

**Univerzita Palackého v Olomouci**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra geoinformatiky**

**MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH METEOROLOGICKÝCH  
PRVKŮ POMOCÍ BEZDRÁTOVÝCH  
SENZOROVÝCH SÍTÍ**

**Bakalářská práce**

**Radek Dostál**

**Vedoucí práce Mgr. Vendula Hejlová**

**Olomouc 2015**  
**Geoinformatika a geografie**

## **ANOTACE**

Cílem této bakalářské práce bylo popsat možnosti využití bezdrátových sensorových sítí v environmentálních měřeních. V teoretické části se nachází literární rešerše popisující nasazené, nebo plánované bezdrátové sensorové sítě aplikované v environmentálních měřeních. Další část teorie se zabývá popisem technologie bezdrátových sensorových sítí, topologiemi, architekturami a komunikačními standardy bezdrátových sensorových sítí. Poslední část teorie části obsahuje popis základních meteorologických prvků se zaměřením na teplotu vzduchu a také sekci věnovanou tvorbě teplotních map.

Praktická část práce se zabývá nasazením bezdrátové sensorové sítě v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci. Popisuje technické vybavení, použité pro měření teploty, komunikační protokol a zpracování naměřených dat. Nasazená bezdrátová sensorová síť se skládá z osmi uzlů se senzory pro měření teploty a jedné brány, do které byla všechna naměřená data odesílána. Z naměřených dat byly vytvořeny statistické hodnocení spolehlivosti přenosu dat a přesnosti měření senzorů. Výstupem hodnot naměřených ve dnech s největší spolehlivostí přenosu dat jsou grafy teplotních charakteristik a mapy rozložení teplot na malém území.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

bezdrátová sensorová síť; senzor; měření teploty; environmentální měření

Počet stran práce: 55

Počet příloh: 5 (z toho 1 volná)

## **ANOTATION**

The aim of this thesis was to describe the use of wireless sensor networks in environmental measurements. Theoretical part of the thesis include a literature review describing deployed or planned wireless sensor networks applied in environmental measurements. The following chapter of the theory deals with the technology of wireless sensor networks and describes topologies, network architectures and communication standards. Basic meteorological characteristics, focusing on air temperature and also a section dedicated to the creation of temperature maps can find in the last part of the theory.

Practical part of thesis is focused on creation of wireless sensor network in Botanical garden in Olomouc. It describes the equipment that was used for the measurement, communication protocol and data processing. Wireless sensor network was consisted eight nodes with sensors for measuring temperature, and one gateway to which all measured data was sent. Statistical evaluation of measurement were created from measured data. Graphs of meteorological characteristics and temperature maps of small area were created from data measured at days with the highest ratings of data transfer.

## **KEYWORDS**

wireless sensor network; sensor; temperature measurement; environmental measurement

Number of pages: 55

Number of appendixes: 5

**Čestně prohlašuji, že**

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Radek Dostál

Děkuji vedoucí práce Mgr. Vendule Hejlové za cenné podněty a připomínky při vypracování práce.

Vložený originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>10</b>
<b>2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Popis použitého vybavení .....	12
2.1.1 Bezdrátové uzly Waspnote Plug&Sense .....	12
2.1.2 Brána Meshlium .....	16
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>17</b>
<b>4 TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>21</b>
4.1 Bezdrátové senzorové sítě.....	21
4.2 Topologie sítí .....	23
4.3 Architektura bezdrátové senzorové sítě.....	25
4.4 Standardy bezdrátových senzorových sítí.....	26
4.4.1 Sensor Web Enablement.....	26
4.4.2 Komunikační standardy .....	26
4.5 Základní meteorologické prvky .....	29
4.5.1 Teplota vzduchu.....	29
<b>5 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>31</b>
5.1 Výběr lokality a její charakteristika .....	31
5.1.1 Klimatické poměry .....	31
5.2 Konfigurace bezdrátové senzorové sítě .....	33
5.2.1 Generátor kódu.....	33
5.2.2 Komunikační protokol.....	34
5.3 Testování funkčnosti zařízení .....	35
5.4 Realizace bezdrátové senzorové sítě .....	36
5.5 Zpracování dat.....	38
<b>6 VÝSLEDKY .....</b>	<b>39</b>
6.1 Technické a provozní .....	39
6.2 Statistické .....	40
6.2.1 Podzimní měření .....	40
6.2.2 Zimní měření .....	43
6.3 Tematické.....	45
6.3.1 Podzimní měření .....	45
6.3.2 Zimní měření .....	50
<b>7 DISKUZE .....</b>	<b>53</b>
<b>8 ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
<b>PŘÍLOHY</b>	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
3G	mobilní sítě třetí generace
ADC	Analog-to-Digital Converter
AQI	Air Quality Index
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DGPS	Differential Global Positioning System
EPA	Environmental Protection Agency
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
IDW	Inverse Distance Weighting
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP 65	stupeň krytí
IPv6	Internet Protocol version 6
OSI	Open Systems Interconnection
SIM	Subscriber Identity Module
SQL	Structured Query Language
WMS	Web Map Service
WSN	Wireless Sensor Network



# ÚVOD

V dnešní době je ve spoustě odvětví lidské činnosti potřeba sledovat a analyzovat fyzickogeografické nebo socioekonomické jevy v reálném čase. Pro účely monitorování zažívá velký rozmach technologie bezdrátových sensorových sítí. Tato technologie umožňuje efektivně měřit hodnoty různých veličin v reálném čase, což dává možnost získat data, která je dále možné analyzovat, modelovat a na jejich podkladě vytvářet predikce. Bezdrátové sensorové sítě mají široký rozsah uplatnění od domácností až po umístění v těžko dostupných lokalitách, kde by byl monitoring pomocí jiné technologie těžko realizovatelný.

Tato práce se zabývá využitím bezdrátových sensorových sