsiahnutých v kapitole súčasného stavu problematiky a praktického testovania.

2.1 Použité dáta

Zo zadania bakalárskej práce vyplýva, že celá praktická časť bude zameraná na prácu s uzlami Waspnote Plug&Sense. Jedná sa o produkty spoločnosti Libelium, ktoré v súčasnosti prakticky využíva Katedra geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Dostupné sú varianty uzlov Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture Pro a ich využívanie je bližšie vysvetlené v kapitolách opisu použitej technológie v rámci kapitoly praktického riešenia. Vďaka nim budú poriadované všetky dáta, z toho dôvodu nie je potrebné popisovať ďalšie zdroje dát. Dostupné budú vo formátoch .log, .txt, .xlsx, do ktorých sú automaticky zapisované prostredníctvom využitých záznamových programov, opísaných v nasledujúcej kapitole.

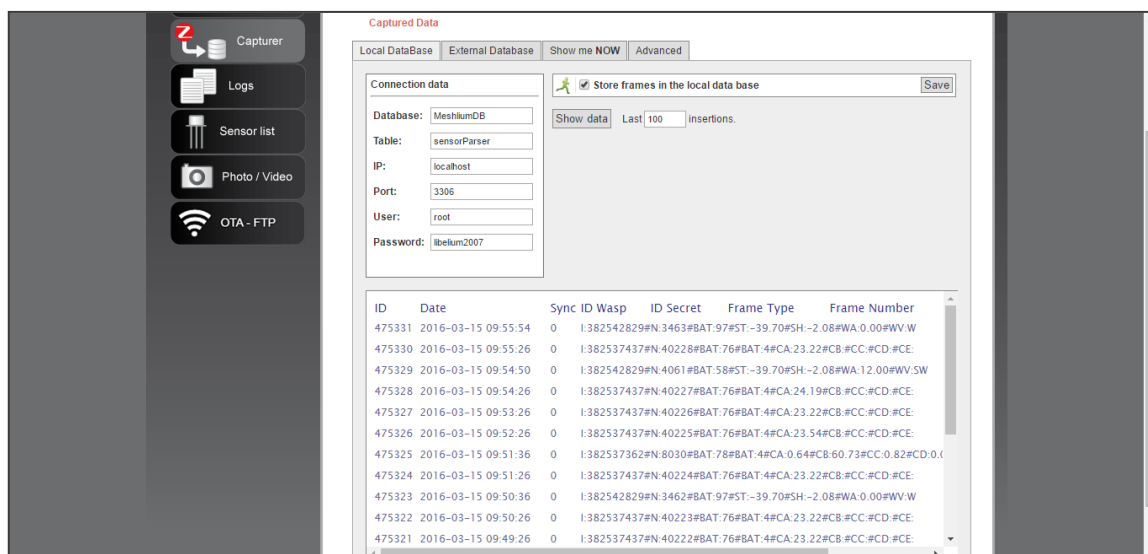
Pri samotnom testovaní budú využívané jednotlivé druhy dostupných uzlov na Katedre geoinformatiky. Ako bolo spomenuté, ich konkrétnemu opisu sú venované vlastné kapitoly, obsahujúce taktiež podrobnejšiu charakteristiku batérie využívanej v daných uzloch a komunikačného protokolu, vďaka ktorému je možno dáta získavať.

2.2 Použité programy

List použitých programov možno rozdeliť do niekoľkých kategórií. Na programy, pomocou ktorých boli dáta zhromažďované, následne na tie, pomocou ktorých sa spracovávali do použiteľnej podoby a tiež, ktorými boli vizualizované, resp. vďaka ktorým boli vytvárané výstupy.

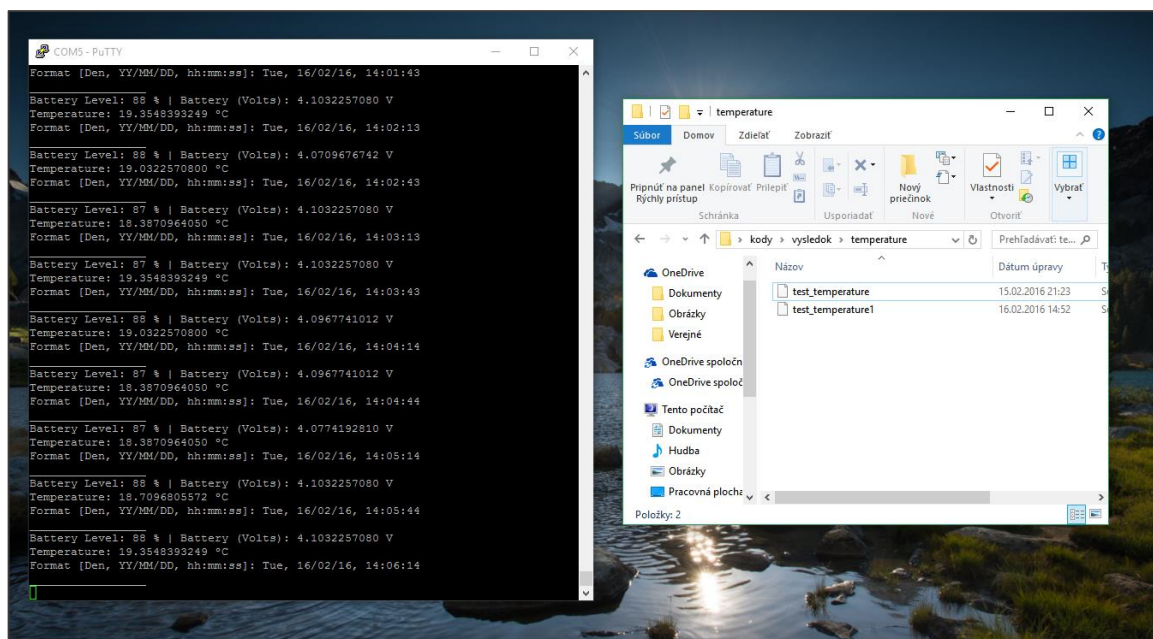
Na ukladanie dát z externého testovania bola aktívne využívaná lokálna MySQL databáza brány Meshlium vo verzii 5.0.5.1a, ktorej veľkosť je 5,5 GB. Dáta sa do nej ukladali v znakovej sade UTF-8, pričom namerané hodnoty spolu s informáciami o bráne sa ukladali v textovom formáte. Pri ich exporte sa jednotlivé číselné hodnoty previedli na float. Na prístupu k týmto dátam je možno využívať dvoch programových riešení. Prvým z nich je využitie oficiálnej webovej aplikácie Manager System, slúžiacej na celkovú správu brány. Druhým variantom je využitie nástroja phpMyAdmin, ktorý umožňuje

priamu správu databázy pomocou SQL príkazov a export dát najmä do .csv súboru (Waspnote Quickstart Guide, 2014). Virtuálne prostredie spolu s tzv. surovými dátami, ktoré boli poriadané priamo uzlami v Holicí a poslané do brány sú zobrazené na obrázku č.1.



Obrázok č. 1: virtuálne prostredie brány Manager System
Zdroj: autor

Záznamy z interného testovania boli v prvom rade vizualizované pomocou Serial Monitoru Waspnote Plug&Sense PRO IDE v04 prostredia, s najaktuálnejšou verziou Waspnote API v20. Ich ukladanie priamo do textového súboru formátu .log sa následne uskutočňovalo prostredníctvom programu PuTTY suit v0.65, ktorý namiesto zobrazovania real-time dát z uzla v Serial Monitore, tieto informácie priamo a nepretržite ukladal do daného súboru. Vďaka tomu nebolo potrebné kopírovať informácie zo Serial Monitoru ale po ukončení testovania boli všetky dáta prítomné v jednom súbore uložené na disku používaného počítača. Tento fakt veľmi uľahčil prácu pri následnom spracovaní dát a zaistil tak komplexné záznamy o testovaní. Na obrázku č. 2 je možno si prezrieť ako vyzeralo záznamové prostredie PuTTY suit a taktiež vytváraný súbor formátu .log vyobrazený v okne priečinka nazvaného „temperature.“ Tento screenshot bol poriadaný počas testovania miery energetického zaťaženia teplotným senzorom uzla Smart Environment.



Obrázok č. 2: záznam dát z uzla v prostredí počítača pri vnútornom testovaní
Zdroj: autor

Pre vizualizáciu dát do grafických podôb, akými sú grafy, diagramy či tabuľky, bol primárne použitý Microsoft Office Excel a jeho nástroje spolu so software-om R-Studio v0.99.89. Práca bola spísaná v Microsoft Office Word a dopĺňaná o schematické nákresy vytvárané v online programoch Lucidpress a Lucidchart, ArcGIS for Desktop v10.X a Google Earth Pro. Všetky programy vyžadujúce platenú licenciu sú ošetrené a pracujú pod študentskou licenciou Univerzity Palackého v Olomouci.

2.3 Postup spracovania

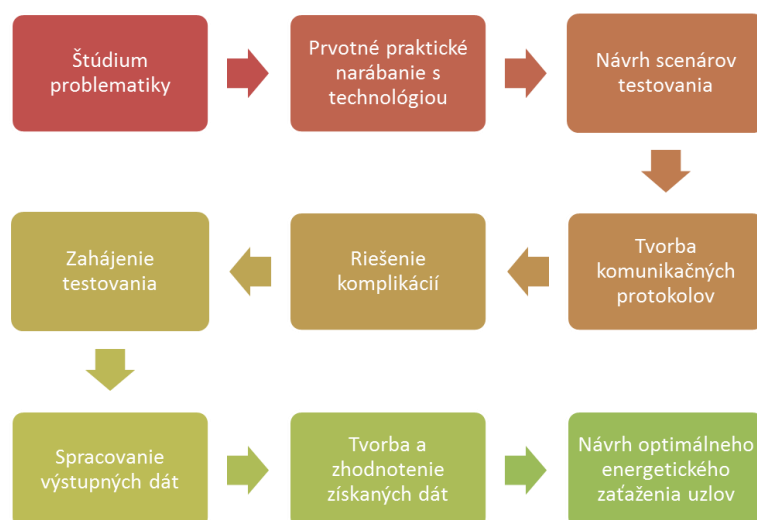
V prvopočiatku tvorby celej práce bolo potrebné preštudovať si veľké množstvo odbornej literatúry týkajúcej sa problematiky technológií WSN so zameraním na produkty spoločnosti Libelium. Pri hľadaní a štúdiu týchto materiálov bolo nutné prikladať väčšiu pozornosť najmä na texty týkajúce sa batérií a energetického zaťaženia sietí či uzlov. Takisto bolo potrebné nájsť čo najlepší spôsob získavania a spracovania informácií z uzlov o ich energetickom stave. Súčasťou tejto fázy bolo rovnako aj spísanie literárnej rešerše k objasneniu faktov ohľadom WSN.

Pri ďalšom postupe bolo nutné zaoberať sa teoretickou prípravou jednotlivých testov, ktoré bolo nutné uskutočniť kvôli reálnym zisteniam ohľadom energetického zaťaženia batérií samotných uzlov v špecifických prípadoch. Preto bolo vytvorených 5 rôznych scenárov praktického testovania, ktorých obsahom bol podrobný popis použitej technológie a testu spolu s otázkami, na ktoré mal test priniesť odpovede. Súčasťou bol taktiež unikátny komunikačný protokol pre každé testovanie, ktorý umožňuje získavanie presne definovaných dát z uzla, resp. jeho senzorov.

Pri plánovaní testov bol dôležitým faktorom výber lokality k ich priebehu. Spomínané plánované testy bolo možné rozdeliť do dvoch rôznych kategórií – vnútorného a vonkajšieho testovania. Vďaka tomu, že testy týkajúce sa zaťažením batérie rôznymi intervalmi záznamu a odlišnými senzormi bolo možné uskutočňovať v interiéri s jedným prípadne dvoma uzlami, pre ich priebeh bolo zvolené vnútorné testovanie, ktoré prebiehalo vďaka neustálemu zapojeniu daného uzla do počítača v domácom prostredí autora práce. Tieto merania prebiehali v časovom rozmedzí od 24. 12. 2015 do 7. 4. 2016. Všetky záznamy z merania vďaka spomínanému programu PuTTY sa automaticky ukladali do súboru .log na disk počítača. Popri meraní bola monitorovaná vlhkosť a teplota v danej miestnosti, kde prebiehal test, nakoľko aj tieto veličiny teoreticky môžu mať vplyv na výdrž batérie.

Vonkajšie testovanie bolo možné uskutočniť na už existujúcej WSN v Holicí. Do najvhodnejších uzlov bol nahratý daný komunikačný protokol podľa pripraveného scenára. Všetky výstupy z uzlov sa ukladali do lokálnej MySQL databázy brány Meshlium, ktorá slúži na tieto účely celej bezdrôtovej sensorovej sieti danej lokality. Testy týkajúce sa vplyvom komunikačnej vzdialenosti medzi uzlami a vplyvu prekážok na prenos dát medzi uzlami prebiehali v období od 1. 1. 2016 do 7. 4. 2016, pričom dodatočne boli využité dáta už z testovania prebiehajúcich od 21. 4. 2015. Podrobnejšia špecifikácie všetkých testov je obsiahnutá v spomínaných scenároch, ktorých set-up je súčasťou príloh práce a ich stručný opis je spomenutý v kapitole praktického testovania.

Poslednou, veľmi podstatnou časťou práce, bolo okomentovanie, zhodnotenie a vizualizácia výsledkov, na základe čoho bolo možné odpovedať na predom položené otázky a tak splniť ciele práce. Po spísaní záveru a dodatočných častí boli taktiež vytvorené webové stránky spolu s posterom, vytvárajúce prehľad o celej práci. Prehľadne proces tvorby vizualizuje obrázok č. 3.



Obrázok č. 3: fázy a postupy v tvorbe práce
Zdroj: autor

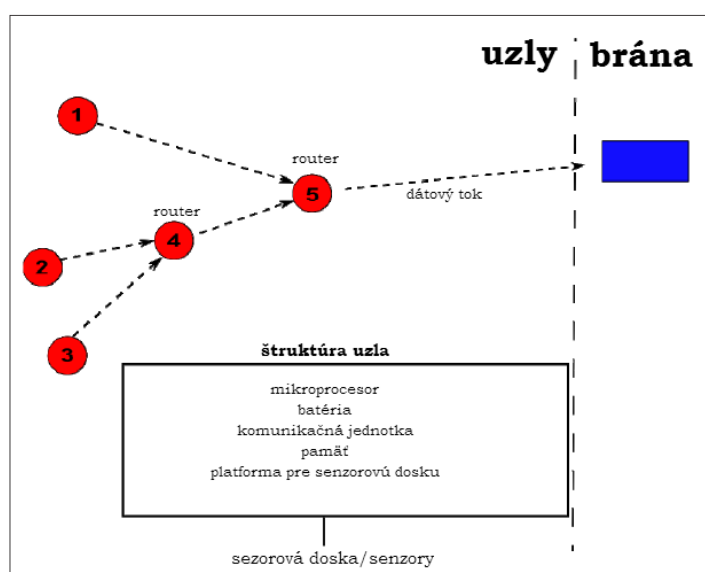
3 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Problematika bezdrôtových senzorových sietí je veľmi obsírne téma, ku ktorej je už spísaných mnoho odborných prác, ktoré boli vytvorené hlavne v niekoľkých posledných rokoch. V nasledujúcich kapitolách je popísaná ich stručná charakteristika vychádzajúca práve z vybraných prác, príklady konkrétneho využitia v praxi a taktiež vyčlenenie tých najdôležitejších pojmov. Väčšia pozornosť je venovaná následne popisu energetických zdrojov a využitiu týchto sietí, nakoľko práve optimálnemu energetickému manažmentu WSN v reálnom prostredí je venovaná hlavná podstata práce.

3.1 Princípy a technológie bezdrôtových senzorových sietí

Bezdrôtové senzorové siete sú relatívne mladou technológiu. Ich vývoj bol motivovaný, ako u väčšiny moderných technológií, vojenskými zámermi (Cisco, 2006). Dnes sú však vo veľkom využívané v širokej škále odvetví, ktoré sú špecifikované v samostatnej kapitole.

Vo všeobecnosti by sa dala WSN charakterizovať ako skupina sebestačných prístrojov vybavená senzormi, ktoré medzi sebou komunikujú a posielajú dáta do zberného bodu. Skladajú sa z dvoch hlavných komponent, ktorými sú technické a programové. Medzi technické patria uzly (nodes), senzory k nim pripojené, brána (gateway) a server (Akyildiz a Vuran, 2011). Jedná sa teda o časti, pomocou ktorých sa dáta poriadujú a zhromažďujú. Vľavo na obrázku č. 4 je vyobrazená časť, ktorá dáta poriaduje a vpravo za prerušovanou čiarou zas časť, ktorá dáta zhromažďuje.



Obrázok č. 4: vizualizácia štruktúry, rozloženia a komunikácie uzlov a brány

Zdroj: autor podľa Hejlová, Voženílek (2013)

Úlohou programových komponent je zas dáta spracovávať a ďalej s nimi narábať. Tie reprezentuje hlavne software, ktorým je buď vybavená brána alebo počítač (Hejlová a Voženílek, 2013).

Po vyčlenení týchto pojmov možno WSN odbornejšie špecifikovať ako systém priestorovo rozmiestnených uzlov, ku ktorým sú pripojené senzory určené na zber konkrétnych dát (teplota, vlhkosť, množstvo znečisťujúcich látok v ovzduší, miera hluku atď.).

Uzly umožňujú bezdrôtovú komunikáciu na základe rôznych bezdrôtových modelov, dokážu v určitej miere ukladať namerané dáta alebo ich v rôznych intervaloch posielajú do brány, čo je vlastne prechodné úložisko. Z nej následne samotný užívateľ získa dáta zo všetkých uzlov a môže s nimi ďalej pracovať.

3.1.1 Topológia

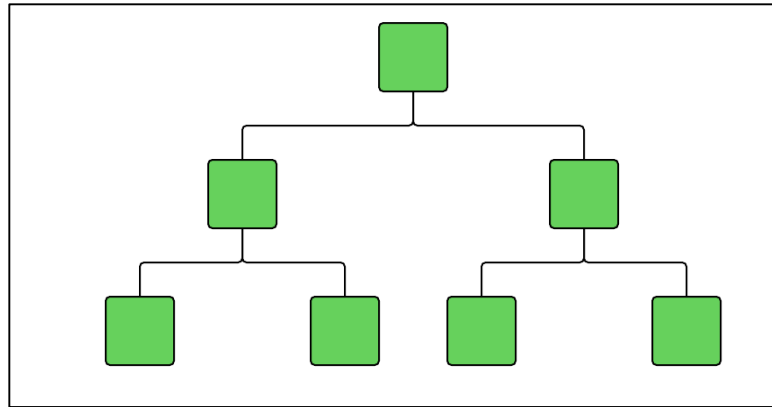
Pre čo najviac efektívny zber dát sa jednotlivé systémy WSN usporadúvajú podobne ako počítačové siete do rôznych topológií, v ktorých podľa daných pravidiel uzly medzi sebou komunikujú, prípadne nekomunikujú. Inými slovami, topológie sensorových sietí odrážajú tok dátovej komunikácie medzi uzlami, resp. do brány (Mizera, 2011).

Topológie možno rozdeliť na dve základné kategórie, ktorými sú fyzická a logická. Fyzická predstavuje reálne usporiadanie uzlov a všetkých ostatných prvkov, ktoré sú súčasťou siete. Oproti tomu logická topológia sa zaoberá smerom prenosu dát medzi uzlami (The Florida Center for Instructional Technology, 2013). Medzi najviac využívané patria stromová, MESH, hviezdicová či plne prepojená topológia (Mizera, 2011).

Pre potreby práce je vhodné zoznámiť sa bližšie s danými topológiami, nakoľko každé rozloženie vplyva inak na jednotlivé uzly. Ovplyvňovaný je tým nielen prenos a kvalita dát ale samozrejme aj spotreba energie.

Stromová topológia (tree)

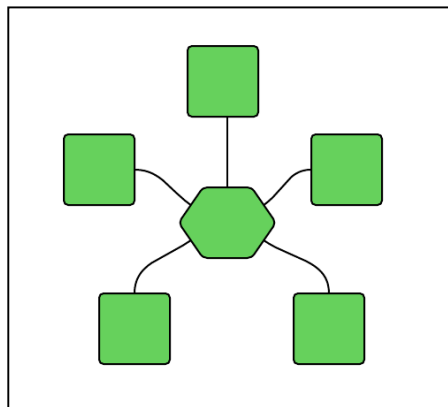
Je jednou zo základných rozložení uzlov, ktoré je založené na ich rozložení do viacerých hierarchických úrovní. Ako je možno vidieť na obrázku č. 5, na vrchole celej zostavy sa nachádza brána, do ktorej sa ukládajú všetky dáta z jednotlivých uzlov pod ňou. Uzly postupne preberajú informácie od ostatných. To je práve najväčšou nevýhodou tejto siete, nakoľko pokiaľ dôjde k výpadku vyššie postaveného uzla, vypadne z prevádzky celá vetva, ktorá pod neho spadá. Z výhod možno spomenúť veľmi ľahkú rozšíriteľnosť, nakoľko ďalší uzol sa jednoducho ďalej zaradiť do celej hierarchie na posledné miesto. Z pohľadu energetického zariadenia, uzly ktoré sú v hierarchii vyššie majú taktiež vyššie požiadavky na dostatok energie nakoľko vykonávajú viac operácií (Cook, 2004).



Obrázok č. 5: schéma stromovej topológie
Zdroj: autor podľa Steven Kosmerchock (2014)

Hviezdicová topológia (star)

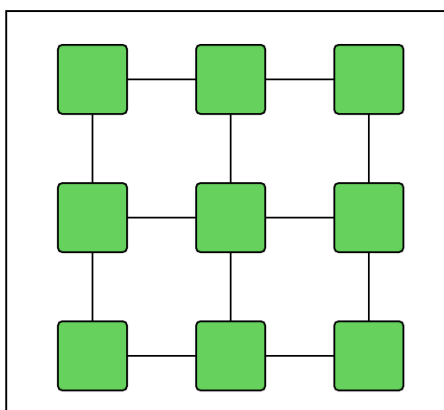
Systém v hviezdicovej topológii je založený na komunikácii cez jeden hlavný bod, ktorým je brána, viď. obrázok č. 6. Uzly nemôžu medzi sebou navzájom komunikovať, všetky operácie vykonáva brána. Najväčšou výhodou je relatívna jednoduchosť nastavovania, prípadného rozšírenia a taktiež rovnaké energetické zaťaženie jednotlivých uzlov (Cook, 2004).



Obrázok č. 6: schéma hviezdicovej topológie
Zdroj: autor podľa Steven Kosmerchock (2014)

MESH topológia

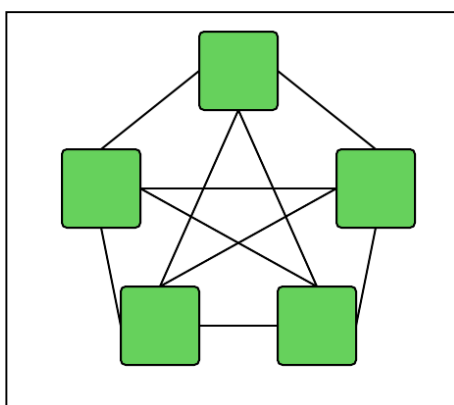
Mesh siete sú distribuované siete, ktoré umožňujú komunikáciu susedných uzlov viacerými smermi. Veľmi často sa používajú na projekty WSN, ktoré sú väčšieho meradla ako napr. monitorovanie požiarov, zemetrasení, pohybu osôb a i. Na obrázku č. 7 je zobrazená táto topológia v pravidelnom rozložení, to však v reálnom rozložení nemusí byť dodržané. Najväčšou výhodou tejto topológie je, že jednotlivým uzlom sa môžu prideliť funkcie vyššie či nižšie, prípadne pri výpadku niektorého z uzlov môže susedný prebrať jeho rolu. Taktiež, táto topológia je najmenej energeticky zaťažujúca pre batérie jednotlivé uzly (Cook, 2004).



Obrázok č. 7: schéma MESH topológie
Zdroj: autor podľa Steven Kosmerchock (2014)

Plne prepojená topológia (fully connected)

Hlavnou devízou fully connected topológie je to, že všetky uzly môžu komunikovať medzi sebou navzájom, tak ako je zobrazené na obrázku č. 8. Výhodu to má hlavne v prípade výpadku niektorého z uzlov. Avšak takéto rozloženie nie je možné použiť pri veľkých sieťach, nakoľko uzly sú limitované komunikačnou vzdialenosťou. Takisto, všeobecne celá sieť je mimoriadne energeticky zapaľujúca, nakoľko uzly musia vykonávať mnoho operácií. Fully connected topológia patrí k tým najzložitejším vôbec a to hlavne z toho hľadiska, že častokrát začiatkový a koncový uzol majú k sebe veľmi ďaleko čo ich výrazne zapaľuje. Takisto optimálny návrh siete do priestoru nie je najjednoduchšou záležitosťou (Kosmerchock, 2014; Mizera, 2011).



Obrázok č. 8: schéma plne prepojenej topológie
Zdroj: autor podľa Steven Kosmerchock (2014)

Samozrejme, existuje ešte niekoľko ďalších topológií, ktoré sú vo svete využívané, avšak ako bolo spomenuté, práve tieto štyri sa využívajú vo WSN najčastejšie a získavanie dát je vďaka nim efektívnejšie. Vždy je potrebné dobre si premyslieť, aké rozloženie uzlov

je pre danú sieť vhodné, nakoľko pri zvolení nevhodnej varianty môže byť meranie viac než kontraproduktívne a veľmi neefektívne.

Výhody a nevýhody daných topológií

Kvôli lepšiemu prehľadu a porozumeniu danej problematiky topológií WSN je nižšie vytvorený štruktúrovaný zoznam výhod a nevýhod každej z nich v podobe tabuľky č.1.

Tabuľka č. 1: Zhrnutie výhod a nevýhod opisovaných topológií. Zdroj: autor

Topológia	Plusy	Mínusy
<i>Stromová</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Lahká rozširiteľnosť • Malá energetická náročnosť okrajových uzlov • Jednoduché prepojenie 	<ul style="list-style-type: none"> • Výpadok vyššie postaveného uzla zasiahne celú vetvu • Nerovnomerné energetické zaťaženie
<i>Hviezdicová</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rovnaké energetické zaťaženie uzlov • Jednoduchá rozširiteľnosť • Nezávislosť každého uzla 	<ul style="list-style-type: none"> • Nemožnosť komunikácie uzlov medzi sebou • Všetky operácie závislé na bráne
<i>MESH</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Najmenej energeticky zaťažujúca • Autonómne uzly • Schopnosť uzla prebrať funkciu susedného 	<ul style="list-style-type: none"> • Náročná administrácia celej siete • Výhodná len pri veľkých oblastiach merania
<i>Plne prepojená</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Vzájomná komunikácia všetkých uzlov • Schopnosť pracovať aj v prípade vypadnutia uzla 	<ul style="list-style-type: none"> • Energeticky zaťažujúca • Obmedzená na malé územia • Veľmi zložitá

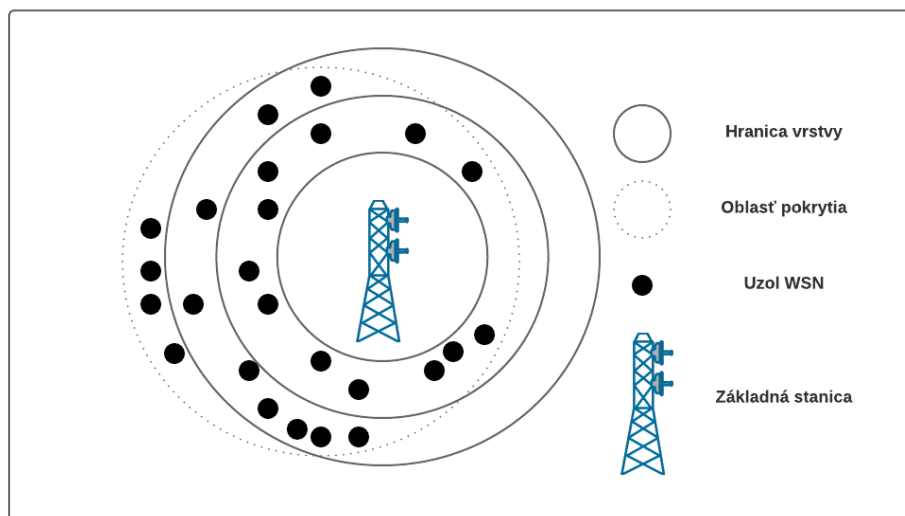
3.1.2 Architektúry sietí

Okrem vyššie opísaných topológií WSN možno rozvrhnúť do dvoch rôznych architektúr. Jedná sa o vrstevnú a klastrovú architektúru. Výber vhodnej architektúry je limitovaný na základe hneď niekoľkých faktorov. Na základe územia, v ktorom by mala byť sieť zostavená si je potrebné vopred všímať napr. jeho charakter, členitosť, množstvo vegetácie a i. Samozrejme vopred je vhodné zhodnotiť aj veľkosť samotnej siete. Tieto faktory sú veľmi dôležité pre dosah signálu, prípadné obmedzenia pri jeho prenose, k efektívnemu zberu dát a v neposlednom rade taktiež kvôli energetickej náročnosti (Dostál, 2015).

Vrstevná architektúra

Ako napovedá samotný názov architektúry, celá sieť je rozdelená do niekoľkých vrstiev. Všetky sú usporiadané v okolí brány/základnej stanice, ktorá je zväčša centrom celého systému a posielajú sa do nej nazbierané dáta. Vrstvy sú následne delené do jednotlivých koncentrických zón vôkol nej, v ktorých sa nachádzajú jednotlivé uzly. Možno ich taktiež deliť na základe vrstvy na jednoskokové a dvojskokové. Schematický náčrt takejto architektúry je na obrázku č. 9.

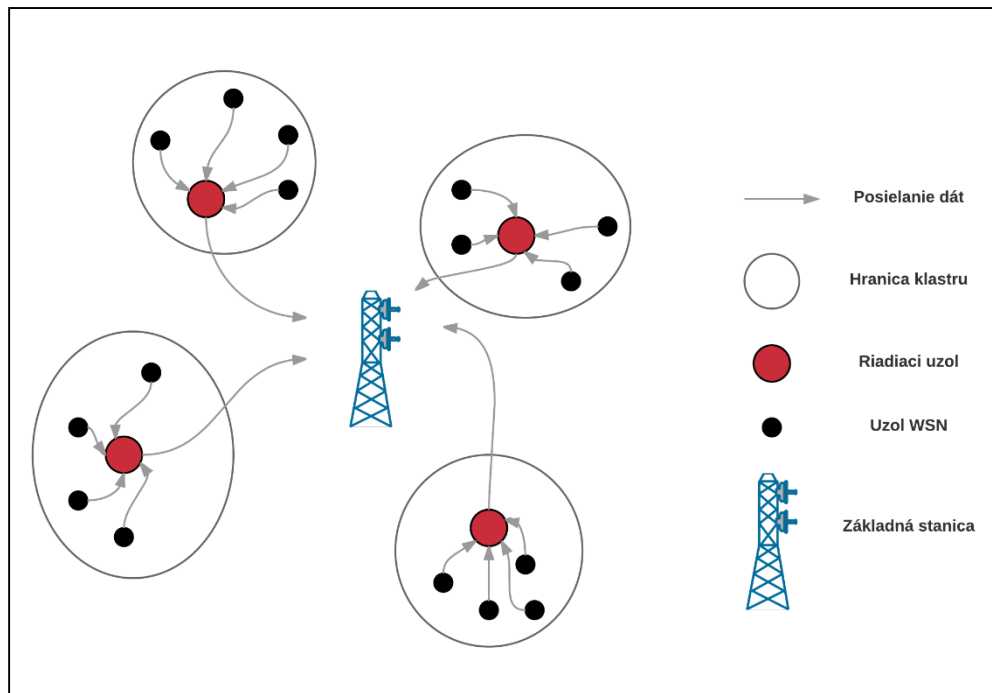
Kvôli tomu, že v najvzdialenejších vrstvách od základnej stanice už nie je možné posielat dáta z uzlov priamo k nej, je využívaný spôsob posielania multi-hop. Jedná sa o spôsob, ktorý práve umožňuje posielanie informácií na veľké vzdialenosti tým, že informácie sa neposielajú priamo ale skrz ostatné uzly v sieti, ktoré sú bližšie k danej stanici. Na základe toho je možné docieliť efektívne šetrenie spotrebovanej energie pri jednotlivom posielaní dát a tým zaistiť dlhšiu životnosť uzla aj vo veľkých sieťach (Murthy, 2004).



Obrázok č. 9: schematický náčrt vrstevnej architektúry
Zdroj: autor podľa Murthy (2004)

Klastrová architektúra

Klastrová architektúra rozloženia bezdrôtových sensorových sietí je typická tým, že jednotlivé uzly sú zhromaždené do určitých skupín, pričom každá skupina má svoj jeden riadiaci uzol (cluster head), tak ako je zobrazené na obrázku č. 10. Tieto riadiace uzly zbierajú informácie z ostatných uzlov spadajúcich do jednotlivých klastrov im priradených a následne posielajú zhromaždené informácie do základne stanice. Takýmto spôsobom je možno vytvoriť pokrytie rozsiahleho územia hierarchickým usporadovaním klastrov (Murthy, 2004; Dostál, 2015).



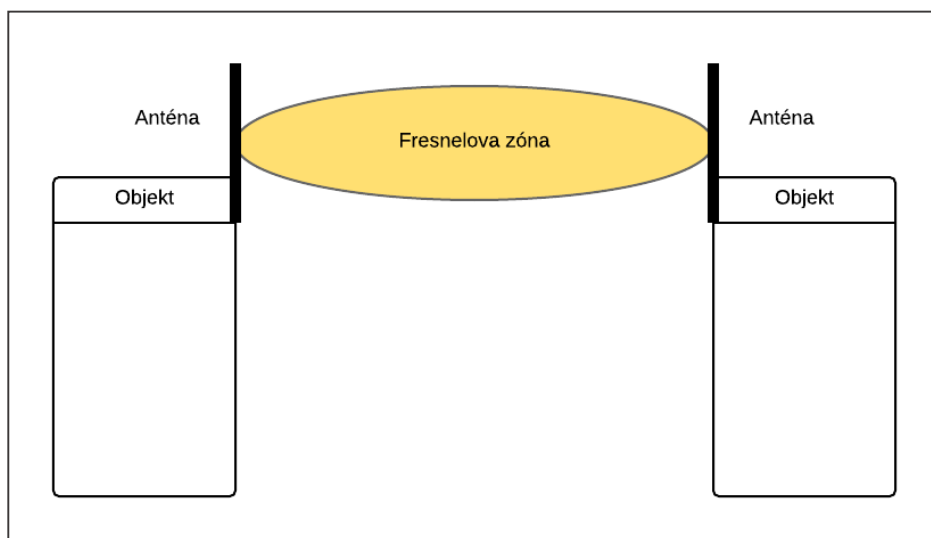
Obrázok č. 10: schematický náčrt klastrovej architektúry
Zdroj: autor podľa Murthy (2004)

3.1.3 Možnosti komunikácie

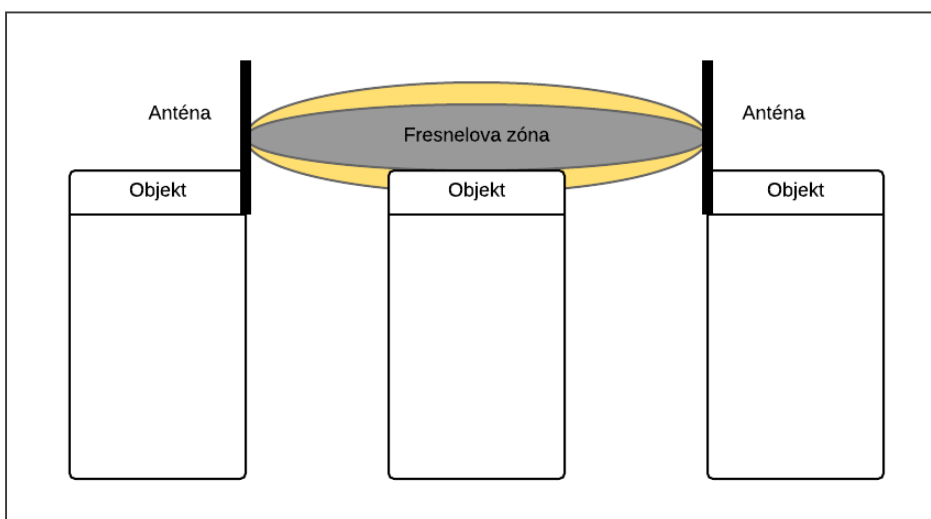
Základným predpokladom správneho fungovania celej bezdrôtovej sensorovej siete je komunikácia medzi samotnými uzlami a ostatnými prvkami siete. Komunikácia je zabezpečovaná na princípe šírenia elektromagnetických vln. Vďaka Maxwellovým rovniciam je možno popísať, že meniace sa pole magnetické vytvára pole elektrické a zároveň meniace sa elektrické pole vytvára to magnetické. Zaručené teda je, že elektromagnetické vlny sú schopné šíriť sa samy. Vlny sa šíria všetkými smermi v kruhu a vzdialenosťou sa tento kruh zväčšuje, preto s väčšou vzdialenosťou je signál vždy menej presný a je potreba na jeho zachytenie vynaložiť väčšie množstvo energie. To isté platí aj pri prenose signálu v zastavanom alebo zalesnenom území, kde dochádza

ku zoslabovaniu signálu jednotlivými prekážkami, ktoré ho odrážajú prípadne pohlcujú (Mizera, 2011).

Logicky vyplýva, že nutnou podmienkou šírenia signálu je priama viditeľnosť medzi prijímačmi a vysielačou anténou, resp. vysielačím uzlom a prijímačom. Pre kvalitný prenos musí byť taktiež voľná tzv. Fresnelova zóna. Tá je definovaná ako určitý priestor okolo spojnice dvoch bodov v tvare elipsoidu. Pokiaľ je táto zóna narušená, nemá za následok príliš podstatné zníženie úrovne signálu, avšak sa prejaví nárastom rušivých odrazov, ktoré znižujú jeho kvalitu. Pokiaľ nie je voľných aspoň 60 % priemeru tejto zóny, dochádza k výraznej degradácii kvality spojenia (Ni a kol., 2013). Obrázky č. 11 a 12 zobrazujú príklad nenarušenej a narušenej Fresnelovej zóny.



Obrázok č. 11: príklad nenarušenej Fresnelovej zóny
Zdroj: autor podľa Proxim Wireless Corporation (2016)



Obrázok č. 12: príklad narušenej Fresnelovej zóny
Zdroj: autor podľa Proxim Wireless Corporation (2016)

Pre bezproblémový prenos dát je potrebné taktiež využitie niektorého z komunikačných štandardov. Ich vývojom sa zaoberá hneď niekoľko spoločností, z ktorých najznámejšou, podľa odhadu autora na základe preštudovanej literatúry, je pravdepodobne profesijná nezisková organizácia IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Pri voľbe vhodného štandardu je taktiež potrebné dbať na vhodný výber. Každý má svoje špecifické požiadavky a nároky, vrátane tých energetických. Preto v nasledujúcich riadkoch sú opísané niektoré z nich spolu s krátkou špecifikáciou, z ktorej možno ľahko vyvodit' ktorý je tým najlepším pre dané použitie.

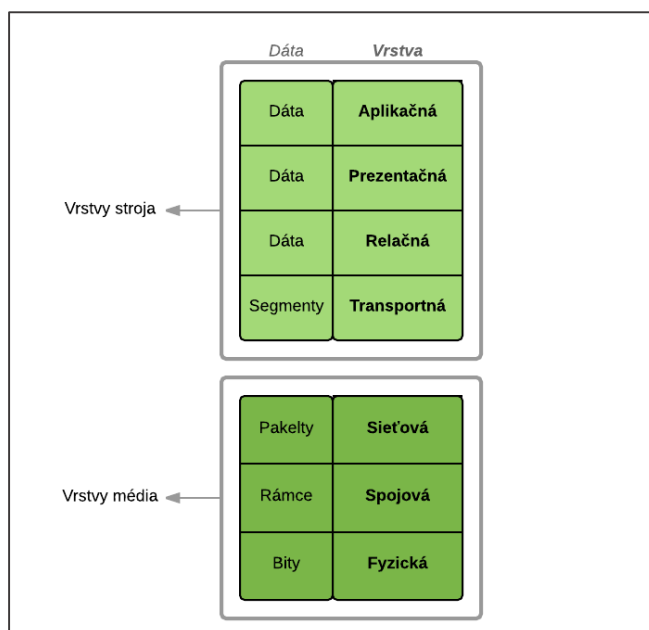
Medzi najvyužívanejšie štandardy patria IEEE 802.15.4, ZigBee, ISA 100, WirelessHART alebo 6LoWPAN (Mizera, 2011).

IEEE 802.15.4

Tento štandard bol vytvorený organizáciou IEEE so zameraním na nízko-rýchlostné zariadenia, ktoré majú nízke požiadavky na spotrebu energie. Možno ho využívať pri komunikácii na krátke vzdialenosti (desiatky metrov) s obmedzenou prenosovou rýchlosťou 250 kb/s. Reprezentuje fyzickú a spojovú vrstvu OSI (Open Systems Interconnection), ktorý je všeobecným modelom architektúry prepojenia systémov (Grygárek, 2003). Všetky vrstvy tohto modelu sú zobrazené na obrázku č. 13.

Štandard IEEE 802.15.4 využíva nasledujúce frekvenčné pásma:

- pásmo 2,4 GHz, 16 kanálov, prenosová rýchlosť 250 kb/s, celosvetovo,
- pásmo 915 MHz, 10 kanálov, prenosová rýchlosť 40 kb/s, pre USA,
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, prenosová rýchlosť 20 kb/s, pre Európu.



Obrázok č. 13: referenčný model OSI
Zdroj: autor podľa <http://goo.gl/Mjkbhc>

ZigBee

ZigBee je komunikačným štandardom, ktorý je veľmi často používaný pri bezdrôtových senzorových sieťach s väčším počtom uzlov. Predstavuje názov špecifikácie pre sadu vysoko úrovňových komunikačných protokolov používajúcich malé, energeticky nenáročné digitálne rádiá založené na IEEE 802.15.4. Táto technológia je považovaná za všeobecne lacnejšiu a jednoduchšiu než tie ostatné. Jeho veľkou výhodou v súvislosti s problematikou práce je taktiež veľmi nízka spotreba energie, preto sa častokrát používa pre batériou napájané uzly. Využitie taktiež našiel pri možnostiach prenosu dát produktov Libelium Waspote Plug&Sense rady (Mizera, 2011).

ISA 100 a WirelessHART

Štandardy vyvinuté spoločnosťou ISA, ktoré slúžia ako nadstavby pre IEEE 802.15.4. Využívajú sa najmä v priemyselnej sfére k automatizácii prístrojov (Staudek, 2014).

6LowPAN

6LowPAN je skratka pre Ipv6 over Low Personal Area Networks. Vo voľnom preklade ho teda možno opísať ako štandard v napäťovo nenáročných WSN. Je postavený na základe na štandarde IEEE 802.15.4, pričom je zameraný na posielanie a prijímanie Ipv6 paketov vo WSN, resp. PAN (Personal Area Networks). Umožňuje zapojenie bezdrôtových zariadení už do existujúcich IP sietí (Mizera, 2011).

3.1.4 Najznámejší výrobcovia

V tejto kapitole budú rozoberaní niektorí z výrobcov bezdrôtových senzorových sietí, zvolených na základe expertného odhadu autora práce za tie najviac využívané. Ako bolo uvedené, pre samotné testovanie na účely práce budú použité produkty spoločnosti Libelium. Okrem nej sa na trhu pohybujú napr. spoločnosti Crossbow, TinyNode alebo Intel Research. Týchto výrobcov spája to, že produkujú najmä prístroje určené na použitie vo vonkajšom prostredí. Produkt spoločnosti Atmel – Arduino, prípadne zariadenia firmy Fibaro, spája hlavne s produktami spoločnosti Libelium to, že sú využívané na tvorbu projektov Smart Cities a Smart Houses. Prepojením najmä nakoniec menovaných výrobcov sa zaoberá spoločnosť Lynco Technologies prostredníctvom nimi produkovanej platformy Lhings.

V súčasnosti existuje však taktiež spolu viac než 100 rôznych výrobcov a ich produktov, ktorých list je dostupný na nasledovných webových stránkach: <https://goo.gl/hx794R>.

Libelium

Španielska firma Libelium je jednou z najväčších firiem produkujúcich prostriedky pre úspešné zostavenie senzorových sietí. Hlavnými produktami sú uzly a senzory Waspote Plug&Sense. Jedná sa o platformu, ktorá dokáže mimoriadne efektívne monitorovať prostredie, nakoľko pri dosahu až 40 km má veľmi nízku spotrebu energie. Je to spôsobené tým, že jednotlivé uzly dokážu efektívne šetriť energiu zdroja prepínaním sa do 4 rôznych módov: zapnuté, spánok, hibernácia, vypnuté, ktoré definuje sám užívateľ v komunikačnom protokole (Waspote Technical Guide, 2015).

Tieto produkty sa využívajú najmä na monitoring životného prostredia, pretože jednotlivé uzly sú schopné niesť senzory, ktoré dokážu monitorovať napr. teplotu, znečistenie vzdušia, výskyt lesných požiarov a i. Ako udáva samotná spoločnosť, existuje však viac ako 50 rôznych oblastí kde možno jej produkty využiť (Asín a Gascon, 2015).

CrossBow

Produkty spoločnosti CrossBow nesúce názov IRIS sú podľa Sensor Magazine (2016) ultra-nízko energeticky zatažujúcimi zariadeniami WSN s veľmi veľkým dosahom. Jednotlivé uzly majú priamy dosah, bez prekážok medzi sebou, viac než 500 m. Nakoľko spoločnosť CrossBow vybavila vlastným zabezpečením dát, bezdrôtový prenos je odolný voči rušeniu. Podobne ako väčšina senzorových sietí využíva na prenos dát komunikačný protokol IEEE 802.15.4 a s frekvenciou 2,4 až 2,48 GHz, ktorý je celosvetovo kompatibilný.

IRIS sa využíva najmä pri monitorovaní teploty, tlaku, zosuvov ale aj napr. zabezpečenia budov rozsiahlymi sieťami (Iris Datasheet, 2007).

TinyNode

Jedná sa o švajčiarsku spoločnosť s prevratným aplikovaným návrhom využitia WSN pre monitoring parkovacích miest. Pre tento účel boli vyvinuté moduly TinyNode 584, ktoré vynikajú mimoriadne dlhou životnosťou batérie, podľa výrobcu až 10 rokov. Modul je schopný pracovať s frekvenciami 433 MHz, 868 MHz a 915 MHz známe ako pásmo ISM. Prenosová rýchlosť nameraných dát môže byť vyššia ako 153 kbit/s pričom má dosah okolo 2 km (Tinynode, 2015).

Intel Research

IMOTE2 alebo iMote2 je vysokovýkonným uzlom bezdrôtových sietí. Bol vyvinutý spoločnosťou Intel Research ako súčasť projektu PlatformX. Uzly pracujú s frekvenciou 2,4 GHz a sú kompatibilné so štandardom 802.15.4. Použité môžu byť napríklad vlhkosť, teplotu či iné veličiny. Najčastejšie využitie je pre monitorovanie detekcií vibrácií pôd (Memsic, 2015).

Atmel

Open-Source produkt spoločnosti Atmel - Arduino (určená pre trh USA), resp. Genuino (určená pre trh mimo USA), je elektronická platforma založená na veľmi jednoducho fungujúcej kombinácii hardwaru a softwaru. Firma produkuje jednoduché a pomerne lacné základové dosky (cena okolo 50 \$), ktoré možno skrz Arduino Software (IDE) naprogramovať programovacím jazykom Arduino založenom na kombinácii Python a C++ tak, že sa dokážu uplatniť vo veľmi širokej škále odvetví (Arduino, 2016).

Jednotlivé základové dosky môžu byť základom pre vytvorenie jednoduchých výukových pomôcok pre študentov, 3D tlačiarň až po samostatne fungujúcich robotov, hudobných systémov alebo efektívne fungujúcich Smart Houses (Blum, 2013).

Práve možnosť aj podomácky vybudovať efektívne fungujúci inteligentný dom zaraďuje Arduino do tejto práce. Jedná sa totiž o možnosť vytvárať nízko-nákladové Open-Source WSN veľmi jednoducho a podľa vlastných predstáv. Svedčí o tom fakt, že len 16-ročný Poliak vytvoril plne fungujúci prototyp Smart House spolu za približne 90 \$ (Instructables, 2016).

Produkty spoločnosti Libelium je z časti taktiež možné využiť na kooperáciu s Arduino platformami. V súčasnosti sa využíva toto prepojenie hlavni pri e-Health Libelium Senzorových platformách, ktoré slúžia ku zefektívneniu zdravotníckej starostlivosti. Vďaka tomu je možné monitorovať napr. pacientov krvný tlak, srdečný tep alebo iné životné funkcie iba pripojením do aplikácie skrz smartphone (Cooking Hacks, 2016).

Fibaro

Produkty spoločnosti Fibaro sú primárne zamerané na tvorbu Smart Houses, resp. automatizáciu, ovládanie a sledovanie stavu domácnosti. Inteligentné bývanie vďaka rôznym druhom senzorov môže byť vytvorené takmer v akomkoľvek prostredí. Ponúkané sú pohybové, dymové senzory, čidlá zisťujúce otváranie dverí alebo okien či prítomnosti vody v prípade vytopenia. Súčasťou celého systému taktiež môžu byť rôzne termostaty na ovládanie teploty, inteligentnú nabíjačku šetriacu elektrickú energiu prípadne šetriče osvetlenia (Homesystem, 2016).

Aby mohli byť jednotlivé senzory považované za súčasť určitej domácej bezdrôtovej siete, komunikujú spolu vďaka Z-Wave protokolu. Jedná sa o otvorený protokol pre bezdrôtovú komunikáciu v automatizovanej domácnosti. Je špeciálne vytvorený tak, aby minimalizoval energetickú spotrebu jednotlivých zariadení. Protokol je určený na prenos nízko-latenčných dátových paketov s rýchlosťou až 100 kbit/s pri frekvencii okolo 900 MHz na rozdiel od Wifi alebo IEEE 802.11, ktoré sú určené hlavne na prenos veľkých dát (Z-Wave Alliance, 2016).

Celý systém Fibaro Smart House je následne možné ovládať skrz dodávané Android alebo iOS aplikácie, pomocou ktorých je možné ovládať všetko, k čomu sú jednotlivé

senzory pripojené, prípadne ponechať automatické ovládanie systému na základe predom nakonfigurovaných požiadaviek (Fibaro, 2014).

Lyncos Technologies

Oficiálnou filozofiou spoločnosti Lyncos Technologies je dať príležitosť výrobcam moderných bezdrôtových technológií prepojiť ich produkty a ovládať ich z jedného virtuálneho interaktívneho prostredia (<https://www.linkedin.com/company/lyncos>).

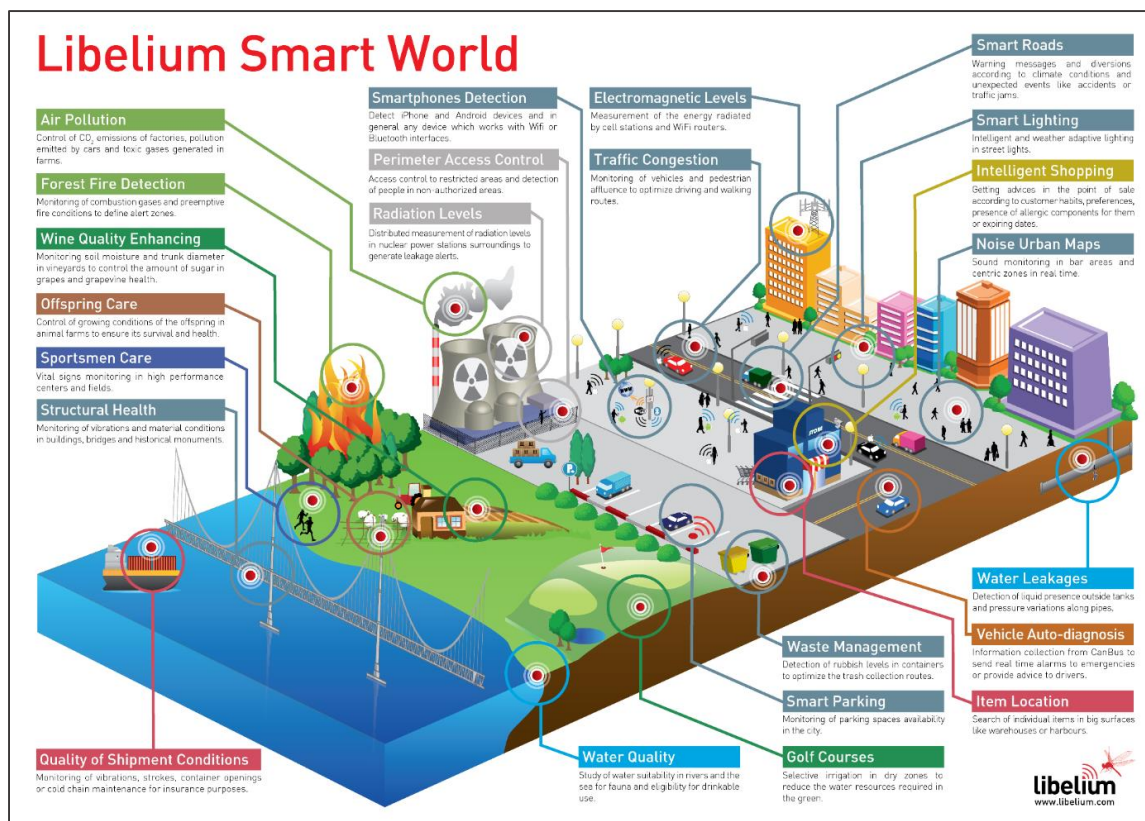
Jedným z ich hlavných produktov je interaktívna platforma Lhings, vďaka ktorej je možné prepojiť prístroje spoločností akými sú spomínané Libelium, Arduino, Fibaro alebo Intel, RaspberryPi a i. do jednej efektívne pracujúcej bezdrôtovej siete. Celý prepojený systém zariadení je možné následne jednoducho ovládať buď skrz počítačové alebo mobilné aplikácie, prípadne tiež posilať príkazy zariadeniam prostredníctvom sociálnych sietí a e-mailov. Taktiež výhodou je, že je možné vytvoriť individuálne pravidlá, vďaka ktorým je možné definovať špecifickú úlohu, ktorú má vykonať. Ako príklad sa dá uviesť nadefinovanie podmienky pre uzly Waspote Plug&Sense, kde by bolo určené, že o 12:00 sa spustí určitý senzor uzla. Aplikácia následne tento senzor automaticky o danom čase spustí (Lyncos Technologies, 2016).

Lhings je stále mladou rozvíjajúcou sa technológiou a je ponúkaná v 4 rôznych variantoch rozdelených a ocenených na základe funkcionality, a hlavne možnosti prepojenia rôzneho počtu zariadení v rozmedzí od 3 do 100, prípadne v špecifických prípadoch aj viac.

3.1.5 Využitie WSN v praxi

Bezdrôtové senzorové siete sa využívajú vo veľkej škále rôznych odvetví. Vo všeobecnosti možno ich využívanie rozdeliť do dvoch väčších kategórií, a to environmentálne a socioekonomické. Toto rozdelenie veľmi dobre demonštruje obrázok č. 14, ktorý zobrazuje najviac využívané oblasti senzorov vo svete.

V rámci využitia v environmentálnej sfére možno zaradiť príklady ako detekcia vzniku lesných požiarov, monitoring znečistenia ovzdušia chemickými látkami, zisťovanie kvality vody a i. Medzi tie socioekonomické patrí napríklad spomínaný monitoring parkovacích miest v mestách, automatická regulácia osvetlenia, využitie v inteligentných mestách (Smart Cities) alebo inteligentných domoch (Smart Houses) (Asín a Gascon, 2015).



Obrázok č. 14: názorné príklady využitia WSN v rôznych sférach

Zdroj: http://www.libelium.com/wp-content/themes/libelium/images/content/applications/libelium_smart_world_infographic_big.png

Podľa expertného odhadu autora, na základe súčasných globálnych problémov a trendov, ku konkrétnym veľmi populárnym, úspešne fungujúcim a užitočným veľkým projektom z environmentálnej sféry patrí napríklad monitoring obnovy dažďových pralesov. Vzhľadom na tematiku práce je to taktiež vhodný príklad implementácie uzlov od spoločnosti Libelium.

Tento monitoring je realizovaný v dažďovom pralesi SpringBrook Queensland. Úspešne sa tu sleduje regenerácia starých porastov pomocou viac než 200 uzlov umiestnených na voľných priestranstvách. Sensory, ktorými sú uzly vybavené, dokážu zaznamenávať informácie o teplote, vlhkosti, vlhkosti listia, vlhkosti pôdy, smer a rýchlosť vetra, údaje o hmle, kvalite vody a i. Popri tom dokážu zaznamenávať aj akustické prejavy jednotlivých živočíchov či nahrávať videozáznamy. Vďaka tomu je možno oveľa lepšie pochopiť samotný život a fungovanie dažďového pralesa. Z energetického hľadiska bolo nutné zabezpečiť čo najnižšiu energetickú náročnosť celého systému. Nakoľko je nutné spracovávať, odosielať a ukladať veľké množstvo dát, čo spotrebuje množstvo energie, boli dané uzly vybavené solárnymi panelmi. Vďaka nim majú uzly dosah až 500 m, dokážu preposielať dáta skrz ďalšie uzly a ukladať získané dáta do webového rozhrania pre ďalšiu analýzu. Túto činnosť by bez stáleho dobijania pomocou solárneho panela nedokázali uskutočňovať nepretržite a len vo veľmi obmedzenom čase (Brunig a kol., 2009).

Na podobnom princípe ako je tomu u monitoringu obnovy dažďových pralesov vo svojej podstatne pracujú aj nasledovné príklady existujúcich WSN zamerané na zisťovania znečistenia životného prostredia alebo spolu s prevenciou voči lesným požiarom, resp. ich detekciou.

Jedným z najviac znečistených veľkomiest v Európe je Londýn. Veľmi často tu bývajú prekročené povolené limity obsahu nežiadúcich látok v ovzduší, čo dokonca mnohokrát zapríčiňuje zatvorenie škôl, úradov alebo vonkajších podujatí (TASR, 2014). Aj na základe týchto faktov bola v urbanizovanej časti mesta vybudovaná bezdrôtová senzorová sieť zameraná na monitoring práve koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší. Jej názov je MoDisNet (Mobile Discovery Net), pričom využíva špeciálne vyvinuté uzly na tento účel, ktoré sa nazývajú GUSTO. Celá sieť je založená na dvojvrstvovej architektúre a skladá sa zo skupín mobilných a stacionárnych uzlov. Tie sú vybavené senzormi merajúce SO₂, NO, NO₂, O₃, NH₃ a benzén. Všetky získané dáta sú následne analyzované a výsledkom by mala byť optimalizácia a redukcia činností vedúcich k znečisteniu ovzdušia v meste (Ma a kol., 2008).

Ďalším podobným a veľmi užitočným využitím WSN v environmentálnej sfére je s určitostou spomínaná detekcia lesných požiarov. Konkrétnymi príkladmi využitia sú napr. projekt SISIA od firmy Dimap-FactorLink v severnom Španielsku alebo využitie produktov firmy Libelium v Minesote. Oba projekty sú založené v oblastiach s vysokým rizikom vzniku požiaru. Vďaka senzorom, ktoré monitorujú hlavne teplotu, koncentráciu CO a CO₂ vo vzduchu alebo jeho vlhkosť, dokážu následne prístroje vyhodnotiť a včas varovať pred vznikajúcim požiarom. Jednotlivé uzly sú vybavené GPS lokalizátorom, takže dokážu okamžite požiar aj lokalizovať, prípadne zistiť jeho šírenie. Celý systém pracuje real-time, to znamená, že všetky dáta sú okamžite k dispozícii. Hlavnou charakteristikou systému je jeho nízka spotreba energie. Konkrétne pri využití produktov firmy Libelium, je spotreba v režime online 9 mA, v hibernácii 62 μ A a pri spánku 0,7 μ A. Systém je schopný komunikovať na 40 km. Všetky dáta sa ukladajú do linuxového routra s SQL databázou Meshlium (Solobera, 2010).

V súčasnosti veľmi aktuálnym využitím WSN v socioekonomickej sfére je využitie v tzv. Smart Cities, resp. Smart Houses, ktoré zažívajú v súčasnej dobe technologického pokroku veľký rozmach. Jedná sa o komplexné projekty, kde vďaka bezdrôtovým sieťam dokáže mesto alebo dom fungovať oveľa efektívnejšie. Konkrétnym príkladom môže byť využitie senzorov v Santanderu. V tomto prípade je použitých viac než 1100 senzorov, ktoré monitorujú CO, teplotu, hluk, osvetlenie, parkovacie miesta a môžu byť prepojené s kamerovým systémom. Vďaka tomu je monitorované komplexne celé mesto z rôznych uhlov pohľadu a tým sa môže oveľa lepšie a úspornejšie správať (Bielsa, 2013).

V Českej republike úspešne začínajú rozbiehať projekty Smart Cities napríklad v Brne, Prahe alebo Písku. V ostatných, hlavne väčších krajských mestách dochádza

postupne k prechodu a využitiu WSN v určitých sférach. Ani v jednom meste v Česku však nie je ucelený komplex tohto projektu. Brno má čiastočne spustené inteligentné križovatky a osvetlenie, Praha ako hlavné mesto vždy disponovala najnovšími technológiami, avšak systematicky a prepojene v nej doposiaľ nefungujú. Práve Smart City Písek je najväčším adeptom stať sa prvým plne fungujúcim Smart City v republike (IQRF Alliance, 2015).

Písek ako mesto s veľmi dobrou polohou a dopravnou dostupnosťou do strategicky dôležitých centier akými sú Praha, Plzeň, České Budějovice alebo Viedeň či Linz, spolu s primeraným počtom obyvateľov (okolo 30000), pomerne technologicky pokročilými mestskými technológiami bolo vybrané za ideálne prostredie na vytvorenie prvého plne fungujúceho konceptu inteligentného mesta v Českej republike. Cieľom projektu je nielen implementovať inteligentné systémy do dopravy, energetiky, služieb a infraštruktúry mesta ale taktiež zabezpečiť jednotné dátové centrum, efektívne plánovanie či plnenie strategických cieľov. Hlavnou motiváciou projektu je vytvoriť riadenú spoluprácu medzi mestom, akademickou a komerčnou sférou spolu s využitými technológiami (Polansky, 2015).

Technologickým cieľom projektu je vytvoriť tzv. Big Data Center, v rámci ktorého sa majú ukladať získané dáta z väčšiny Internet of Things senzorických platforiem rozmiestnených v budovách, verejných priestoroch, semaforoch, inžinierskych sieťach alebo aj plánovaných elektro – čerpacích staníc a mnohých iných zabezpečovaných najmä spoločnosťou Schneider Electric. Následne je snaha integrovať tieto dáta do GIS systémov v rámci e-services (TCP, 2016).

Spomínané Internet of Things (IoT) senzorické platformy tvoria bezdrôtovú senzorovú sieť ovládanú skrz určitý software do najmenšieho detailu prostredníctvom internetu – Wifi siete. Celý systém pracuje v reálnom čase, čo znamená, že je neustále v prevádzke a je možné do neho zasahovať a ovládať ho. Môže v ňom byť prepojených niekoľko tisíc senzorov usporiadaných do špeciálneho typu klastrovej architektúry nazývanej event-driven architektúra, ktorá je založená na rýchlom reagovaní pre požiadavky klienta. V rámci IoT je často využívaný 6LoWPAN (Low power Wireless Personal Area Networks) nakoľko senzory neprenášajú objemné dáta a energetickú náročnosť je potrebné čo najviac zmenšiť. K samotnému prenosu je najčastejšie využívaný protokol IEEE 802.15.4, ZigBee alebo Z-Wave (Kopetz, 2011; Hanson, 2005; Jenson a kol., 2015).

Na podobnom princípe ako inteligentné mestá pracujú práve aj Smart Houses. Vo svojej podstate ideálne Smart City by malo byť tvorené výlučne inteligentnými domami, aby jeho podstata bola plne vystihnutá. Vďaka údajom získaných zo senzorov dokáže dom, resp. program, ktorý kontroluje a automatizovane ovláda jednotlivé časti domu, regulovať všetky systémy podľa potreby. Príkladom môže byť napr. využitie údajov o teplote na reguláciu vykurovania, údaje o množstve CO₂ v ovzduší pre reguláciu

ventilácie, či vďaka senzorum pohybu alebo svetla ovládať osvetlenie a pod. (Smart Cities Magazin, 2016).

Princíp funkcionality je veľmi podobný ako u opísaného Smart City alebo v predošlej kapitole spomínaných Fibaro prípadne Lhings produktov. Využíva sa najmä Internet of Things, čiže ovládanie zariadení prostredníctvom internetu z jedného aplikačného prostredia. Jednotlivé senzory sú usporiadané do Mesh topológie komunikujúce prostredníctvom ZigBee alebo Z-Wave komunikačného protokolu podľa preferencií výrobcu samotnej technológie. Tie sú založené na nízkej energetickej náročnosti pretože uvádzajú senzory a zariadenia do spánku alebo hibernácie, prípadne ich vypne. V spolupráci s inteligentnými riadiacimi centrami sietí dokáže byť smart domácnosť až o 1/3 úspornejšia než rovnako veľká domácnosť nevyužívajúca takéto technológie (Chandler a Edmonds, 2008).

Pre ešte väčšiu efektivitu energetického šetrenia je možné využiť technológiu Insteon, ktorá dokáže oddeliť vysielajúce jednotlivé vlny od seba tzv. dual-mesh sieťou. Takéto kríženie totiž zapríčiňuje väčšiu energetickú náročnosť. Pracuje vo frekvenčných pásmach 915 MHz a zároveň 132 kHz pričom dokáže podporovať všetky druhy súčasných senzorov. Jedná sa vo svojej podstate o značne vylepšený Z-Wave protokol pričom dokáže ušetriť o polovicu viac energie vďaka tomu, že na funkcionality každého pásma spotrebuje len polovicu z 220 V energetického zdroja. Tým môže pracovať naraz dvakrát viac prístrojov naraz oproti iným protokolom (Insteon Details, 2013).

Na Univerzite Palackého, Katedre geoinformatiky sa prakticky využívajú produkty spoločnosti Libelium, uzly a senzory produktovej rady Waspnote Plug&Sense vo vyhotoveniach Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture Pro. Pre samotné ukladanie nazbieraných dát slúži linuxový router Meshlium. Jeho súčasťou je SQL databáza, ktorej veľkosť môže byť až 32 GB. Môže komunikovať až pomocou piatich rozhraní, ktorými sú Wifi 2,4 GHz / 5 GHz, ZigBee, Bluetooth alebo GPRS / 3G. Prístup k dátam je možný tiež cez Wifi, skrz pevnú IP adresu alebo priamym prepojením ethernetového kábla. Všetky sa dajú zobrazíť pomocou rozhrania Meshlium Manager System.

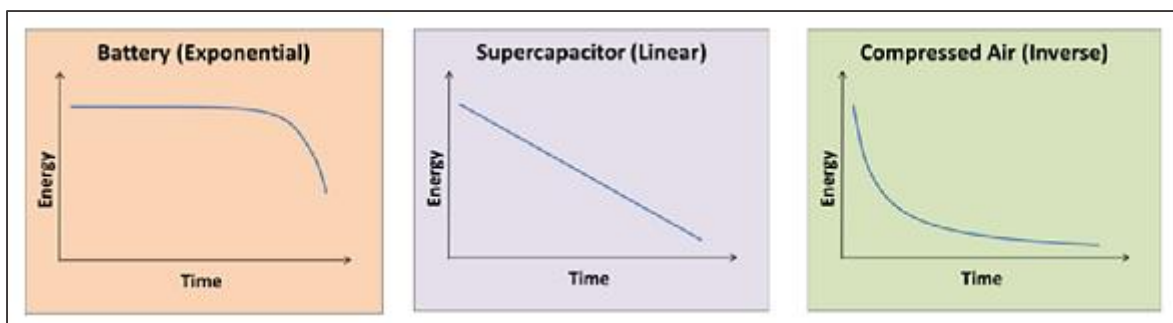
Senzorová sieť je umiestnená v areáli Holic, kde sa dajú ideálne simulovať určité praktické príklady topológií prípadne rozložení uzlov v rámci testovania napr. vplyvu komunikačnej vzdialenosti, čo je využité v praktickej časti práce.

3.1.6 Energetické zdroje

Energetické zdroje všetkých druhov spomínaných senzorov či zariadení od popisovaných výrobcov sú neopomenuteľnou podmienkou ich samotného fungovania. Energiu môžu čerpať priamo z elektrickej siete alebo častejšie z rôznych druhov batérií, nakoľko sa jedná vo väčšine prípadov o mobilné zariadenia. Práve batériám je venovaná hlavná časť tejto kapitoly, nakoľko aj samotné testovanie práci je venované práve ich energetickému zaťaženiu.

Problematikou batérií sa zaoberá hneď niekoľko odborných článkov, prípadne kapitol publikácií týkajúcich sa riešením otázky využívania bezdrôtových senzorových sietí. Príkladom možno spomenúť štúdiu zaoberajúcu sa energetickým managementom pre uzly WSN (Sharma a kol., 2011), ktorá objektívne rozoberá, že rôzne využívanie senzorov (rôzny interval merania, druh používaného senzoru a i.) odlišne ovplyvňuje životnosť batérie. Pojednávanie o rôznej spotrebe batérií na základe využívania uzla je taktiež uvedené už v jednej z rozsiahlejších prác opisujúcich WSN a ich uzly (Dargie a Poellabauer, 2010). Uvedené je, že nemožno dopredu v súčasnosti predvídať ako rýchlo sa batéria daného uzla vybije, nakoľko existuje veľmi veľa faktorov, ktoré to ovplyvňujú.

Známe sú však všeobecné pravidlá na základe, ktorých možno predpokladať, akým štýlom sa budú jednotlivé batérie vybíjať. Stanovené sú na základe niekoľko-ročných testovaní uskutočňovaných spoločnosťou Cadex, známej aj ako Battery University (<http://batteryuniversity.com/>). V prehľade jej výskumov o vybíjaní batérií je uvedené, že existujú tri typy tak ako je zobrazené na obrázku č. 15.



Obrázok č. 15: rôzne druhy vybíjania batérií
Zdroj: prevzaté z www.batteryuniversity.com

Pre technológie WSN by mal byť najcharakteristickejší prvý zobrazený typ vybíjania, teda exponenciálny, kde si batéria drží dlhší čas určitú úroveň nabitia alebo sa vybíja veľmi pomaly a ku koncu dochádza ku zreteľnému prepadu. Ako je tomu v skutočnosti overia testovania. Najčastejšie sú využívané Li-ion, Lead acid a nikelnaté batérie, ktoré sú vždy vybavené určitou ochranou, zväčša je to 5 % kapacity batérie, ktorej sa nikdy nevybije do úplného dna (Cadex Electronics, 2016).

Ako ušetriť energiu a predĺžiť tak životnosť uzlov bolo pojednávané v štúdiách, kde bola snaha o vytvorenie a implementovanie nízko energeticky náročného protokolu do existujúcej siete (Festor a Nataf, 2012; Jawad Ali a Partha, 2008). Venovali sa taktiež vývojom špeciálnych algoritmov, vďaka ktorým by mohli byť vyvíjané energeticky málo zaťažované topológie WSN (Ababneh, 2008) alebo prípadne hľadaním práve tej najmenej energeticky zaťažujúcej topológie (Kaur, 2012).

Častokrát sa však z preštudovanej literatúry a štúdií vytrácal najzákladnejší fakt platný v oblasti funkcionality a vybíjania batérií – teplota. Podobne ako ľudia aj batérie najlepšie a najdlhšie pracujú v domácom prostredí pri izbovej teplote okolo 20 °C. Pri bežnom využívaní batérií už pri teplotách prevyšujúcich 27 °C alebo klesajúcich pod 0 °C je väčšina používaných batérií schopná dodať prístroju len 50 % disponovanej energie, pokiaľ sa tieto náhle zmenia. Je to spôsobené elektrochemickou reakciou prebiehajúcou v batériách, ktorú náhle zmeny teplôt spomaľujú pri rapídnom ochladení a naopak zrýchľujú pri väčšom oteplení. Výkyvy počasia, časté presuny prístrojov alebo využívanie batérií v prístrojoch umiestnených napríklad v autách sú veľmi ovplyvňované týmito faktormi. Preto je nutné brať ohľad aj na tieto faktory (Cadex Electronics, 2016).

Spoločnou motiváciou na tvorbu nielen vyššie spomenutých štúdií ale taktiež mnohých ďalších vrátane aj diplomovej práce zaoberajúcej sa energeticky efektívnymi algoritmi vo WSN (Janeček, 2010) je, že existuje veľká nejasnosť v problematike energetickej spotreby uzlov týchto sietí. Ďalším spoločným faktorom väčšiny štúdií je skutočnosť, že ich výsledky nie sú zväčša celoplošne využívané a častokrát chýba popis podmienok, v ktorých boli testy vykonávané. Aj z tohto hľadiska sa stávajú výsledky testov ťažšie implementovateľné do reálnej prevádzky. Samozrejme WSN je stále veľmi mladá technológia, ktorá je určená k ďalšiemu zdokonaľovaniu v širšom časovom horizonte, preto je potrebné ponechať určitú dobu ďalšiemu vývoju a testovaniu.

4 PRAKTICKÉ RIEŠENIE

Na základe preštudovania a pochopenia odbornej literatúry spolu s vypracovaním teoretickej rešerše práce bolo možné ďalej pristúpiť k praktickým činnostiam spojených s priamym používaním dostupnej technológie. Podrobný popis použitej technológie, praktického testovania a činností jemu predchádzajúcich je umiestnený v nasledujúcich kapitolách.

4.1 Popis technológie

Uzly použité na uskutočnenie testov sú špeciálne vyvinuté a prispôsobené na chod vo vonkajšom prostredí. Okrem uzlov použitých v práci, možno v ponuke spoločnosti Libelium nájsť prístroje Waspnote Smart Water (monitorovanie kvality vody), Smart Parking (sledovanie voľných parkovacích miest), Smart Cities (vhodné pre využívanie a vytváranie inteligentných miest), Smart Security (domáce bezpečnostné systémy) alebo tiež Radiation Control (meranie miery radiácie).

Zo spomenutého listu druhov uzlov od spoločnosti Libelium disponuje v súčasnosti Katedra Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci práve dvoma. Jedná sa o druh Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture Pro. Tie boli poskytnuté autorovi práce pre zoznámenie a samotné vykonanie testov.

Uzly Smart Environment sú určené primárne k monitorovaniu kvality ovzdušia. Ich hlavné využitie je pri meraní znečistenia ovzdušia v mestách, detekciu lesných požiarov alebo kontrolu priemyselných prevádzok (Mizera, 2011). Taktiež k nemu možno pripojiť senzory merajúce vlhkosť vzduchu, atmosférický tlak alebo množstvo variant sensorov na meranie rôznych látok znečisťujúcich ovzdušie, akými sú veličiny uvedené v tabuľke č. 2 (Waspnote Plug&Sense! - Quick Overview, 2015).

Tabuľka č. 2: možnosti meraných látok senzormi uzla Smart Environment
 Zdroj: autor podľa Waspnote Plug&Sense! - Quick Overview (2015)

Meraný jav	Meraná látka
Vlhkosť vo vzduchu	obsah H ₂ O
Atmosférický tlak	-
Znečistenie ovzdušia	C ₄ H ₁₀
	CH ₃ CH ₂ OH
	H ₂
	CO
	CH ₄
	C ₆ H ₅ CH ₃
	H ₂ S
	NH ₃

Konkrétne testovania pre potreby práce boli prevádzané s použitím senzorov merajúcich teplotu, vlhkosť, mieru prítomnosti CO₂, NO₂ v ovzduší, ďalej bol zapojený senzor merajúci prítomnosť CH₄ spolu so senzorom zaznamenávajúcim znečistenie ovzdušia plynmi C₆H₅CH₃, H₂S, CH₃CH₂OH a H₂. Obrázok č. 16 zobrazuje sloty pre umiestnenie senzorov priamo na uzle Smart Environment spolu s ukázkou senzoru. Každý jeden slot je predom určený na využitie určitým druhom senzoru / senzorov, preto nie je možné zamieňať ľubovoľne ich poradie.



Obrázok č. 16: sloty na uzly Smart Environment (vľavo) a ukážka senzoru (vpravo)
 Zdroj: autor

Ďalším modelom uzla je Smart Agriculture. Je vyrábaný vo variantoch Normal a Pro. Hlavným rozdielom medzi týmito variantami je, že pri modeli Pro je možnosť využitia protokolu ZigBee Pro a odlišných druhov senzorov. Využívajú sa taktiež k monitorovaniu environmentálnych dát hlavne pre potreby poľnohospodárstva. Okrem merania bývajú taktiež súčasťou systémov na reguláciu teploty či osvetlenia v skleníkoch alebo zavlažovaní. Každý z uzlov má svoje ID a MAC adresu, podobne ako všetky ostatné typy uzlov, na základe čoho je možné priradiť jednotlivé merania a tak overovať správnosť údajov (Waspnote Technical Guide, 2015). Táto vlastnosť je dobre využiteľná pri testovaní v tejto práci, nakoľko bude možné ľahko identifikovať stav batérie konkrétneho uzla na základe jeho virtuálnej charakteristiky. Typy senzorov používaných pri oboch typoch uzlov Smart Agriculture sú uvedené v nasledujúcom prehľade tabuľky č. 3.

Tabuľka č. 3: typy senzorov použiteľných vo variantoch uzlov Smart Agriculture

Zdroj: autor podľa Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide (2015)

Smart Agriculture	Smart Agriculture Pro
Teplota a vlhkosť vzduchu	Teplota a vlhkosť vzduchu
Vlhkosť pôdy	Vlhkosť pôdy
Listová vlhkosť	Listová vlhkosť
Teplota pôdy	Teplota pôdy
-	Solárna radiácia
-	Dendrometer
Atmosférický tlak	-
Rýchlosť a smer vetra	-

Veľkou výhodou všetkých variant daných uzlov je ich odolnosť voči vonkajším vplyvom vďaka tomu, že všetky potrebné súčasti sa nachádzajú vnútri plastovej debničky. Variabilita systému je taktiež veľká. Možno pripojiť senzory podľa vlastného uváženia, čiže personifikovať celý systém. Názorné fotografie jednotlivých využívaných uzlov sú umiestnené na obrázkoch č. 17 a 18.



Obrázok č. 17 a 18: uzol *Smart Environment* (vľavo) a *Smart Agriculture* (vpravo)
Zdroj: autor

4.1.1 Batérie

Nakoľko je hlavným cieľom tejto práce pracovať s energetickým zaťažením uzlov, resp. s ich energetickým zdrojom, nemožno opomenúť charakteristiku aj batérií opisovaných uzlov. Všeobecný popis najčastejšie využívaných energetických zdrojov sa nachádza ešte v teoretickej časti práce. V nasledujúcich častiach je problematika bližšie špecifikovaná na použitú technológiu.

Používané druhy

V uzloch Waspnote Plug&Sense možno nájsť dva druhy batérií. V prvom, najčastejšie vyskytujúcom sa prípade, sa jedná o dobijateľnú lítiovú batériu o kapacite 6600 mAh s napätím 3,3 – 4,2 V. Taktiež sú dostupné varianty slabších batérií (2300 mAh) ale aj silnejších 13000 mAh (Waspnote Technical Guide, 2015). Ich cena sa na internete pohybuje okolo 30 € a sú dodávané so štandardným konektorom, vďaka čomu je zaručená ich pomerne ľahká inštalácia do uzla. Na obrázku č. 19 je tento typ batérie zobrazený. Výhodou týchto batérií je skutočnosť, že sú odolné voči vode a dokážu bezproblémovo pracovať pri teplotách v rozsahu od -10 °C do 50 °C.



Obrázok č. 19: dobijateľná batéria uzla Waspnote Plug&Sense

Zdroj: [https://www.cooking-](https://www.cooking-hacks.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6041_6600mah_battery.1441697163.png)

[hacks.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6041_6600mah_battery.1441697163.png](https://www.cooking-hacks.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6041_6600mah_battery.1441697163.png)

Druhým štandardným typom batérie je nedobijateľný druh väčšinou výrobcom dodávaný vo variante 26 Ah, tak ako je zobrazená na obrázku č. 20. Medzi ďalšie varianty možno zaradiť slabšiu 13 Ah batériu a silnejšiu 52 Ah. Tieto typy však možno dokúpiť len samostatne (Waspnote Plug&Sense! Technical Guide, 2016).



Obrázok č. 20: nedobijateľný typ batérie pre uzly Waspnote Plug&Sense

Zdroj: [https://www.cooking-](https://www.cooking-hacks.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6022_2x13ah_non_rec_battery.1441714898.png)

[hacks.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6022_2x13ah_non_rec_battery.1441714898.png](https://www.cooking-hacks.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/6/0/6022_2x13ah_non_rec_battery.1441714898.png)

Dobíjanie

Existuje viacero variant ako batériu dobiť. Možnosť napájania priamo z elektrickej siete býva zväčša zabezpečená použitím USB kábla a USB nabíjačky určenej do elektrickej siete. Taktiež je umožnené nabíjanie pomocou pripojenia do počítača skrz USB 2.0, čo bude využívané pre potreby práce. Z nulového stavu možno dobiť batériu do plného prostredníctvom tejto metódy za 66 h. Tento fakt je garantovaný výrobcom pre novú batériu. Prostredníctvom USB rozhrania a nabíjania skrz USB kábel z elektrickej siete je batéria uzla schopná prijať 100 mA (<https://goo.gl/V4MIOw>). Rýchlosť dobíjania batérie prostredníctvom týchto metód je taktiež overená v práci a jej výsledky sú uvedené v kapitolách venovaných popisovaniu prípravy technológie na testovanie.

Častokrát v teréne pri použití menšieho počtu uzlov a lokality umožňujúcej prístup k slnečným lúčom, je dobíjanie zabezpečované pomocou solárneho panela umiestneného priamo na uzly. Táto možnosť nabíjania je rýchlejšia (0 % -> 100 % za 24 h). Uzol dokáže zo solárneho panela (obrázok č. 21) prijať až 280 mA (Waspnote Technical Guide, 2015). Avšak toto dobíjanie je častokrát limitované z dôvodu umiestnenia uzla na stromoch, pretože koruny stromov či iné činitele, akými sú nepriaznivé počasie alebo tienenie iného objektu, zabraňujú prísunu slnečného žiarenia, čím je upieraný uzlu zdroj energie.



Obrázok č. 21: uzol dobíjaný solárnym panelom

Zdroj: <http://www.libelium.com/uploads/2013/02/installation-490px.png>

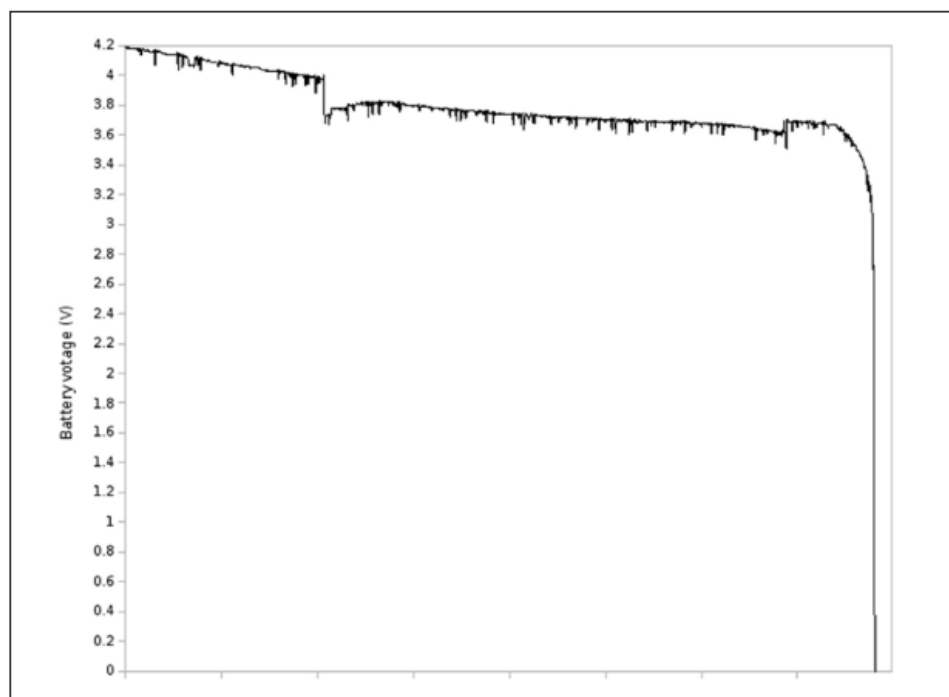
Pri samotnej príprave uzlov na testovanie, resp. pri ich dobíjaní, sa však nepotvrdil fakt, že by sa bola schopná dobiť batéria za 66 h či už pri použití nabíjania skrz počítač alebo pomocou USB nabíjačky. Priemerne sa každý testovaný uzol z nulového stavu do 93% stavu dobitia nabíjal približne 140 h. Pritom pri nabíjaní bol využívaný veľmi úsporný režim uzla, ktorý v ňom bol zavedený vďaka využitiu autorom vytvoreného komunikačného protokolu umiestneného v prílohách tejto práce. Vďaka nemu uzol

vydával maximálne 0,1 μA tým, že blikal LED indikátor kvôli externému zisteniu funkčnosti prístroja spolu s jednorazovým vypísaním stavu batérie v prostredí Serial Monitoru.

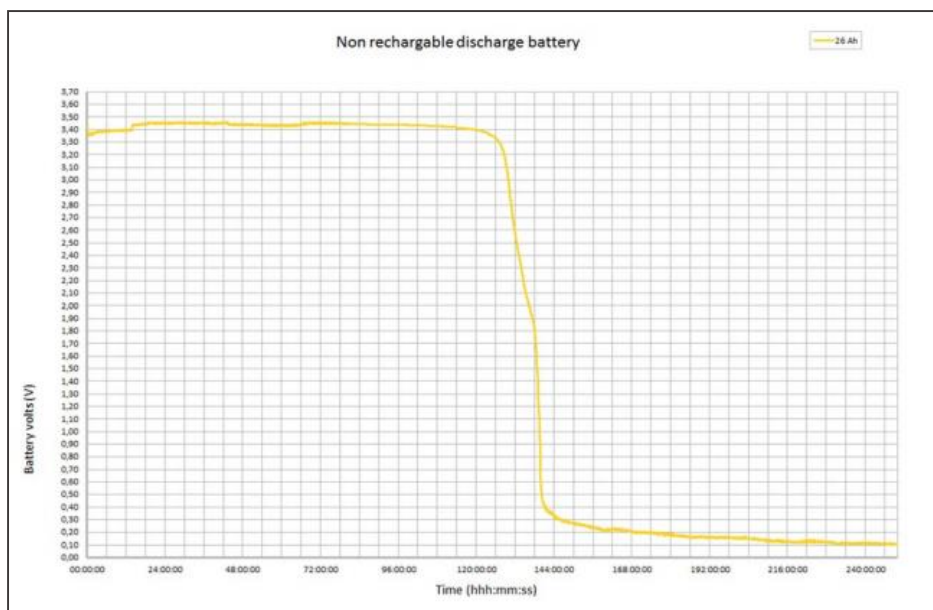
Výdrž

Spoločnosť Libelium na svojich oficiálnych stránkach uvádza, že jednou z najväčších výhod uzlov bezdrôtových senzorových sietí z ich produkcie je práve výdrž batérie. Jej priemerná výdrž je udávaná približne na 1 rok (Waspnote Plug&Sense! Technical Guide, 2016). Táto doba je však limitovaná na ideálne podmienky, ktoré však výrobca ďalej nešpecifikuje. Po preštudovaní externých špecifikácií batérií možno konštatovať, že tento fakt platí s najväčšou pravdepodobnosťou iba pre nedobíjateľný typ (<https://www.cooking-hacks.com/2x13-a-h-non-rechargeable-battery>). Do akej miery by to mohla byť pravda pri dobíjateľnej variante sa pokúsime overiť pri praktickom testovaní v rámci tejto práce. Uzle, s ktorými sú prevádzkané samotné testy sú totiž vybavené práve týmto typom.

Výrobca uzlov taktiež v oficiálnom manuáli pre využitie a popis uzlov uvádza príklady bežného vybíjania batérií pomocou veľmi generalizovaných kriviek uvedených ako obrázok č. 22 a 23 (Waspnote Technical Guide, 2015).



Obrázok č. 22: krivka vybíjania batérie pravdepodobne v čase
Zdroj: Waspnote Technical Guide (2015)



Obrázok č. 23: krivka vybijania nedobijateľnej batérie v čase
Zdroj: Waspnote Technical Guide (2015)

Príklady tohto vybijania sú hlavne v prvom prípade značne zjednodušené a nemožno z nich v žiadnom prípade vyvodiť konkrétne fakty. Vo výsledkoch práce sú umiestnené pre porovnanie vytvorené podobné krivky z prebehnutého testovania, avšak spĺňajúce všetky kritéria a náležitosti správnosti.

Podľa preštudovaných štúdií batéria uzla nikdy reálne nevydržala nabitá jeden rok. Príkladom môže byť aj testovanie uzlov v bakalárskej práci Bc. Dostála (2015), ktorému pri optimálnom zaťažení uzla senzormi batéria vydržala približne 14 dní. Sice v tomto prípade nebola batéria dobitá na 100 %, avšak aj tak sa jedná o krátku dobu. Je samozrejmé, že pri rozličnom spôsobe fungovania uzlov, akými sú počet zapojených senzorov, komunikačná vzdialenosť medzi uzlami, charakter lokality merania a i., musia byť aj odlišné energetické nároky samotného prístroja. Skeptický k udávanej výdrži batérií je taktiež práca zaoberajúca sa implementáciou a tvorbou novej bezdrôtovej sensorovej siete (Mizera, 2011), kde vo svojom teoretickom úvode rozoberá faktory energetickej výdrže. Taktiež množstvo prispievateľov na oficiálnom fóre spoločnosti Libelium – www.libelium.com/forum, v rôznych diskusných vláknach, ako je napr. „Extending battery life,“ niekoľko používateľov uzlov Smart Environment uvádza, že po dvoch týždňoch bežnej prevádzky siete s intervalom záznamu dát každých 10 min sa batéria vybila minimálne o 50 % svojej pôvodnej kapacity (<https://www.libelium.com/forum/viewtopic.php?f=14&t=13476&hilit=battery+life>).

Zo všetkých preštudovaných zdrojov možno vyčleniť niekoľko faktorov, ktoré značne ovplyvnia výdrž danej batérie. Jedná sa hlavne o faktory testované v tejto práci, ktorými sú interval záznamu dát, komunikačná vzdialenosť, druh a množstvo zapojených senzorov prípadne fyzické prekážky pri komunikácii. Do úvahy taktiež treba brať ďalšie faktory, ktoré sú v práci zohľadnené. Najmä sa jedná o vek uzla, resp. jeho batérie, jej technický stav, frekvenciu jej používania, meteorologické pomery – berúc do úvahy hlavne teplotu, vlhkosť vzduchu a prostredia.

4.1.2 Komunikačný protokol

Aby mohlo byť praktické testovanie úspešné, bolo potrebné upraviť komunikačný protokol. Jedná sa o kód v jazyku Python a C, ktorý je možno vygenerovať pomocou oficiálnej webovej aplikácie Waspnote Code Generator v02, kde je možné nastaviť presné parametre pre daný typ uzla tak ako je zobrazené na nasledujúcom obrázku č. 24.

The screenshot shows the 'Waspnote - Plug & Sense! - Code Generator - v02' web interface. It includes a 'libelium' logo with a dragonfly icon. The main form is divided into sections: 'Select Model' (dropdown), 'Sleeping Time' (input field, max 2,628,000 sec - 1 Month), 'Select sensor by socket' (six dropdowns A-F), 'Additional information' (checkboxes for Accelerometer, GPS, Battery Level, Time Stamp, and a text field for nodeID), and 'Select Communication Module' (dropdown set to USB (Debugging)). A 'Generate Code' button is at the bottom right. A legend for sensor sockets A-F is in the top right of the form area.

Obrázok č. 24: ukážka prostredia Waspnote Code Generator v02

Zdroj: autor

V jednotlivých krokoch sa dá upresniť presný model uzla, následne čas ktorý môže uzol stráviť v stave spánku. Samozrejmosťou je tiež možnosť voľby pripojených senzorov, u ktorých sa dá navoliť ich presný typ a umiestnenie na konkrétnom porte. V doplnkových informáciách možno dodať záznamy o tom, aké informácie ďalej budú zobrazované vo výstupnom súbore. Pre účely tejto práce je najdôležitejším faktorom pridanie značky stavu batérie v percentách, jej napätie vo Voltoch (V) a dodatkové informácie o čase kvôli prehľadnosti pri následnom spracovaní. V poslednom kroku je taktiež dôležité vybrať možnosť komunikačného módu, pričom najlepšou voľbou

v scenároch interného testovania je zvoliť komunikáciu skrz USB, pretože počítač bude nepretržite pripojený k jednému uzlu, ktorý bude neustále v stanovených intervaloch posielať žiadané dáta. Pri variante externého merania je najlepšou možnosťou posielanie dát do brány Meshlium, pretože areál v Holici, na ktorom testovanie prebieha, funguje na tomto princípe. V tomto prípade prebiehala komunikácia s ostatnými prvkami bezdrôtovej siete pomocou rádiových štandardov IEEE 802.15.4 alebo v súčasnosti hlavne využívaným XBee či WiFi. O konkrétnych metódach komunikácie použitých pri práci je viac uvedené v kapitole opisu scenárov testovania, prípadne o prenosových štandardoch v kapitole možnosti komunikácie.

Následne automaticky vygenerovaný kód je umiestnený v prílohách práce. Ten je však z pochopiteľných dôvodov kvôli praktickému testovaniu nutné opraviť. Nepotrebné časti protokolu v tomto prípade ako zaznamenávanie dát zo senzorov bolo možné vymazať alebo prípadne zakomentovať kvôli čo najefektívnejšiemu priebehu testovania. Tým najpodstatnejším bolo, aby bolo možné rozoznať vo vygenerovanom súbore stavy batérie spolu k nej prislúchajúcou časovou značkou. Činnosť úpravy kódy bola značne náročným procesom. Veľmi dobrým zdrojom informácií poslúžili príklady častí kódov začlenené do prostredia Waspnote Pro IDE, v ktorom sa aj samotný kód upravoval a vytváral. Nápomocní boli taktiež vývojári spoločnosti Libelium a užívatelia týchto zariadení, ktorí boli oslovení autorom práce prostredníctvom oficiálneho diskusného fóra. V konečnom dôsledku vznikli úplne odlišné kódy od pôvodne vygenerovaného príkladu. Ten možno považovať len za určitý príklad, podľa ktorého užívateľ ďalej postupuje.

Samozrejme, pre každý variant testu bolo potrebné vytvoriť špecifický komunikačný protokol. Tieto protokoly sú umiestnené v sprievodných dokumentoch ku každému testovaniu, resp. ku scenárom, kde sú aj náležite popísané. Pre vnútornú časť testovania na uzloch Smart Environment bol autorom vytvorený jeden obširny kód, ktorý po zakomentovaní určitých častí bol prispôbený špecifickým požiadavkám práve uskutočňovaného testu. Pre uzly Smart Agriculture sa postupovalo podobne, iba boli menené parametre na základe toho, čo vyžadoval daný test.

4.2 Scenáre testovania

Pre samotné potreby práce, ako už bolo spomínané, boli vytvorené scenáre pre jednotlivé testovania. Pre každý scenár testovania bol využitý rozličný set-up a technológia, ktorá je v ňom podrobne a prehľadne popísaná. Na základe ich vytvorenia bolo možné veľmi jednoducho prakticky realizovať všetky testy. Ich kompletné znenie a celá špecifikácia je dostupná v prílohách práce. Nasledujúca časť stručne približuje plánovaný priebeh všetkých vytýčených testov, rozčlenených do piatich kategórií:

- *Energetické zaťaženie senzorom*
- *Vplyv intervalu záznamu dát*
- *Komunikačná vzdialenosť*
- *Prekážky v prenose dát*
- *Vplyv meteorologických prvkov*

Na základe získaných dát z uzlov vonkajšieho testovania a využitia historických zaznamenaných dát amatérskeho meteorológa z Olomouca, Roberta Šišma, bude možné taktiež spätne vyvodiť vplyv meteorologických podmienok (hlavne teploty a vlhkosti) na vybíjanie batérie uzla.

Energetické zaťaženie senzorom

Hlavným cieľom daného testu je zistiť v akej miere zaťažuje používanie jednotlivých senzorov batériu uzla typu Smart Environment. Popri podaní výsledkov potrebných na splnenie hlavného cieľa, sa v rámci tohto testovania bude možné odpovedať aj na dielčie stanovené otázky, ktorými sú vytýčenie najviac a najmenej zaťažujúceho senzoru, stanovenie času potrebného na zistenie zreteľných zmien v úbytku energie a taktiež ako sa jednotlivé hodnoty odlišujú od výrobcom udaných hodnôt.

Pre vykonanie daného testovania, bude využité tak ako bolo už spomínané uzlov Smart Environment spolu so všetkými dostupnými druhmi senzorov na Katedre geoinformatiky – senzor pre meranie teploty, vlhkosti, koncentrácie CO₂, NO₂, CH₄ a polutantov v ovzduší senzorom Air Pollutants 2. Vybrané uzly boli približne rovnako využívané a zaťažované počas dvoch rokov, preto sa dá predpokladať, že výsledky z ich testovaní budú podobné a neskreslené. Uzly počas merania budú pracovať na základe upravených variant všeobecného komunikačného protokolu umiestneného v prílohách práce a opísaného v predchádzajúcej kapitole. Dáta budú zaznamenávané v intervale 30 s vďaka PuTTY suit v0.65 skrz USB prepojenie počítača a samotných uzlov. Celé testovania bude sprevádzané meraním vlhkosti a teploty v miestnosti špecializovaným prístrojom Commeter THZ1.

Vplyv intervalu záznamu dát

V rámci testovania je prioritou zistiť ako ovplyvní zmena intervalu záznamu dát, resp. časová frekvencia posielania zistených informácií senzormi uzla do počítača, energetickú výdrž batérie. Kvôli krátkosti času, tento test je naplánovaný vykonať so zapojením všetkých sensorov opäť k uzlu Smart Environment, pretože sa dá predpokladať, že sa jedná o najviac energeticky zaťažujúcu konfiguráciu pre batériu. Jednotlivé intervaly boli stanovené na 0,5 min, 1 min, 5 min, 15 min a 30 min nakoľko sa jedná všeobecne najpoužívanejšie intervaly záznamu dát pri meraniach vo WSN Holice. Vďaka zisteným výsledkom bude taktiež možné odpovedať na konkrétne otázky, akými sú samotná dĺžka výdrže batérie v jednotlivých prípadoch, zmena krivky vybíjania, prípadne vyčlenenie maximálneho a minimálneho energetického zaťažovania.

Testovanie je naplánované vykonávať na rovnakých uzloch, v rovnakom prostredí a konfigurácii ako v predošlom scenári s pridaním nezávislého merania v priestoroch Katedry geoinformatiky, kde má byť využívaný opäť uzol Smart Environment, avšak zaznamenané dáta bude posielat' bezdrôtovo do brány Meshlium. Ostatné uzle Smart Environment umiestnené v domácom prostredí autora práce budú posielat' dáta s využitím už spomínaného všeobecného komunikačného protokolu skrz USB prepojenie do počítača. Merania budú opäť sprevádzané zaznamenávaním dát o teplote a vlhkosti v miestnosti. Bude sa jednať o nasimulovanie ideálnych podmienok pre prevádzku batérií, čo bude možné využiť pre porovnanie s vonkajšími testami.

Komunikačná vzdialenosť

Cieľom daného testovania je zistiť vplyv komunikačnej vzdialenosti, v tomto prípade medzi uzlami typu Smart Agriculture a bránou Meshlium. Brána je stabilne umiestneným prvkom v existujúcej WSN vedeckého parku v mestskej časti Olomouca Holice. Jednotlivé uzly budú umiestnené v rôznych vzdialenostiach od brány. Komunikácia bude zabezpečovaná na základe XBee 802.15.4 modelu definovaného vo vytvorených komunikačných protokoloch pre dané testovanie. Samotný prenos by mal byť uskutočňovaný na frekvenciách 2,407 GHz - 2,465 GHz, kde je možnosť využitia 12 kanálov. Všetky prenosi by mali byť však uskutočňované na rovnakom kanály 0x0F, aby mohli byť dáta následne porovnávané.

Samotné uzly budú pracovať so zapojením všetkých dostupných sensorov, ktoré budú aktívne zaznamenávať dáta v jednotnom intervale. Presné rozpoloženie a vzdialenosti budú špecifikované vo výsledkoch práce, konkrétne v kapitole vyhodnotenia testovaní. Tými majú byť poznatky, či naozaj a prípadne v akej miere vplyva komunikačná vzdialenosť na spotrebu energie uzla v čase. Čiastkovým cieľom bude taktiež zistiť na základe poradených dát, či je možné predpokladať, aké bude energeticky náročné prenášať informácie pri určitej vzdialenosti od brány.

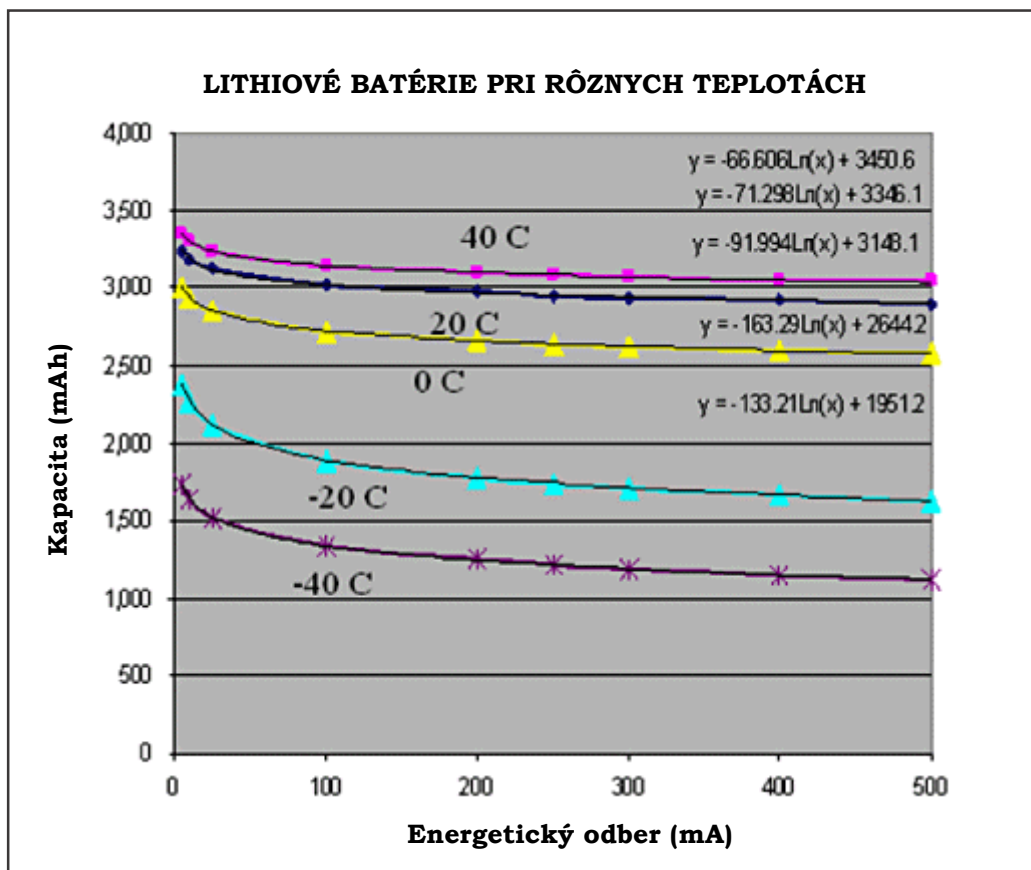
Prekážky v prenose dát

V rámci testovania uskutočňovaného v Olomouckej Holici bude možné uzly rozmiestniť tak, aby medzi bránou a uzlom bola určitá prekážka (stavba, vegetácia a pod.), ktorá značne ovplyvní prenos dát. Pre toto testovanie budú využité tri uzly Smart Agriculture v rovnakej konfigurácii a s rovnakým komunikačným protokolom, ktoré budú približne v rovnakej vzdialenosti od brány Meshlium. Jeden uzol bude umiestnený pritom tak, aby medzi ním a bránou žiadna prekážka nebola, a medzi ostatnými bude už spomínaná prekážka umiestnená. Samotné prekážky však nebudú rovnaké. Vďaka tomu bude dáta možné medzi sebou ľahko porovnať a zistiť tak prípadné rozdiely v spotrebe energie. Presné rozmiestnenie a vzdialenosti uzlov od brány budú opäť umiestnené vo výsledkoch práce.

Vplyv meteorologických prvkov

Vplyvom meteorologických prvkov na funkcionálnosť a výdrž prevádzky mobilných elektrických zariadení, resp. ich batérií, pracujúcich hlavne vo vonkajšom prostredí sa zaoberá množstvo štúdií. Už v kapitole venovanej opisu energetických zdrojov bolo spomínané, že najväčší vplyv na funkcionálnosť batérie podľa väčšiny autorov má teplota a vlhkosť. Za najodolnejšie typy batérií voči týmto vplyvom boli vyčlenené hlavne AA Lithium. Ich chemické zloženie a stavba ich predurčuje na použitie vo vonkajších podmienkach s dlhou životnosťou a značnou odolnosťou (Young, 2008). Lítiové batérie sú využívané aj v testovaných uzloch.

Graf č. 1 názorne zobrazuje správanie lítiovej batérie pri rôznych teplotách. Samotný priebeh línií musel byť zmiernený logaritmickými funkciami, nakoľko zmena bola priveľmi prudká a tak málo výpovedná. Vyplýva však z neho, že batérie oveľa lepšie znášajú činnosť pri nízkych teplotách ako pri vysokých. Tento fakt sa potvrdil aj pri samotných testoch.



*Graf č. 1: vplyv teplôt na energetický odber batérie
Zdroj: autor podľa Young (2008)*

Vonkajšie teplotné pomery spolu s približnou vlhkosťou v danom prostredí bude možné definovať na základe nameraných dát samotnými senzormi uzlov, podobne ako tomu bude aj v predošlom prípade testovania. Tieto dáta bude možno doplniť o informácie od už spomínaného amatérskeho meteorológa Roberta Šišma, ktorý prevádzkuje meteorologické merania na území Olomouca, pričom je ochotný spätne poskytnúť údaje o nameraných klimatických veličinách (hlavne teplota a vlhkosť) z doby uskutočnenia testov. Bude tak možné vyčleniť vplyv týchto podmienok na energetické zaťaženie batérií uzlov.

5 VÝSLEDKY

Testovania konkrétnych uzlov pre potreby tejto bakalárskej práce prebiehalo v časovom horizonte od 24. 12. 2015 a bolo ukončené 7. 4. 2016. K získaným dátam z týchto meraní bolo možné pridať ďalšie, ktoré boli poriadene počas prevádzky WSN v Holicí od roku 2014. Z tejto predošej prevádzky však bolo možné využiť použiteľné informácie pre potreby tejto práce len z dvoch uzlov v horizonte od 21. 4. 2015 do približne 31. 7. 2015. Iba spomínané dva uzly totiž posielali v tomto období informácie o stave batérie. V ostatnom čase poskytli WSN ďalej opísané technické problémy alebo prijaté dáta boli veľmi nekonzistentné, preto nemali veľmi veľkú výpovednú hodnotu. Všetky výstupné súbory, resp. dáta, sú uložené na priloženom DVD v prílohách práce.

Popis výsledkov práce je rozdelený do niekoľkých kategórií. V prvom rade bolo potrebné opísať ako samotné testovania skutočne prebiehali. Po spracovaní, upravení a zhodnotení získaných dát bolo možné popísať určité konkrétne výstupy a výsledky, hlavne názornými štatistickými metódami a porovnať ich s výrobnou špecifikáciou. Na základe takto upravených a získaných poznatkov bolo možné vyčleniť najviac pravdepodobné faktory vplyvajúce na energetické zaťaženie batérií uzlov. V konečnom sumári podľa vyššie spomenutých výsledkov bolo možné teoreticky vymedziť optimálne, prípadne najmenej a najviac energeticky zaťažujúce používanie uzlov Waspnote Plug&Sense v reálnych podmienkach.

5.1 Priebeh testovaní

Uskutočnenie samotných päť variant testov prebiehalo podľa predom navrhnutých a v prechádzajúcej časti práce opísaných scenárov. Ich samotný priebeh a poradie bolo nasledovné.

Za prvé uskutočňované testy z časového hľadiska boli zvolené vonkajšie testovania v areáli Holice. Bolo tak zvolené jednak podľa expertného odhadu autora po porade s vedúcou tejto bakalárskej práce, nakoľko sa predpokladalo dlhšie trvanie týchto meraní, a taktiež na základe nadväznosti už v tom čase fungujúcu prevádzku lokálnej WSN. Zo spomínanej predošej prevádzky boli v určitej miere použiteľné do práce dáta poriadene v apríli, máji, júni a júli 2015. V tomto období však všetky uzly neboli nakonfigurované tak, aby posielali aj dáta o stave batérie, preto sú informácie obmedzené len na niektoré z nich – konkrétne na dva. Po upravení kódu prebiehali testovania vplyvu komunikačnej vzdialenosti v dvoch rôznych rozpoloženiach WSN na danom území. Rozmiestnenie uzlov v areáli Holice do septembra 2015 je zobrazené na obrázku č. 25 spolu s rozmiestnením aj od januára 2016. Z testovania v období od septembra 2015 do januára 2016 neboli získané použiteľné dáta, nakoľko uzly prestali posielat informácie.

Bližšie je tento problém popísaný v nasledujúcej kapitole venovanej komplikáciám počas praktického testovania.



Obrázok č. 25: rozloženie uzlov v areáli Holice pre obdobia 2015 a 2016

Zdroj: autor

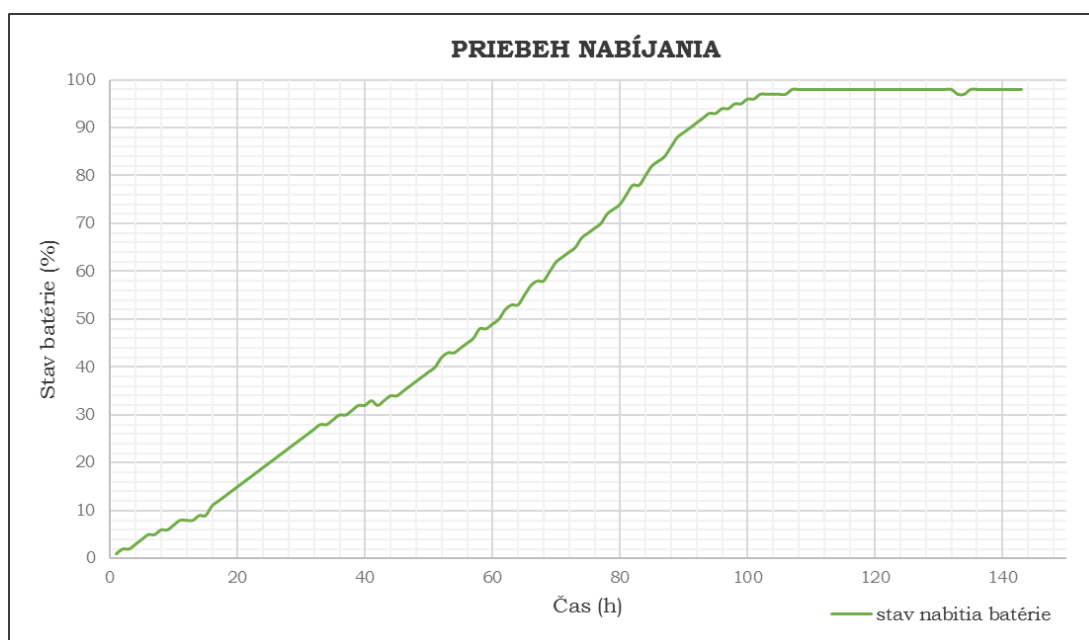
Po optimalizovaní a uskutočnení potrebných meraní bolo možné zahájiť testovanie vplyvu prekážky na energetické zaťaženie batérie uzla. Po vyčlenení vhodného umiestnenia pre tento experiment bolo možné v od 1. 1. 2016 začať s testovaním. Prekážka medzi bránou a uzlom č. 775 bola tvorená murovaným objektom zabraňujúcim priamu viditeľnosť ako je možné vidieť na obrázku č. 25. Takmer plne nabitý uzol Smart Agriculture použitý pre tento test bol pripevnený na drevenej tyči spolu s prenosnou meteorologickou stanicou, ktorá monitorovala lokálne klimatické podmienky. Uzol č. 735/829 nemal pri prenose dát žiadnu prekážku v prenose a signál uzla č. 362/159 prechádzal opäť cez budovu, v ktorej však boli prítomné rôzne mobilné signály. To, že sú ID uzlov predelené lomkou znamená, že počas testovania došlo k ich výmene. Všetky dáta boli počas celého trvania vonkajších testov ukladané do brány Meshium a priebežne sťahované. Následne ich bolo potrebné upraviť do editovateľnej podoby v programe Microsoft Excel, nakoľko exportované tabuľky neboli plne kompaktné a obsahovali množstvo prázdnych riadkov spolu s neželanými znakmi. Takto upravené výstupy boli ďalej analyzované, kde výsledky sú umiestnené ďalšom postupe práce.

Vnútorne testovanie uzlov bolo spustené po prekonaní úvodných technických problémov s uzlami, popísanými v kapitole komplikácií, dňa 24. 12. 2015. V prvom rade, ako bolo spomenuté v scenároch, sa spustilo testovanie vplyvu zaťažovania batérii uzlov

Smart Environment senzormi. Prvé testovania odhalili, že existujú značné rozdiely medzi energetickou náročnosťou jednotlivých senzorov. Niektorých vybijanie stagnovalo dlhší čas preto boli testovania prerušené za predpokladu, že vybijanie ďalej pokračovať nebude. Existovala totiž teória prekonzultovaná s konkrétnym vývojárom spoločnosti Libelium na oficiálnom fóre, že pokiaľ senzor vyžaduje na svoju prevádzku minimálne množstvo energie a určité napätie v batérii uzla, toto vybijanie sa zastaví a batéria drží svoju energetickú hodnotu na približne rovnakej úrovni za podpory energie prijatej z PC. Na základe tohto faktu bolo uskutočnené dodatočné v scenároch naplánované meranie, kde uzol Smart Environment posielal namerané dáta brány Meshlium v približne rovnakých podmienkach ako tomu bolo aj pri zapojení do PC.

Po zistených skutočnostiach a uskutočnení vyššie spomenutých vnútorných testov, dňa 5. 2. 2016 bolo začaté testovanie vplyvu intervalu záznamu opäť v domácom prostredí. Po jeho ukončení dňa 31. 3. 2016 nasledovala analýza a hodnotenie opäť priebežne sťahovaných, a upravovaných dát. Zo získaného formátu .log bolo nutné exportovať iba informácie o stave batérie a časovú značku, na čo bolo využitého programu PSPad v4.6.9. Ten umožňuje export riadkov na základe hľadaných výrazov, ktorými boli v tomto prípade „Battery Level“ a „Format“, ako výstupné formulácie z uzla definované v komunikačnom protokole. Následne bolo možné takto exportované informácie importovať do programu Microsoft Excel či R-Studio a pracovať s nimi.

Všetky uskutočnené testovania boli značne časovo náročné, nakoľko vybijanie batérii trvalo desiatky až stovky hodín. Celý proces ešte viac predlžovalo samotné nabíjanie batérii uzlov, ktoré sa muselo uskutočniť vždy po, resp. pred každým testom. Toto nabitie z nulovej hodnoty trvalo viac než 140 h, pričom nikdy sa nepodarilo nabiť batériu uzla do 100% stavu. Krivka nabíjania batérie uzla je vyobrazená v grafe č. 2.



Graf č. 2: prebieh nabíjania batérie uzla
Zdroj: autor

5.1.1 Komplikácie

V priebehu uskutočňovania praktického testovania sa bolo nutné vysporiadať pomerne s veľkým množstvom neplánovaných komplikácií. Technológie WSN sú veľmi mladou stále vyvíjajúcou sa technológiu, preto sa tento fakt predom očakával. V tejto kapitole sú spomenuté problémy, ktoré boli podľa autora považované za tie najvážnejšie a najviac komplikovali priebeh testovaní. Spolu s opisom komplikácií sú taktiež uvedené možné dôvody ich vzniku.

Počas vonkajších testovaní vplývali na plynulý chod prevádzky striedavo hlavne technické a klimatické vplyvy. Pod technickými vplyvmi možno rozumieť hlavne neočakávané výpadky posielania dát. V období od mája do septembra 2015 sa jednalo o vynechávanie posielania dát na bránu z uzla len v niekoľkých intervaloch z celkového záznamu. Postupom času v tomto období sa množstvo vynechaných dát zväčšovalo až do takej miery, že viac než 70 % z očakávaných dát vo výslednom súbore chýbala. Tieto výpadky s najväčšou pravdepodobnosťou boli spôsobené rušením signálu prípadne dochádzajúcou energiou v samotnej batérii uzla, nakoľko percento jej nabitia bolo v častiach najväčších výpadkov minimálne. Uzle sa podarilo nabíjať na vyšší level ako cca 30 % až po implementovaní nabijacieho komunikačného protokolu používaného pre potreby tejto práce.

Od septembra do konca decembra 2015 bolo posielanie dát úplne neúspešné, prípadne dáta boli úplne nepoužiteľné. Príčinou tohto výpadku je kombinácia hneď niekoľkých faktorov. Počas testovania pracovníci obrábajúci pôdu v areáli Holice omylom prerezali potrebné drôty na získavanie dát senzormi, čím sa znemožnil ich zber. Ďalším faktorom boli technické problémy so spojmi v konektoroch senzorov, ktoré sa spálili čím sa opäť prerušilo posielanie. Takisto v tomto období prebehla údržba všetkých komponent siete a kalibrácia senzorov. Po náprave všetkých problémov bolo rozhodnuté, že opätovné testovanie sa kvôli nevhodným klimatickým podmienkam v decembri začne až v januári. Uzly po tomto období však pracovali v úplnom poriadku a všetky dáta boli použiteľné. Od januára 2016 bol pri nabíjaní používaný nízkoenergeticky náročný komunikačný protokol vyvinutý pre potreby tejto práce (viď. kapitola komunikačný protokol). Je možné, že aj samotné znovu nabitie batérie nad 90 % pomohlo ku spomínanému zlepšeniu, nakoľko nabiť uzly do takej miery sa v predošlom období ich využívania ešte nepodarilo.

Ako bolo spomenuté v kapitole priebehu testovania, vnútorná časť testov bola zahájená až 24. 12. 2015. Do tejto doby sa nedarilo spustiť, resp. sprevádzkovať správnu komunikáciu medzi počítačom a viacerými uzlami Smart Environment. Serial Monitor prostredia Waspnote IDE neustále zobrazoval v pravidelných intervaloch výstup: „#D .“ Nakoľko správna komunikácia bola nevyhnutná pre ďalší postup v práci, bol kontaktovaný aj vývojár spoločnosti Libelium prostredníctvom oficiálneho diskusného

fóra. Ten však nedokázal presne identifikovať, kde by mohla byť príčina problému. Uzly podľa blikajúcej LED diódy boli funkčné a nabité, komunikačné porty boli správne nainštalované na základe využitia oficiálne dodávaného inštalačného súboru a bolo využité niekoľkých variant komunikačných protokolov, vrátane Libelium príkladov. Po prekalibrovaní senzorov, znovu nabití ešte nepoužitého uzla a po niekoľkých neúspešných pokusoch zrazu bola komunikácia uzla správna. Je možno pravdepodobne sa len dohadovať čo bolo príčinou tohto problému, preto toto vysvetlenie zostáva otvorené ako možný predmet ďalšieho skúmania v budúcnosti.

Počas uskutočňovania testov vplyvu intervalu záznamu a zaťaženie senzormi dochádzalo častokrát k výpadkom spojenia medzi uzlom a počítačom, ku ktorému boli pripojené skrz USB. Častokrát bol tento výpadok samovoľný a bol zistený až po niekoľkých hodinách. V niektorých prípadoch bolo zistené, že prerušenie spojenia spôsobuje zapojenie iného zariadenia do USB portu počítača alebo taktiež určitý pohyb s uzlom, čo mohlo zapríčiniť prerušenie kontaktu v USB portoch. Vždy po prerušení spojenia musel byť nahraný do uzla komunikačný protokol nanovo s upravenou počiatočnou časovou značkou, aby mohol zápis dát pokračovať tam kde prestal. Z tohto dôvodu vznikalo niekoľko výstupných .log súborov, ktoré museli byť následne po ukončení testovania zlúčené a upravené. Najviac prerušení bolo zaznamenaných popri testovaní zaťaženia CO₂ senzorom – celkovo 10. V ostatných prípadoch sa pohybovalo číslo prerušení v intervale 3 až 5.

Všetky vyššie popisované komplikácie či už v menšej alebo väčšej miere narušili hladký priebeh testovania a je nutné ich brať do úvahy pri hodnotení výsledkov. Určite by bolo vhodné v budúcnosti venovať sa aj vyššie spomenutým, nielen nevyriešeným problémom, v rámci podrobnejších testov zameraných práve na ne, s myšlienkou predísť v budúcnosti týmto neželaným situáciám.

5.2 Výdrže batérií

Spoločnosť Libelium uvádza v technickom opise produktovej rady uzlov Waspnote Plug&Sense výdrž ich najpoužívanejšieho typu batérie o kapacite 6600 mAh približne jeden rok. Na základe uskutočnených testov však možno konštatovať, že túto dobu batéria nie je schopná ani pri najšetrnejšom využívaní senzorov vydržať. Pravdepodobné by to bolo len v prípade, že samotný uzol nezaznamenával žiadne dáta, pracoval by na základe energeticky minimálne zaťažujúceho komunikačného protokolu a bol by umiestnený v ideálnych podmienkach v interiéri pri izbovej teplote (viď. kapitola o batériách a energetických zdrojoch). Jedná sa však len o predpoklad na základe preštudovanej literatúry a nadobudnutých znalostí z používania samotných uzlov, ktoré sú popísané v nasledujúcej časti práce.

5.2.1 Vyhodnotenie testov

Výsledky jednotlivých testov bolo potrebné určitým spôsobom spracovať. V prvom rade bolo potrebné vyexportovať len naozaj potrebné údaje o stave batérie spolu s časovou značkou, nakoľko práve tie sú zaujímavé pre ďalšie zhodnotenie pre potreby práce. Vnútorne testy zapisované do výstupného súboru .log boli najskôr upravené v pomoci programu PSpad Editor v4.5.9, kde boli zvlášť oddelené údaje o batérii a čase. Získané súbory bolo tak následne možné importovať do programu Microsoft Excel a jednu prehľadnú tabuľku, resp. súbor formátu .xlsx. Pri testovaniach, kde bola využívaná k uloženiu dát brána Meshlium dochádzalo k primárnemu exportu dát do formátov .txt alebo .csv. Dáta mali odlišnú štruktúru avšak aj keď prevod do jednej tabuľky vyžadoval viacero krokov, princíp bol rovnaký ako v predošlých prípadoch. Pre každý jeden test bol vytvorený samostatný výstupný súbor. S takto upravenými dátami bolo možné ďalej pracovať a vyhodnotiť ich. Pre každú skupinu testov vytvorenú na základe predom vytvorených scenárov sú následne popísané ich výsledky.

Už upravené dáta boli pred vytváraním ďalších výstupov najskôr podrobené základnej popisnej štatistike v prostredí R-Studio, vďaka čomu si bolo možné spraviť obraz o tom, ako jednotlivé dáta vyzerajú, koľko daný test trval. Skupina testov zameraná na zistenie vplyvu komunikačnej vzdialenosti vďaka využitiu dát z minuloročného testovania dosiahla dĺžku viac než 6136 h, v čom je započítaná doba len samotného vybíjania využitých uzlov. Najrýchlejšie prebehnutým testovaním bolo skúmanie zaťaženia na základe intervalu záznamu.

Energetické zaťaženie senzorom

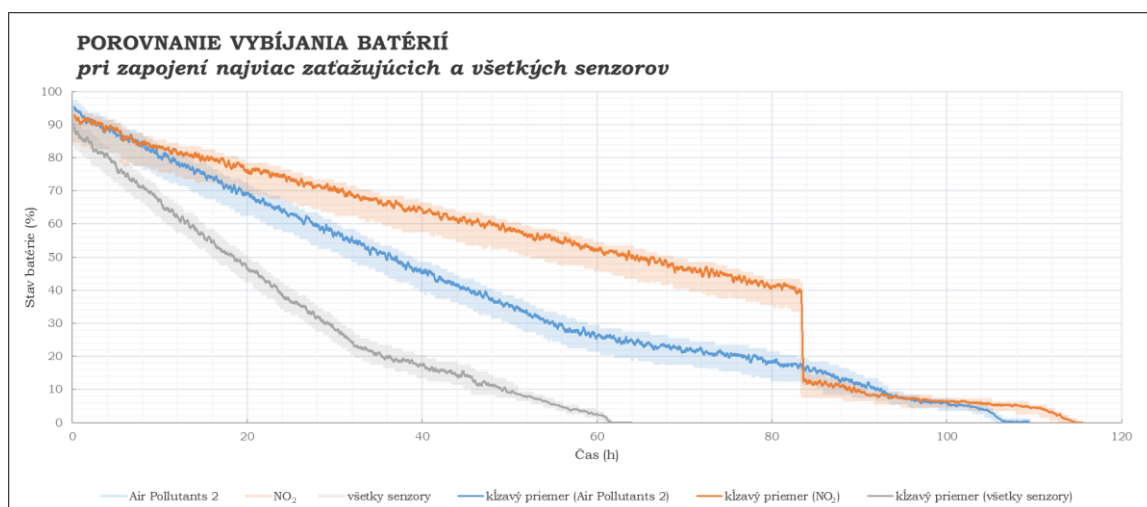
Prvým testovaním v rámci vnútorných testov bolo zisťovanie, do akej miery každý z dostupných senzorov uzla Smart Environment energeticky zaťažuje batériu. Doposiaľ

nebola nájdená zmienka o uskutočnení podobného testovania. Ako referenčné dáta bolo možné použiť informácie z technickej špecifikácie samotných senzorov, kde sú uvedené hodnoty energetickej spotreby každého z nich.

Samotné výsledky boli v určitej miere prekvapením. Vopred sa nepredpokladala situácia, že by sa mohla batéria uzla vybiť tým, že k nej bude pripojený iba jeden funkčný senzor zaznamenávajúci dáta, nakoľko pri pripojení do počítača by sa mal uzol teoreticky vybiť až vtedy, keď jeho spotreba je vyššia ako 100 mA. Tento fakt sa podarilo vyvrátiť v prípade zapojenia senzora merajúceho koncentráciu NO_2 v ovzduší a senzora Air Pollutants 2, ktorý zaznamenáva prítomnosť látok C_4H_{10} , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, CH_4 , H_2 a CO . Tieto dva senzory však nepatrili k tým, čo mali mať najväčšiu energetickú spotrebu. U senzora NO_2 bolo uvedené, že jeho maximálna spotreba je 26 mA a u Air Pollutants 2 46 mA. V porovnaní s nimi mali byť logicky senzory VOC so spotrebou 32 mA a CO_2 so spotrebou 50 mA, ktorý je zároveň podľa dokumentácie najviac zaťažujúcim senzorom (Waspnote Plug&Sense Sensor Guide, 2015).

Pri meraní obsahu CO_2 v ovzduší, ktoré trvalo viac než mesiac, sa stav batérie uzla nedostal pod hodnotu 90 % a pri VOC pod 80 %. Následne sa hodnoty stavu batérie ustálili, prípadne začali viditeľne stúpať a tak mohli byť testovania prerušené. Tento fakt je totiž znakom dodávky energie zo strany počítača.

Priebeh vybijania batérie pri zapojení senzorov NO_2 a Air Pollutants 2 je vyobrazený na grafe č. 3. Počiatočná hodnota stavu nabitia batérie bola 97 % (Air Pollutants 2) a 94 % (NO_2). Pre porovnanie je v grafe prítomná aj línia vybijania batérie uzla pri zapojení všetkých senzorov pri rovnakom intervale záznamu, kde bola počiatočná hodnota stavu batérie (92 %). Rôzne stavy nabitia batérie uzla mohli teoreticky mierne skresliť výsledný čas doby vybijania, avšak podstatou testu bolo vyčleniť hlavne najviac zaťažujúce senzory, čo sa podarilo.



Graf č. 3: priebeh vybijania batérií pri zapojení najviac zaťažujúcich senzorov

Zdroj: autor

Za najviac zaťažujúci senzor z tých, ktoré boli dostupné k testovaniu možno jednoznačne vyčleniť senzor Air Pollutants 2, ktorý z počiatočného stavu batériu do nuly vybil za 109,424 h. Senzor NO₂ trvalo vybitie 115,552 h, pričom aj v grafe č. 3 je viditeľný jasný prepád hodnôt. V tomto čase došlo k jednému z výpadkov posielania dát opísaných v kapitole Komplikácie, kde po opätovnom nahraní komunikačného protokolu bola hodnota batérie cca o 30 % nižšia.

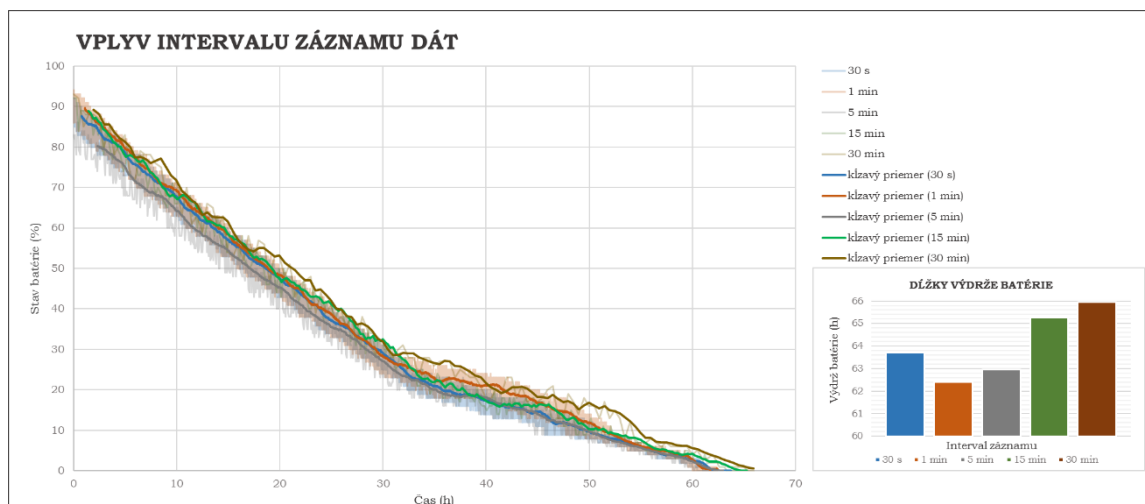
Graf č. 3 znázorňuje skutočné prijaté hodnoty spolu s ich líniou kľzavého priemeru, ktorá oveľa lepšie reprezentuje priebeh vybíjania. Vo všeobecnosti boli všetky dáta prijímané do počítača zasiahnuté veľkou nekonzistenciou. Tomuto faktoru sa venuje časť kapitoly Vyčlenenie vplyvujúcich faktorov.

Vplyv intervalu záznamu dát

Testovanie vplyvu voľby dĺžky intervalu posielania zaznamenaných dát na zaťaženie batérie uzla Smart Environment v domácom prostredí bolo druhým zo skupiny vnútorných testov. Podobne ako v predošlom prípade, neboli nájdené predošlé štúdie zamerané na podobný typ testovania. Avšak v tomto prípade sa ani v technickej špecifikácii nenachádza zmienka o energii potrebnej na poslanie získaných dát do počítača. Dá sa však vychádzať z predpokladu, že čím bude interval väčší interval posielania, tým bude uzol potrebovať menšie množstvo energie na prevádzku, nakoľko nebude musieť posielat dáta tak často.

K uzlu boli počas celkom piatich testovaní pripojené všetky dostupné senzory, ktoré aktívne zaznamenávali dáta. Uskutočnilo sa celkom 5 testov s intervalmi 0,5 min, 1 min, 5 min, 15 min a 30 min. Daná konfigurácia bola zvolená na základe faktu, že v areáli Holice sa využívajú najčastejšie v reálnej prevádzke WSN najmä intervaly 1 min – 15 min a je potrebné uzol otestovať pri jeho plnom zaťažení. Intervaly 0,5 min a 30 min boli zvolené ako hodnoty k porovnaniu, prípadne dôkazu potvrdenia teórie znižovania trendu energetického zaťaženia so zväčšujúcim sa intervalom.

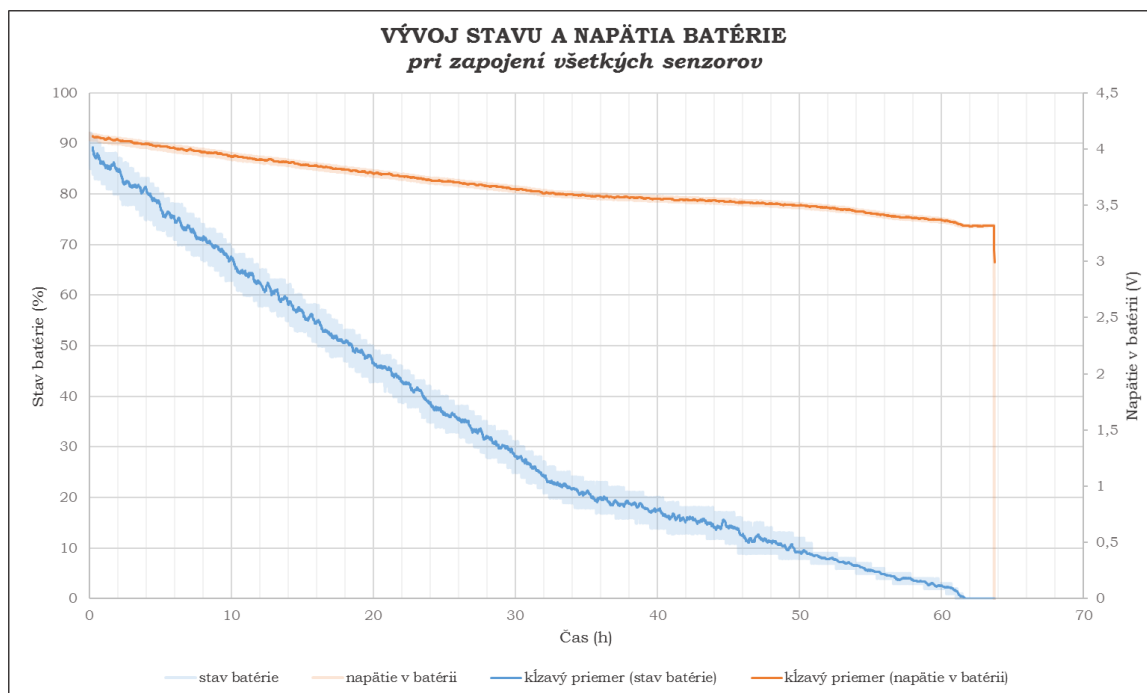
Výsledky všetkých testov z tejto skupiny testovaní názorne reprezentuje graf č. 4. V ňom sú zobrazené líniami opäť kľzavé priemery získaných hodnôt, nakoľko bola prítomná veľká nekonzistencia a kolísanie prijatých dát, podobne ako v predošlom prípade.



Graf č. 4: priebeh vybíjania batérií pri rôznych intervaloch záznamu
Zdroj: autor

Výsledky testovania opäť priniesli neočakávaný fakt. Konkrétne sa jedná o dĺžku výdrže batérie pri použití 30 s intervalu záznamu, ktorá prekonala svojou dĺžkou výdrž u 1 min aj 5 min intervalu. Po pozornejšom preštudovaní výstupných dát pri tomto teste je však potrebné dodať, že poslednú hodinu merania uzol posielal iba nulové hodnoty. To by v prípade reálneho merania znamenalo, že by boli dáta za tento čas nepoužiteľné. Preto je možné zaradiť tento test na podobnú úroveň testovania 1 min intervalu. Na základe tohto faktu sa dá konštatovať, že čím väčší je interval záznamu dát, tým menej energie uzol potrebuje na jeho prevádzku. Tak je zaručená dlhšia výdrž batérie.

V grafe č. 3 je tiež viditeľné, že na priebeh vybíjania interval záznamu veľký vplyv nemá. Všetky vybíjania nesú tvar exponenciálnej krivky, ktorá sa však líši od predpokladanej, tak ako je vyobrazené na obrázku č. 15 (viď. kapitola o energetických zdrojoch) alebo obrázku č. 22, ktorý uvádza samotný výrobca uzlov (viď. kapitola o batériách). Po odlišnej vizualizácii uvedenej ako graf č. 5, kde bolo využitých dát o napätí v samotnej batérii z uzla Smart Environment so zapojením všetkých senzorov je zrejmé, že uvedené obrázky predpovedali tendenciu vývoja napätia a nie stavu batérie. Tento fakt sa dá však z pohľadu užívateľa uzlov považovať za nevhodnú demonštráciu energetického správania batérie. So znižujúcim sa stavom batérie v uzli totiž dochádza aj k znižovaniu presnosti nameraných údajov alebo k väčšiemu riziku výpadkov posielania dát, čoho dôkazom sú výstupné dáta z uskutočnených meraní počas vonkajších testov. Minimálne z týchto dôvodov by bolo vhodnejším variantom hlavne v technickej špecifikácii uvádzať krivku vybíjania stavu batérie.



Graf č. 5: porovnanie vývoja stavu a napätia batérie v čase

Zdroj: autor

Komunikačná vzdialenosť

Prvá sekcia testov vo vonkajšom prostredí areálu Holice bola zameraná na testovanie miery vplyvu vzdialenosti na vybíjanie batérií. Pri testovaní bolo aktívne využitých celkovo 7 uzlov rozmiestnených v rôznych vzdialenostiach od brány Meshlium (viď. obrázok č. 25), do ktorej zozbierané dáta bezdrôtovo posielali. K tejto komunikácii bol využitý model XBee 802.15.4 pracujúci na 12 kanálovej frekvencii 2,4 GHz, pričom bolo využité piate pásmo 0x0F. Táto koncepcia bola zvolená hlavne z toho dôvodu, pretože bola a aj je aktívne využívaná pri práci s bezdrôtovou senzorovou sieťou v Olomouci a jej bližšia špecifikácia je umiestnená v prílohách práce. Výsledky vďaka tomuto faktu môžu byť ľahšie implementovateľné do reálnej prevádzky.

Testovanie vplyvu komunikačnej vzdialenosti spolu s prekážkami v prenose dát malo v rámci všetkých praktických testov v tejto práci najväčšiu prioritu. Jedná sa totiž o zisťovanie miery vplyvu faktorov, ktoré najviac ovplyvňujú zostavovanie a prevádzku skutočne fungujúcej bezdrôtovej senzorovej siete. Aj z toho dôvodu spomínané testy trvali najdlhšie časové obdobie. Zaznamenávanie dát uzlami v rámci zisťovania vplyvu komunikačnej vzdialenosti trvali viac než 6136 h. Do tejto doby spadajú aj záznamy z uzlov, ktoré pracovali už v roku 2014 a 2015, pričom aktívne zaznamenávali informácie o stave batérie. Jednalo sa o uzle Smart Agriculture s ID číslami 190 a 362. Ich dáta však boli reálne použiteľné až od 21. 4. 2015 a vyznačovali sa malou mierou úspešnosti prenosu a vysokou nekonzistenciou prijatých dát, čomu je venované bližšie vysvetlenie v ďalšom postupe práce. Samotné konkrétne vzdialenosti všetkých využitých uzlov sú

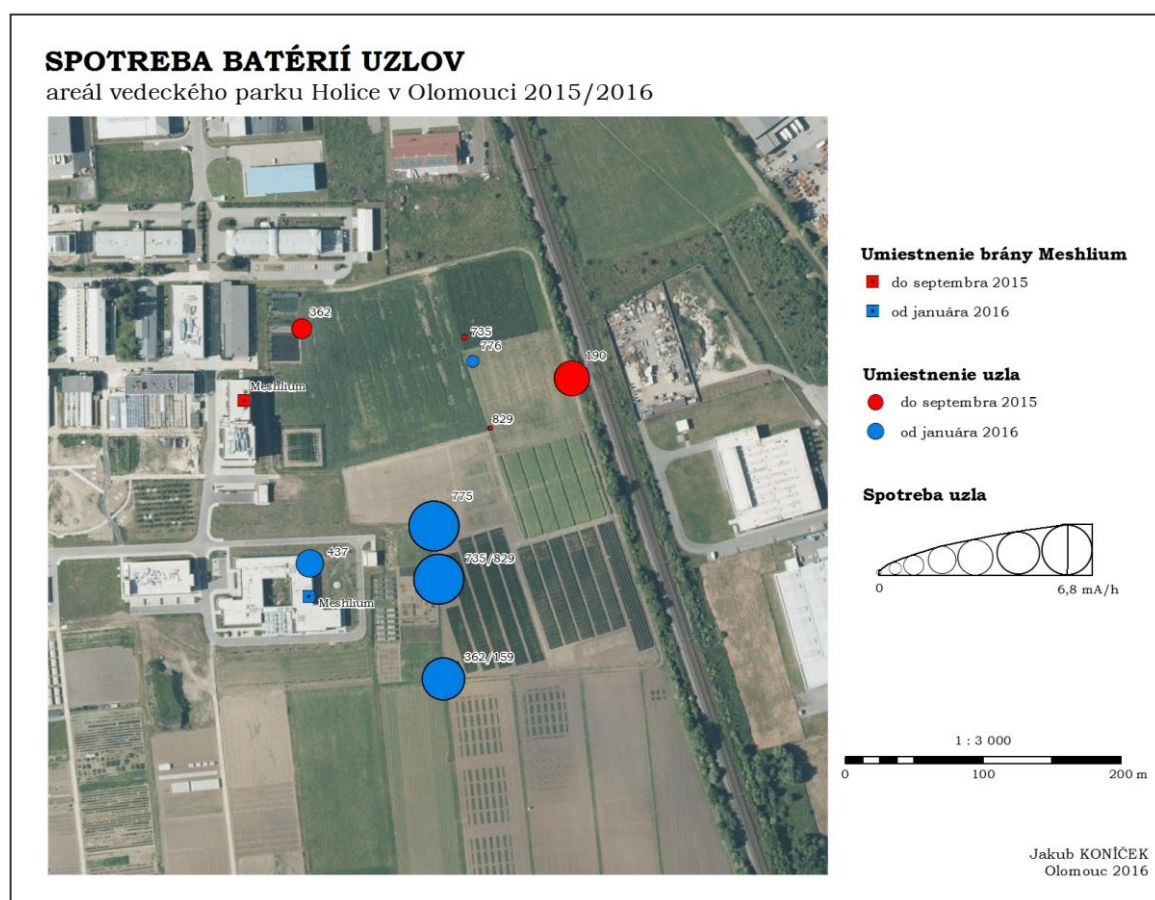
uvedené v tabuľke č. 4, kde sú farebne rozdelené od období v ktorých pracovali. Farby sú volené na základe legendy v obrázku č. 26.

Všetky vzdialenosti boli volené tak, aby v rámci možností areálu Holice pokryli rôzne vzdialenostné intervaly a mohli byť čo najobjektívnejšie porovnávané.

Tabuľka č. 4: komunikačné vzdialenosti uzlov

Zdroj: autor

ID uzla	Vzdialenosť od brány Meshlium
362	66,015 m
190	234,985 m
437	0,050 m
735/829	92,060 m
775	101,541 m
362/159	111,456 m
776	206,628 m



Obrázok č. 26: spotreba batérií uzlov v rôznych vzdialenostiach od brány

Zdroj: autor

Existuje predpoklad, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou medzi prijímacím a vysielačím zariadením (teda bránou a uzlom), sa zväčšujú energetické nároky vysielača s je druhou mocninou (Murthy, 2004). Reálne výsledky v podobe spotreby uzlov sú zobrazené na obrázku č. 26 na základe priemernej spotreby jednotlivých uzlov v čase. Tá sa pohybovala v intervale od 0,99 mA/h u uzla 776 po 6,8 mA/h pri uzle 775. Na vizualizácii sú zobrazené uzly s ich orientačnou polohou vyobrazenej na satelitnej snímke (zdroj: WMS služba ČÚZK) areálu Holice. Na základe veľkosti bodového znaku je možné odvodiť mieru spotreby daného uzla. Konkrétne hodnoty sú uvedené v tabuľke č. 5.

Nielen spotreba energie je však plnohodnotným ukazovateľom vplyvu komunikačnej vzdialenosti. Je potreba taktiež brať do úvahy mieru úspešnosti prenosu všetkých dát. Tá predstavuje percentuálne vyjadrenie skutočne prenesených dát zo všetkých, ktoré mal uzol zaslať. Na základe týchto faktov bude možné konštatovať, ako naozaj ovplyvňuje vzdialenosť energetickú spotrebu. Z toho dôvodu bola vytvorená podobná vizualizácia zobrazená na obrázku č. 27, ktorá zobrazuje práve mieru úspešnosti prenosu jednotlivých uzlov spôsobom, ako je tomu v predošlom prípade. Medzi týmito dvoma veličinami existuje závislosť, že čím väčšiu spotrebu energie uzol má, tým menej dát preniesol. Tento vzťah by mal teoreticky platiť, pretože pokiaľ uzol nedokáže poslať dáta do brány, musí vykonať ďalšiu energeticky náročnú činnosť spojenú s uložením týchto dát do vlastnej pamäte. Tým logicky musí spotrebovať aj viac energie. Na základe vizualizácii, prípadne tabuľky č.5, v ktorej sú uvedené aj konkrétne dáta o úspešnosti prenosu dát uzlov, je možné overiť či táto korelácia naozaj existuje. Preukázalo sa že áno, avšak určité pevné pravidlo závislosti nebolo nájdené.

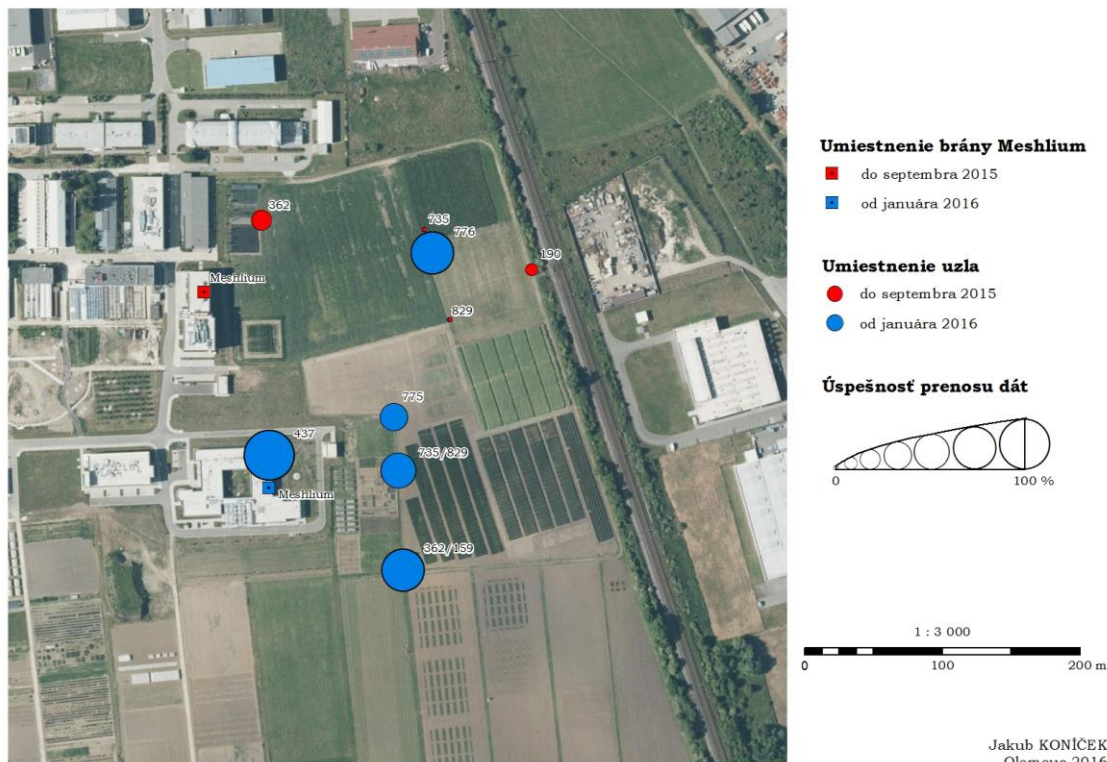
Tabuľka č. 5: prehľad zistených informácií z vonkajšieho testovania

Zdroj: autor

ID uzla	Spotreba uzla (mA/h)	Úspešnosť prenosu dát (%)	Vzdialenosť od brány Meshlium
437	1,625236	99,01	0,050 m
362	1,128156	21,42	66,015 m
735/829	6,418394	72,13	92,060 m
775	6,841245	50,46	101,541 m
362/159	4,188751	91,21	111,456 m
776	0,9937	91,03	206,628 m
190	4,18607	19,85	234,985 m

ÚSPEŠNOSŤ PRENOSU DÁT Z UZLOV

areál vedeckého parku Holice v Olomouci 2015/2016



Obrázok č. 27: úspešnosť prenosu dát z uzlov v rôznych vzdialenostiach od brány
Zdroj: autor

Na základe zistených údajov sa nie celkom jasne preukázal vzťah medzi úspešnosťou prenosu dát a spotrebou uzla. U väčšiny uzlov je však možné pozorovať, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od brány stúpa spotreba a klesá miera úspešnosti prenesených dát. Avšak z výsledkov nie je možné vyvodit' žiadnu konkrétnu závislosť, na základe ktorej by sa dalo predpovedať, ako presne sa bude správať uzol v otázke energetickej spotreby. Ako referenčné údaje pre porovnávanie je možné brať informácie o uzle 437, ktorý sa nachádzal v ideálnych vnútorných podmienkach, vzdialený len 5 cm od samotnej brány. Nebol tak zasiahnutý ďalej opísanými vplyvmi počasia či prekážkami v prenose dát.

Opäť aj počas tohto testovania sa objavila neočakávaná výnimka v meraniach. Jedná sa o správanie uzla 776, ktorý dosiahol minimálnu spotrebu energie počas testovaného obdobia v dobe vybíjania 1195,532 h a pritom veľmi vysokú úspešnosť prenosu dát. Najprekvapivejším faktom je však vzdialenosť od brány, ktorá viac než 200 m. Je možné sa len domnievať čo je príčinou takýchto výsledkov, nakoľko uzol pracoval v rovnakých podmienkach ako aj všetky ostatné počas testovania od januára 2016. Medzi najpravdepodobnejšie príčiny sa dá načrtnúť fakt, že uzol vďaka svojej polohe nebol zasiahnutý žiadnymi rušivými signálmi, vďaka čomu nemusel vydávať nadmerné množstvo energie na posielanie dát. Ostatné uzle sa nachádzali bližšie pri sebe a takisto

v blízkosti budovy, v ktorej aktívne existovalo a pracovalo viacero bezdrôtových zariadení. Takisto existuje možnosť, že sa signál uzlov rušil navzájom. Tomuto faktu je však venovaná nasledujúca časť prekážok v prenose dát.

Prekážky v prenose dát

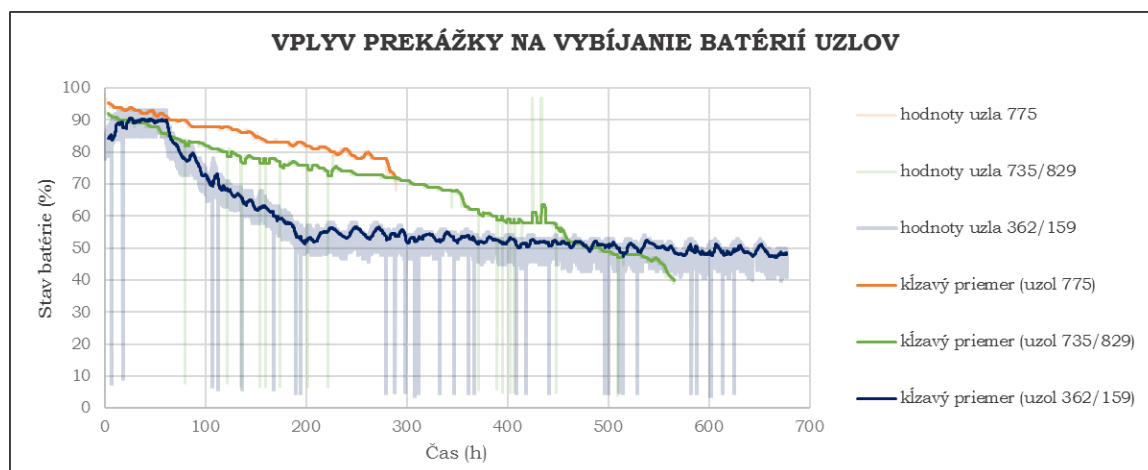
K testovaniu miery vplyvu prekážky, ktorá sa nachádza v línii prenosu signálu z uzla do brány bolo využitých troch uzlov a jednej brány spomenutých už pri opise predošlého testovania vplyvu komunikačnej vzdialenosti. Tieto dva testy spolu veľmi súvisia, nakoľko výsledky z oboch testovaných faktov značne ovplyvňujú samotné zostavovanie celej WSN.



Obrázok č. 28: rozmiestnenie uzlov pre testovanie vplyvu prekážky v prenose dát
Zdroj: autor

Rozmiestnenie, prekážky a vzdialenosti využitých uzlov od brány názorne v 3D vizualizácii vytvorenej pomocou Google Earth Pro reprezentuje obrázok č. 28. Uzly boli rozmiestnené vo vzdialenostiach od cca 92 m až 111 m, čo je možné považovať za veľmi podobné vzdialenosti, ktoré aj na základe výsledkov z predošlého testu sú reprezentatívnou vzorkou bez prítomnosti neočakávaných odchýlok. Uzle boli umiestnené v jednej línii, pričom priamy výhľad bez prekážky na bránu mal len prístroj 735/829. Signál uzla 775 musel prechádzať cez murovanú budovu slúžiacu ako pravdepodobne sklad, v ktorej neboli prítomné žiadne mobilné či iné bezdrôtové zariadenia a signály. Pre porovnanie, signál uzla musel prekonať cestu cez časť budovy, v ktorej boli aktívne využívané mobilné siete, bezdrôtové technológie a Wifi, ktorá pracuje na podobnej frekvencii ako XBee model využívaný na prenos dát.

Výsledkom testovani o celkovej dĺžke záznamov okolo 1532 h je zistenie, že prekážky prítomné v línii prenosu dát nemajú markantný vplyv energetické zafaženie batérie uzla. Vo väčšej miere ovplyvňujú úspešnosť a kvalitu prenosu konkrétne nameraných informácií. Dôkazom toho sú už uvedené vizualizácie v časti vplyvu komunikačnej vzdialenosti spolu s tabuľkou č. 5 vyčleňujúcou konkrétne údaje o spotrebe a úspešnosti prenosu dát. Uvedené výsledky demonštruje taktiež graf č. 6, zobrazujúci priebeh vybíjania batérií uzlov využitých pri tomto testovaní.



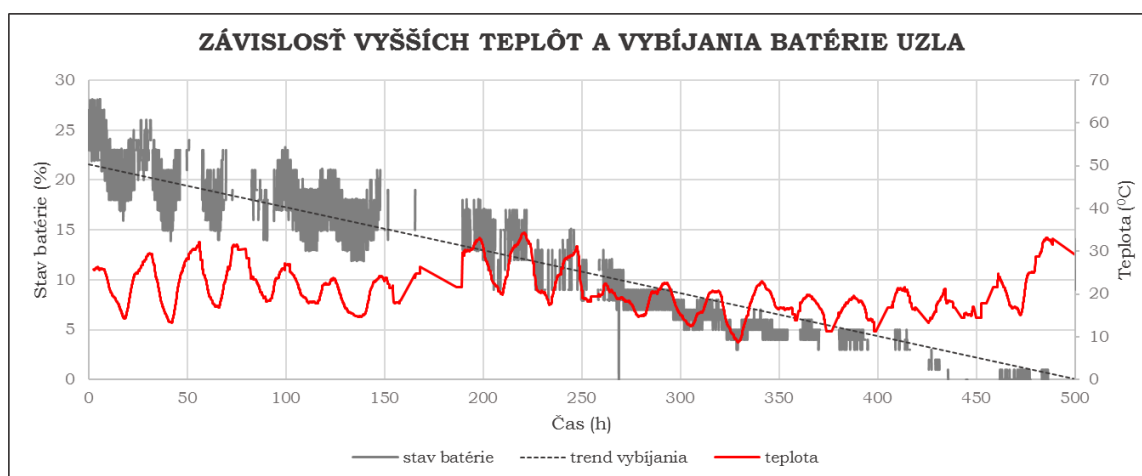
Graf č. 6: vplývavie prekážky v prenose dát na energetické správanie uzlov
Zdroj: autor

Trend vybíjania uzla s priamym výhľadom na bránu a uzla, ktorého signál prechádza skrz prekážku bez ďalších signálov je značne podobný, s určitou mierou nadsadenia je možné povedať, že až rovnaký. U uzla 775 boli zaznamenané o niečo vyššie výpadky posielania dát, avšak energetická spotreba je podobná. Odlíšny výsledok však ukazujú dáta uzla 362/159, ktorého signál musel prekonať časť budovy s aktívne pracujúcimi bezdrôtovými sieťami. Dáta z neho sú značne nekonzistentné a aj samotná línia vybíjania je odlišná. Správnosť prijatých údajov bola menšia než u ostatných dvoch uzlov.

5.2.2 Vyčlenenie vplývavujúcich faktorov

Po úspešnom prevedení testov, spracovaní dát a vyčlenení ich výsledkov, je v tejto kapitole prítomný sumár zistených faktorov, ktoré na základe dôkazov reálne vplývajú na energetické zafaženie uzlov Waspnote Plug&Sense. Primárne sú to faktory vyplývajúce priamo z uskutočnených testovani, na ktoré boli zamerané. Avšak nemožno opomenúť aj ďalšie, ktoré vyplynuli zo štúdia odbornej literatúry a v priebehu samotného testovania sa v určitej miere vyskytli. Jedná sa hlavne o vplyv klimatických podmienok na batériu uzla a nekonzistenciu prijatých dát.

Na základe dát poriadенých Robertom Šišmom, ktorý prevádzkuje amatérsku meteorologickú stanicu v Olomouci, spolu s dátami zo senzorov, bolo možné sa spätne dohľadať k teplotným a vlhkostným pomerom počas doby priebehu testovania (<http://infopocasi-olomouc.cz/>). Vďaka nim boli porovnané záznamy stavu, priebehu, spotreby a doby meraní samotných uzlov s týmito získanými údajmi o počasi. Preukázalo sa, ako bolo spomenuté, že väčší vplyv na batériu majú teplotné pomery. Zo záznamov z júla 2015 vyobrazených na grafe č. 7 je čitateľné, že so zvyšujúcou sa teplotou dochádzalo k výpadkom prenosu dát. Na základe toho je možné konštatovať, že tu bola prítomná aj väčšia energetická náročnosť, čo dokazujú výsledky vonkajších testovaní tento práce.



Graf č. 7: vplyv vyšších teplôt na priebeh vybíjania batérie
Zdroj: autor

Na krivkách je badateľný jasný vzájomný vzťah. S vývojom teplôt sa menil aj priebeh stavu batérie, pričom najkritickejšie hodnoty, čiže úplný výpadok posielania, nastával hlavne v čase, keď teplota dosahovala približne viac než 25 °C. Batéria uzla je podľa oficiálne dokumentácie schopná odolávať teplotám v rozmedzí -10 °C až 50 °C (Waspnote Technical Guide, 2015). Horná hranica odolnosti mohla byť teoreticky ľahko prekročená v prípade jasného počasia, nakoľko uzle sú v teréne umiestnené na otvorenom priestranstve, pričom samotná batéria je zakrytovaná čiernymi plastovými krabičkami. Kombinácia týchto faktov v prípade priameho slnečného žiarenia mohla zapríčiniť, že teplota v danom uzle bola vyššia než spomínaných 50 °C.

Vplyv nízkych teplôt na činnosť uzla, resp. jeho batériu preukázaný nebol. Lína vybíjania na rozdiel od tej uvedenej v grafe č. 7 bola plynulá bez viditeľnej závislosti na teplote. Podľa meraní v apríli 2015 a februári 2016 vonkajšia priemerná teplota dosahovala zhodných 9,8 °C. Najnižšia nameraná teplota v apríli 2015 bola -1,7 °C a najvyššia 22,9 °C. Dokonca vo februári 2016 boli ešte extrémnejšie teploty, keď najnižšia teplota dosiahla -4,2 °C a najvyššia 17 °C. Avšak aj napriek podobným

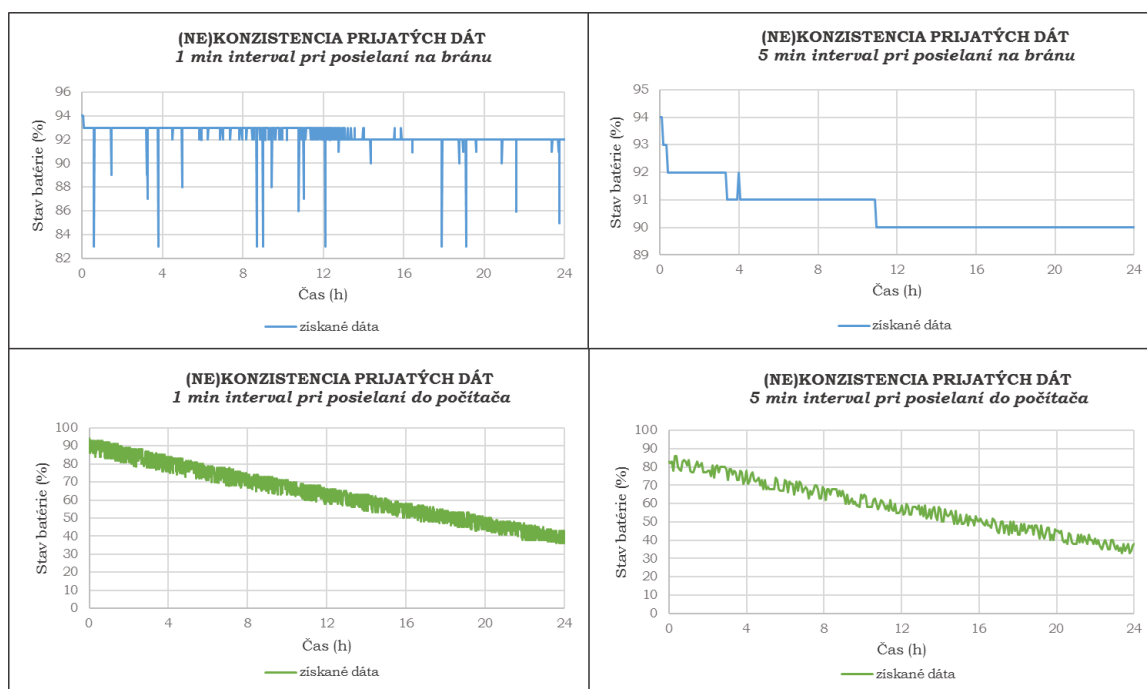
klimatickým pomerom, ba dokonca v roku 2016 čo sa týka zmien ešte drsnejším, priemerná úspešnosť prenosu dát dosahovala v apríli 2015 iba 29 % ale vo februári 2016 už 88 %. V rámci testovani sa však nepodarilo kvôli vonkajším pomerom dosiahnuť teplotu nižšiu ako $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ktorá bola najnižšou za celé testované obdobie.

Počas celého testovania sa striedali veľmi rôznorodé vlhkosťné pomery ovzdušia, avšak akýkoľvek vzťah medzi energetickým zaťažením a práve vlhkosťou nebol zaznamenaný. Vysvetlením môže byť fakt, že samotná batéria je vode-odolná a je uzatvorená do spomínaného plastového obalu uzla.

Nekonzistencia prijímaných dát

Skutočnosť, že dáta prijímané z uzla sú zasiahnuté určitou mierou nekonzistentnosti nie je priamo faktorom vplyvajúcim na energetické zaťaženie uzla. Jedná sa skôr o fakt, ktorý vzniká na základe ostatných faktorov. Avšak spomenúť a vysvetliť tento jav, ktorý sa vyskytol počas vonkajších aj vnútorných testovani je dôležité hlavne z pohľadu následného vyčlenenia návrhu optimálneho energetického zaťaženia a funkcionality uzlov.

Nekonzistentnosť vyskytujúcu sa počas merani k tejto práci možno charakterizovať ako posielanie výstupných dát s veľmi rôznorodými podmienkami. Prejavovala sa nepravidelným kolísaním hodnôt, hlavne o aktuálnom stave batérie, ktoré museli byť následne upravené. V niektorých prípadoch boli týmto fenoménom zasiahnuté aj konkrétne dáta zo senzorov.



Graf č. 8: porovnanie konzistencie dát pri posielaní na bránu a do počítača
Zdroj: autor

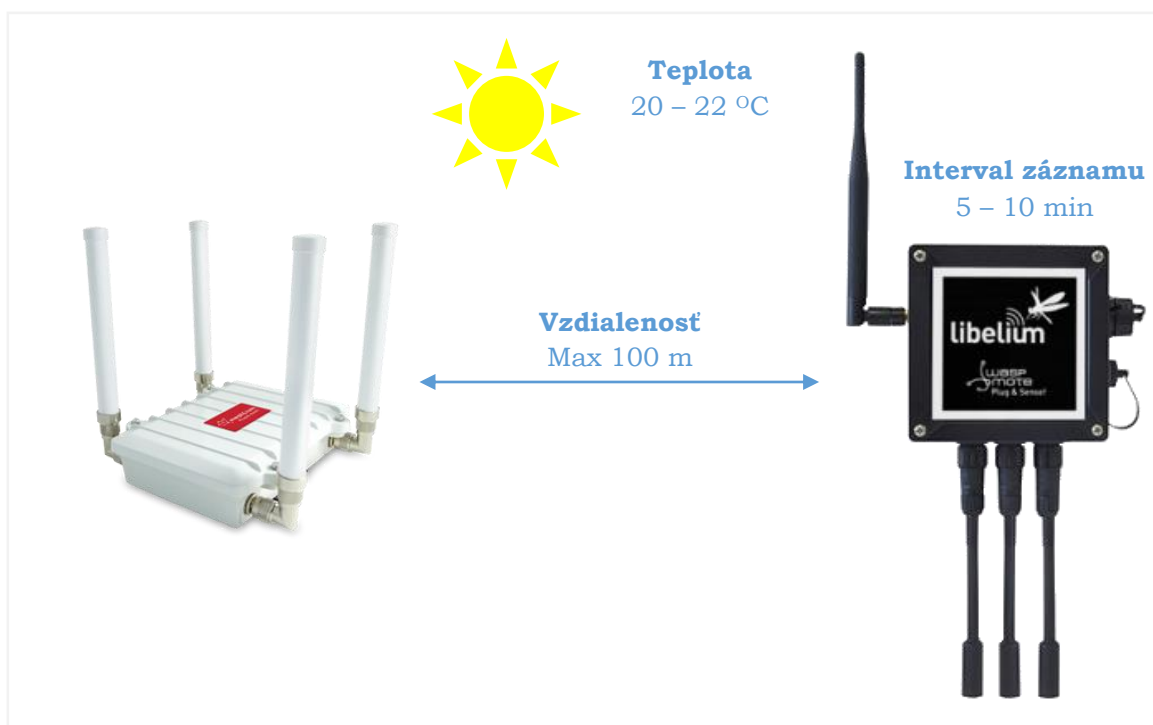
Je možné konštatovať, že do určitej miery mal na konzistenciu vplyv každý z testovaných faktorov. Vo vnútorných testoch sa preukázalo, že pri posielaní dát skrz USB kábel do počítača, sú výsledky vždy nekonzistenciou zasiahnuté. Informácie niekedy pri dvoch za sebou idúcich záznamoch dosahovali odchýlku až 8 %. Porovnanie výstupných dát za 24 h z prostredia počítača a z posielania na bránu Meshlium je zobrazené na súbore grafov č. 8. Jedná sa o záznamy dát z uzlov v rovnakej konfigurácii a pracujúcich v podobných podmienkach, kde je jediným rozdielom metóda posielania dát.

Hodnoty posielané bezdrôtovo na bránu obsahujú len niekoľko extrémnych hodnôt, ktoré sa dajú v následnom postprocessing-u jednoducho odfiltrovať a priebeh skutočných hodnôt je zreteľný. Pri využití posielania do počítača je však takmer nemožné odfiltrovať kolísajúce hodnoty a na odhadnutie priebehu vývoja hodnôt je potrebné využiť niektorú z trendových funkcií. Tento jav môže byť odôvodnený tým, že jednoducho uzle Waspnote Plug&Sense sú primárne stavané na prenos dát bezdrôtovo, preto je tento prenos v optimálnych podmienkach lepším variantom.

Ďalšími faktormi, ktoré už neovplyvňujú len samotnú konzistenciu dát ale aj energetické zaťaženie batérie, boli vyčlenené vo výsledkoch. Komunikačná vzdialenosť väčšia než približne 100 m, prekážky medzi bezdrôtovým prenosom dát z uzla do brány hlavne vo forme rušivých signálov majú preukázateľne väčší vplyv na oboje tieto faktory. Takisto, určitým zásahom sú hlavne vysoké teploty pôsobiace na batérie, ktoré môžu spôsobovať výpadky posielania dát. Zväčšujúci sa interval záznamu zas znižuje energetickú náročnosť a takisto znižuje nekonzistentnosť dát, nakoľko nie je prítomných toľko záznamov ako v menších intervaloch, čím sú hodnoty ustálenejšie a čitateľnejšie.

5.3 Optimálne energetické zaťaženie uzla

Po vypracovaní a splnení všetkých čiastkových cieľov, ktoré sú okomentované v priebehu celej predošlej časti práce, je finálnym výstupom návrh optimálneho energetického zaťaženia uzla, implementovateľný do reálnej prevádzky bezdrôtovej senzorovej siete. Tento návrh je koncipovaný tak, aby využitie uzlov Waspnote Plug&Sense bolo čo najefektívnejšie a zároveň čo najviac energeticky úsporné. Ich presná špecifikácia počas testov je uvedená v prílohách práce. Vypracovanie tohto návrhu sa zakladá na poznatkoch z praktických testovaní, štúdia literatúry a i. Samotné optimálne energetické zaťaženie je vyobrazené info-grafikou na obrázku č. 29, prípadne je názorne popísané na posterí priloženom k práci.



Obrázok č. 29: optimálne energetické zaťaženie uzla
Zdroj: autor s využitím Waspnote Technical Guide (2015)

Zobrazený návrh bol vytvorený tak, aby merania pomocou uzla boli plnohodnotné, neskreslené a podali v rámci činnosti čo najdlhší možný výkon. Základným prvkom je voľba druhu uzla, ktorá závisí na druhu meraných veličín. V prípade detekcie prítomnosti rôznych plynov v ovzduší je nutné využiť uzol Smart Environment, prípadne na využitie meraní iných environmentálnych charakteristík zas Smart Agriculture Normal alebo Pro. Voľba samotných senzorov závisí taktiež od druhu merania. Pokiaľ však nie je nevyhnutné zaznamenávať veličiny o koncentrácii NO₂ alebo niektorého prvku z ponuky senzora Air Pollutants 2, odporúča sa tieto senzory do uzla nezapájať a ani ich v komunikačnom protokole nespomínať.

Najviac energeticky úsporné pre batérie uzlov je zvoliť bezdrôtovú formu prenosu dát. Existuje celkom 8 rôznych možností bezdrôtového prenosu dostupných pre uzle Waspnote. Vhodné je vopred sa informovať či v prostredí, na ktorom bude meranie prebiehať, sa nenachádzajú nejaké aktívne bezdrôtové siete. Ak áno, je veľmi vhodné zistiť na akej frekvencii pracujú a na základe tohto faktu zvoliť diametrálne odlišnú. V prípade využitia v takomto prostredí modelov pracujúcich na frekvenciách v okolí 2,4 GHz je veľmi pravdepodobné, že prenos bude zasiahnutý rušením.

Tieto parametre sa definujú už v komunikačnom protokole, ktorých príklady pre jednotlivé varianty testovaných uzlov sú prítomné v prílohách. Na ich základe možno vypracovať nízkoenergeticky zapažujúci vlastný kód podľa špecifických požiadaviek. Odporúča sa v každom kóde využívať Deep Sleep mode, ktorý výrazne šetrí energiu.

Voľba intervalu záznamu dát je opäť na samotnom užívateľovi siete. Pre každé merania je potrebné špecificky voliť frekvenciu záznamu. Na základe uskutočnených testovanií vychádza z hľadiska pomeru energetickej úspornosti, kvality a počtu prijatých dát využitie 5 min až 10 min interval záznamu informácií za najoptimálnejšie. V týchto prípadoch posielania informácií boli dáta veľmi konzistentné s vysokou úspešnosťou prenosu a ich počet dostačujúci na podrobné analýzy.

Pri zostavovaní samotnej bezdrôtovej senzorovej siete v teréne je pravdepodobne najvhodnejšie využiť hviezdicovej topológie tak, ako bola testovaná pre potreby tejto práce. Jedná sa totiž o rozloženie, kde uzle posielajú dáta priamo do brány, sú tak podobne zapažené a v prípade výpadku uzla užívateľ nepríde o dáta aj z ostatných uzlov. Princíp preposielania dát skrz ďalšie uzly je pre tieto nosiče niekoľkokrát viac energeticky zapažujúci, preto je prítomné riziko príliš rýchleho vybitia alebo poslania skreslených dát oveľa väčšie.

Jednotlivé uzle je optimálne umiestniť do maximálnej vzdialenosti 100 m od brány, nakoľko sa potvrdilo, že približne v takejto diaľke uzle posielajú najkvalitnejšie, resp. najkonzistentnejšie dáta a ich energetická spotreba je prijateľná. V línii prenosu sa môžu vyskytovať určité prekážky, ktoré ovplyvnia spotrebu len minimálne.

Vplyv klimatických pomerov, hlavne teploty, je vo vonkajších podmienkach ťažko nejako ovplyvniť. Je možné len vydať odporúčanie, že batérie uzlov pracujú najlepšie pri izbových teplotách. Vhodným opatrením by však mohlo byť zamedziť priamemu slnečnému žiareniu pôsobiť na samotný uzol. Krabíčka je čierna, vďaka čomu koncentruje veľké množstvo tepla, čo spôsobuje zohrievanie jeho vnútorného prostredia. To následne môže neželane ovplyvniť činnosť batérie a jeho procesov samotných.

6 DISKUSIA

Práca s využívanou technológiou Waspnote Plug&Sense nebola od prvopočiatku jednoduchou záležitosťou. Jedná sa totiž o relatívne novú technológiu hlavne na Katedre geoinformatiky, ale taktiež aj v celej Českej republike, preto pri ich využívaní nie sú nadobudnuté výrazné expertné schopnosti používateľov. V priebehu narábania s jednotlivými uzlami sa častokrát vyskytovalo množstvo problémov, ktorých dôvod nedokázali určiť ani kontaktovaní vývojári spoločnosti Libelium na základe ich podrobného opisu. Spolu s komplikáciami popísanými v kapitole výsledkov práce a riešením daných problémov, tieto okolnosti mali za následok radikálne skracovanie už tak obmedzeného času potrebného pre vykonanie časovo náročných testov. Taktiež, po vykonaní každého testu bolo nutné batérie uzlov znova nabiť do čo najvyššej možnej úrovne, čo vďaka schopnosti prijať len okolo 100 mA s pravidla trvalo vždy viac ako 140 h pre každý uzol.

Scenáre testov boli vždy zostavované tak, aby podmienky v nich simulované čo najviac zodpovedali tým reálne využívaným. Tak bolo možné získať čo najviac verné výstupy a následne z nich vychádzať pri ďalšom používaní uzlov. Pre vonkajšie testovanie volený 5 min až 10 min interval záznamu dát, jednotlivé zostavy zapojených senzorov a rozmiestnenie uzlov presne zodpovedalo pomerom, v akých v súčasnosti aj v minulosti WSN Holice existovala. Pre tento účel bola zvolená hviezdicová topológia, ktorá sa v Holici aktívne využíva a v budúcnosti majú byť na základe nej rozložené uzle aj pri budovaní ďalšej WSN. Energetická spotreba jednotlivých uzlov v iných topológiách je odhadnuteľná na základe zistených výsledkov z prebehnutých testov.

Vnútorne testy na uzloch Smart Environment boli koncipované tak, aby bolo možné v ideálnych podmienkach otestovať skutočnú výdrž batérií oproti výrobcom udávanej hodnote. Vybíjanie jednotlivými senzormi nebolo možné vopred odhadnúť, nakoľko podobné testy pravdepodobne ešte vykonávané, resp. o nich nebol nájdený žiaden záznam. Výsledky z nich boli značne rôznorodé a prekvapivé. Testy trvali rôzne časové obdobia a častokrát boli ukončené ešte pred úplným vybitím batérie uzla. V týchto prípadoch bolo totiž preukázané, že senzor zaťažuje batériu tak málo, že uzol začne prijímať energiu z počítača a tak udržiavať rovnakú hodnotu stavu batérie.

Vďaka častým problémom, ktoré bolo potrebné riešiť v priebehu práce nutne muselo vzniknúť aj množstvo riešení s nimi súvisiacich. Tie už počas doby tvorby práce boli implementované do existujúcej WSN a pri ďalšej práci s uzlami. Jednalo sa hlavne ho vytvorenie niekoľkých nových komunikačných protokolov, napr. zabezpečujúceho rýchlejšie nabíjanie, bezdrôtový prenos dát v rámcoch alebo niektoré samotné princípy fyzického narábania s uzlami. Samotná lepšia funkcionálna uzlov by mohla byť zabezpečená pripojením solárneho panela alebo kúpou nových batérií. Uzle totiž od

samotnej kúpy spred dvoch rokov nepodstúpili žiadnu revíziu z oblasti ich energetickej stránky.

Výsledky z testov a návrhy optimálneho využitia by mohli, resp. by mali byť využité pri prevádzke súčasnej alebo budovaní nových WSN s podobnou špecifikáciou aká bola využitá pri testovaniach, nielen pod záštitou Katedry geoinformatiky.

7 ZÁVER

Táto bakalárska práca bola zameraná na vyčlenenie vplyvujúcich faktorov na energetické zaťaženie batérií uzlov bezdrôtovej sensorovej siete od spoločnosti Libelium z produktovej rady Waspnote Plug&Sense. Uskutočniteľné to bolo na základe praktických testov prebiehajúcich vo vnútornom a vonkajšom prostredí.

Pred samotným testovaním bola v práci vyčlenená prvá časť podrobnej teoretickej špecifikácii technológiám bezdrôtových sensorovým sieťam, zameranej na ich energetické zdroje a požiadavky. Prítomný tu je taktiež popis produktov spoločnosti Libelium a iných významných svetových výrobcov, akými sú CrossBow, Intel Research a i. Určitá časť je venovaná taktiež rôznym spôsobom využitia a skutočne fungujúcej prevádzke týchto sietí napr. v Smart Cities či Smart Houses, dažďových pralesoch alebo v samotnom Olomouci vo vedeckom areáli Univerzity Palackého Holic. Všetky teoretické poznatky boli výborným východiskom pre praktickú časť práce.

Jednotlivé testy energetického zaťaženia batérií uzlov boli prevedené na základe piatich predom podrobne vypracovaných scenárov, ktoré obsahovali detailný popis využitej technologickej zostavy a samotného priebehu. Konkrétne boli využité typy uzlov Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture Pro. Vo vnútornom prostredí bol testovaný vplyv intervalu záznamu dát a energetické zaťaženie jednotlivými senzormi. Vo vonkajšom prostredí areálu Holic sa uskutočnili merania vplyvu komunikačnej vzdialenosti a prekážok v prenose dát na energetické zaťaženie. Z ich výsledkov bolo možné vyvodit aj vplyv meteorologických faktorov.

Výsledkami práce sú okrem teoretickej charakteristiky technológií hlavne vyčlenené faktory vplyvajúce na energetické zaťaženie batérií, podložené na základe vykonaných testov. Najviac negatívne na spotrebu uzlov a taktiež kvalitu získaných dát z uzla vplyvajú bezdrôtové signály fungujúce na podobnej frekvencii ako model bezdrôtového prenosu uzla, zväčšujúca sa komunikačná vzdialenosť nad 100 m od záznamovej brány siete, zmenšujúci sa interval záznamu dát alebo extrémne vysoké teploty pôsobiace na batériu, zapríčinené najmä pôsobením priameho slnečného žiarenia na uzol. Mimo to boli preukázané výrazné odlišnosti skutočných faktov od tých, ktoré boli uvedené v oficiálnej technickej špecifikácii. Jedná sa hlavne o rozdielne energetické spotreby sensorov, dĺžku a priebeh vybíjania alebo nabíjania batérie.

Na základe výsledkov mohol byť vytvorený návrh optimálneho energetického zaťaženia uzlov Waspnote Plug&Sense, ktorý obsahuje odporúčania k zostaveniu efektívne fungujúcej a energeticky prijateľne pracujúcej bezdrôtovej sensorovej siete. Tá by mala využívať pre posielanie nameraných dát bezdrôtový prenos pracujúci v pásme, ktoré neovplyvňujú iné bezdrôtové signály v intervaloch od 5 min do 10 min, pričom v ideálnom prípade by mali byť uzly umiestnené do 100 m a kryté voči priamemu slnečnému žiareniu. Návrh a samotné výsledky práce budú využité nielen

k implementácii do reálnej pracujúcej WSN, ale taktiež ich je možné použiť ku akémukoľvek zefektívneniu práce s touto technológiou, pracujúcu na základe podobných princípov akými boli vykonávané testy v tejto práci.

POUŽITÁ LITERATÚRA A INFORMAČNÉ ZDROJE

ABABNEH, Nedal Hussein Ahmad. Energy efficient topology control algorithm for wireless sensor networks. Philosophy in the Faculty of Engineering and Information Technologies, The University of Sydney, 2008. Dostupné z: https://www.academia.edu/188102/energy_efficient_topology_control_algorithm_for_wireless_sensor_networks

AKYILDIZ, Ian Fuat; VURAN, Mehmet Can. Wireless sensor networks. Hoboken, NJ: Wiley, 2010

Arduino. Introduction [online]. 2016. Dostupné z: <http://arduino.cc>

ASÍN, Alicia; GASCÓN, David. 50 Sensor Applications for a Smarter World [online]. 2015. Dostupné z: http://www.libelium.com/top_50_iot_sensor_applications_ranking/pdf

BIELSA, Alberto. Smart Parking and environmental monitoring in one of the world's largest WSN. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. 2013. Dostupné z: http://www.libelium.com/smart_santander_smart_parking/

BLUM, Jeremy. Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardry. Indianapolis, Ind.: Wiley, 2013. ISBN 978-1118549360

BRUNIG, Michael; MORE, Darren; WARK, Tim. CSIRO. Monitoring Rainforest Regeneration [online]. 2009. [Citácia: 16. 2. 2016] <http://research.ict.csiro.au>

Cadex Electronics. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. 2016. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com>

CISKO, Jozef. Diplomová práca: Jozef Cisko [online]. Senzorové siete. Dostupné z: http://www.kemt-old.fei.tuke.sk/predmety/KEMT451_TT/Senzorove%20siete/Senzorove%2520siete.pdf

COOK, Diane; DAS, Sajal. Smart environments: technologies, protocols, and applications. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005

Cooking Hacks. Using Intel Galileo with the Arduino and Raspberry Pi shields designed by Cooking Hacks [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/intel-galileo-tutorial-using-arduino-and-raspberry-pi-shields-modules-boards>

DARGIE, Walteneagus; POELLABAUER, Christian. Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice. Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, NJ: Wiley. Wiley series on wireless communications and mobile computing, 2010. ISBN 978-0-470-99765-9

DOSTÁL, Radek. Bakalárska práca: Radek Dostál [online]. 2015. Měření základních meteorologických prvků pomocí bezdrátových senzorových sítí. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Olomouc. Dostupné z: <http://theses.cz/id/utaeo3/>

Fibaro. Fibaro Inteligentní Dům [online]. 2014. Dostupné z: http://www.mojefibaro.cz/wp-content/uploads/2015/10/FIBARO_letak_2014.pdf?b26401

GRYGÁREK, Petr. Referenční model ISO/OSI a standardizace v počítačových sítích [online]. 2003. Dostupné z: http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/OSI_RM.html

HANSON, Jeff. Event-driven services in SOA. JavaWorld [online]. 2005. Dostupné z: <http://www.javaworld.com/article/2072262/soa/event-driven-services-in-soa.html>

HEJLOVÁ, Vendula; VOŽENÍLEK, Vít. Wireless Sensor Network Components for Air Pollution Monitoring in the Urban Environment: Criteria and Analysis for Their Selection. Wireless Sensor Network. 2013, roč. 05, č. 12, s. 229–240. ISSN 1945-3078, 1945-3086

Homesystem. Senzory v inteligentnom dome Z-Wave a Fibaro [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.homesystem.sk/senzory.html>

CHANDLER, Nathan; EDMONDS, Molly. How Smart Homes Work [online]. 2008. Dostupné z: <http://home.howstuffworks.com/smart-home.html>

IEEE standards association [online]. [Citácia: 10. 12. 2015]. Dostupné z: <http://standards.ieee.org/>

Insteon Details [online]. 2013. Dostupné z: http://cache.insteon.com/documentation/insteon_details.pdf

Instructables. Smart home with arduino [online]. [Citácia: 3. 3. 2016]. Dostupné z: <http://Instructables.com>

IQRF Alliance. Bude prvním inteligentním městem v ČR jihočeský Písek? [online]. 2015. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/13602-bude-prvnim-inteligentnim-mestem-v-cr-jihocesky-pisek>

Iris Datasheet [online]. 2007. Dostupné z: http://www.nr2.ufpr.br/~adc/documentos/iris_datasheet.pdf

JANEČEK, Jiří. Diplomová práce: Jiří Janeček. Energeticky efektivní algoritmy shlukování v bezdrátových senzorových sítích. Olomouc, 2010. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z: <http://theses.cz/id/c81yj6/>

JAWAD ALI, Syed; ROY, Partha. Energy Saving Methods in Wireless Sensor Networks. 2008. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:238655>

JENSON, Scott; WANT, Roy; SCHILIT, Bill. Computer, Enabling the Internet of Things. Long Beach, Calif., etc.: IEEE Computer Society., s. 28-35, 2015. ISSN 0018-9162

KAUR, Gurwinder. Energy Efficient Topologies For Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed and Parallel systems, 2012, roč. 3, č. 5, s. 179–192. ISSN 22293957

KOPETZ, Hermann. Real-Time Systems Design Principles for Distributed Embedded Applications. 2011. 2nd ed. Boston, MA: Springer US. ISBN 9781441982377

KOSMERCHOCK, Steven. Wireless Sensor Network Topologies. 2014. Dostupné z: http://k5systems.com/TP0001_v1.pdf

Libelium Official Forum [online]. 2016. Dostupné z: <http://libelium.com/forum>

Lyncos Technologies. Lhings [online]. [Citácia 5. 3. 2016]. Dostupné z: <http://lhings.com>

MA, Yajie; RICHARDS, Mark; GHANEM, Moustafa; YIKE, Guo; HASSARD, John. Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in ondon. Sensors. 2008, 3601 - 3623. Dostupné z: www.mdpi.com/1424-8220/8/6/3601/pdf

MALARIC, Kresimir; SAFARIC, Stanislav. ZigBee wireless standard [online]. 2006. Dostupné z: http://webpages.uncc.edu/~jmconrad/ECGR6185-2007-01/notes/IEEE_ZigBee.pdf

Memsic [online]. [Citácia: 28. 12. 2015]. Dostupné z: <http://www.memsic.com>

MIZERA, Jozef. Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno, 2011

MURTHY, C.; MANOJ B. C. Ad hoc wireless networks: architectures and protocols. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2004, 857 s. ISBN 01-314-7023-X

NATAF, Emmanuel; FESTOR, Olivier. Online Estimation of Battery Lifetime for Wireless Sensors Network. 2012. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1209.2234>

NI, Xingjie; ISHII, Satoshi; KILDISHEV, Alexander; SHALAEV, Vladimir. Ultra-thin, planar, Babinet-inverted plasmonic metalenses. Light: Science & Applications. 2013, roč. 2, č. 4, s. e72. ISSN 2047-7538

POLANSKY, Radovan. Smart City Písek – „Může okresní město posunout obor Smart Cities?“ [online]. 2015. Dostupné z: http://www.stavebni-forum.cz/diskuse2014/prezentace/05282015_polansky.pdf

Proxim Wireless Corporation. Fresnel Clearance Zone [online]. 2016. Dostupné z: <http://proxim.com>

Sensors Magazine [online]. 2016. Dostupné z: <http://sensorsmag.com>

Sensorsmag. Crossbow Introduces IRIS Wireless Product Line [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.sensorsmag.com/wireless-applications/news/crossbow-introduces-iris-wireless-product-line-2487>

SHARMA, Amit; SHINGHAL, Kshitij; SRIVASTAVA, Neelam; SINGH, Raghuvir. Energy management for wireless sensor network nodes. International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2011, roč. 1, č. 1, s. 7–13. Dostupné z: <http://www.ijaet.org/media/Energy-Management-for-Wireless-sensor-Network-Nodes-Copyright-IJAET.pdf>

Smart Cities Magazin. Magazin o chytrých řešeních pro efektivnější správu měst a obcí [online]. 2016. Dostupné z: <http://scmagazine.cz>

SOLOBERA, Javier. Libelium. Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Wasmote. [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.libelium.com/libeliumworld/articles/101031032811>

STAUDEK, Jan. WSN, Wireless Sensor Networks, ZigBee. 2014. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/vyuka/PA151/07_wpan_zb.pdf

TASR. Zamorené ovzdušie trápi Londýn [online]. 2014. Dostupné z: <http://www.aktuality.sk/clanok/250517/zamorene-ovzdušie-trapi-londyn-zavreli-skoly-premier-zrusil-beh/>

TCP. Realizované projekty TCP (Technologické Centrum Písek) [online]. 2016. Dostupné z: <http://tcpisek.cz/realizovane-projekty/>

The Florida Center for Instructional Technology. Topology [online]. Dostupné z: <http://fcit.usf.edu/Network/chap5/chap5.html>

Tinynode [online] [Citácia: 28. 12. 2015]. Dostupné z: <http://www.tinynode.com>

Wasmote - Plug & Sense! - Code Generator - v02 [online]. 2015. Dostupné z: http://www.libelium.com/development/wasmote/code_generator

Wasmote Plug & Sense! Sensor Guide. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. 2015. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_plug_and_sense_sensors_guide.pdf

Wasmote Plug & Sense! – Quick Overview. Libelium [online]. 2015. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_plug_and_sense-overview.pdf

Wasmote Plug & Sense! Technical Guide. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. 2016. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_plug_and_sense_technical_guide.pdf

Wasmote Technical Guide. Libelium [online]. 2015. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_technical_guide.pdf

Wasmote Quickstart Guide. Libelium [online]. 2014. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/quickstart_guide.pdf

YOUNG, Joel. Batteries. A Practical Guide to Battery Technologies for Wireless Sensor Networking [online]. 2008. Dostupné z: <http://www.sensorsmag.com/networking-communications/batteries/a-practical-guide-battery-technologies-wireless-sensor-netwo-1499>

Z-Wave Alliance. About Z-Wave Technology [online]. [Citácia: 3. 3. 2016] Dostupné z: <http://z-wavealliance.org>

PRÍLOHY

ZOZNAM PRÍLOH

Viazané prílohy:

Príloha 1: Scenáre testovania

Príloha 2: Fotogaléria z priebehu vonkajších testovaní

Voľné prílohy:

Príloha 3: Poster

Príloha 4: DVD

Popis štruktúry DVD

Adresáre:

- Metadata
- Vystupne_data (*dáta poriadené počas testovaní*)
- Komunikacne_protokoly (*príklady využitých komunikačných protokolov*)
- Text_prace
- Web_stranka (*internetové stránky práce*)

Príloha 1: SCENÁRE TESTOVANIA

V prílohe 1 sa nachádzajú scenáre testovania, na základe ktorých bola konfigurovaná technológia k vykonaniu testov a špecifikované prostredie, kde test prebiehal. Taktiež tu boli vyčlenené otázky, na ktoré mal daný test podať svojimi výsledkami odpovede. Tie sú uvedené spolu s vysvetlením v samotnom texte bakalárskej práce.

Vplyv intervalu záznamu

Otázky k zodpovedaniu:

Ako bude vplývať interval zápisu záznamu zo senzoru na výdrž batérie uzla?

Vydrží batéria výrobcom stanovenú dobu?

Ovplyvní zmena dĺžky intervalu dĺžku výdrže batérie?

Aká doba bude potrebná na zistenie zmien?

Tabuľka A: Popis technológie a prostredia

Typ uzla	Smart Environment
Počet uzlov	1
Batéria	Lithium 6600 mAh
Nabijanie	Skrz USB kábel z PC
Zapojené senzory	Temperature, Humidity, CO ₂ , NO ₂ , VOC, Air Pollutants 2
Aktívne pracujúce senzory	Všetky
Interval záznamu dát	Postupne 0,5 min / 1 min / 5 min / 15 min / 30 min
Spôsob záznamu	Zber skrz USB + PuTTY suit
Výstupný formát	.log
Upravený formát	.txt/.xlsx
Priebeh testov	5.2.2016 – 31.3.2016
Celková dĺžka vybíjania	320 h
Priemerná teplota prostredia	21,4 °C
Priemerná vlhkosť vzduchu	34,1 %
Lokalita testovania	Izba v bytovom dome

Energetické zaťaženie senzorom

Otázky k zodpovedaniu:

Ako bude vplývať zapojenie rôzneho počtu senzorov na výdrž batérie uzla?

Vydrží batéria výrobcom stanovenú dobu?

Ako energeticky zaťažujú batériu uzla rôzne typy senzorov?

Ktoré senzory sú majú najmenšie, a ktoré naopak najväčšie energetické nároky?

Aká doba bude potrebná na zistenie zmien?

Tabuľka B: Popis technológie a prostredia

Typ uzla	Smart Environment
Počet uzlov	1
Batéria	Lithium 6600 mAh
Nabíjanie	Skrz USB kábel z PC
Zapojené senzory	Temperature, Humidity, CO ₂ , NO ₂ , VOC, Air Pollutants 2
Aktívne pracujúce senzory	Vždy 1
Interval záznamu dát	30 s
Spôsob záznamu	Zber skrz USB + PuTTY suit
Výstupný formát	.log
Upravený formát	.txt/ .xlsx
Priebeh testov	24.12.2015 – 6.3.2016
Celková dĺžka vybíjania	1300 h
Priemerná teplota prostredia	21,4 °C
Priemerná vlhkosť vzduchu	34,1 %
Lokalita testovania	Izba v bytovom dome

Prekážky v prenose dát

Otázky k zodpovedaniu:

Ako budú vplývať rôzne prekážky pri prenose dát na výdrž batérie uzla?

Vydrží batéria výrobcom stanovenú dobu?

Ako energeticky zaťažujú batériu uzla rôzne prekážky v porovnaní s ideálnym prenosom?

Ktoré prekážky vplývajú najviac a ktoré najmenej? Ako?

Aká doba bude potrebná na zistenie zmien?

Tabuľka C: Popis technológie a prostredia

Typ uzla	Smart Agriculture Normal
Počet uzlov	3
Batéria	Lithium 6600 mAh
Nabíjanie	Skrz USB kábel z PC/USB nabíjačku z elektrickej siete
Zapojené senzory	Temperature, Humidity, Anemometer, Pluviometer, Vane
Aktívne pracujúce senzory	Všetky
Interval záznamu dát	5 min
Spôsob záznamu	Bezdrôtový prenos XBee 802.15.4, 2.4 GHz, kanál 0x0F
Záznamové zariadenie	SQL databáza Meshlium v5.0.5.1a
Výstupný formát	.txt/.csv
Upravený formát	.txt/.xlsx
Priebeh testov	1.1.2016 – 7.4.2016
Celková dĺžka vybíjania	1532 h
Priemerná teplota prostredia (maximálna)	5,5 °C
Priemerná teplota prostredia (minimálna)	-1,4 °C
Priemerná vlhkosť vzduchu	83 %
Lokalita testovania	Vonkajší areál vedeckého parku Univerzity Palackého Holic

Vplyv komunikačnej vzdialenosti

Otázky k zodpovedaniu:

Akú spotrebu energie majú batérie uzlov pri rôznych testovaných komunikačných vzdialenostiach medzi nimi?

Zväčšuje sa spotreba energie so vzdialenosťou medzi uzlami?

Dá sa predpokladať, ako veľké bude energetické zaťaženie pri danej vzdialenosti?

Je možné vyčleniť na základe výsledkov vonkajších testov aj iné vplyvajúce faktory?

Tabuľka D: Popis technológie a prostredia

Typ uzla	Smart Agriculture Normal a Pro
Počet uzlov	7
Batéria	Lithium 6600 mAh
Nabíjanie	Skrz USB kábel z PC/USB nabíjačku z elektrickej siete
Zapojené senzory	Temperature, Humidity, Anemometer, Pluviometer, Vane
Aktívne pracujúce senzory	Všetky
Interval záznamu dát	1 min/ 5 min / 10 min
Spôsob záznamu	Bezdrôtový prenos XBee 802.15.4, 2.4 GHz, kanál 0x0F
Záznamové zariadenie	SQL databáza Meshlium v5.0.5.1a
Výstupný formát	.txt/.csv
Upravený formát	.txt/.xlsx
Priebeh testov	21.4.2015 – 7.4.2016
Celková dĺžka vybíjania	6136 h
Priemerná teplota prostredia (maximálna)	23 °C
Priemerná teplota prostredia (minimálna)	-1,4 °C
Priemerná vlhkosť vzduchu (maximálna)	83 %
Priemerná vlhkosť vzduchu (minimálna)	64 %
Lokalita testovania	Vonkajší areál vedeckého parku Univerzity Palackého Holic

Príloha 2: FOTOGALÉRIA Z PRIEBEHU VONKAJŠÍCH TESTOVANÍ



Obrázok A: brána Meshlium a uzle Smart Agriculture
Zdroj: autor



Obrázok B: uzol s prekážkou
Zdroj: autor



Obrázok C: osadenie uzla so senzormi v teréne
Zdroj: autor



*Obrázok D: poškodený senzor uzla
Zdroj: autor*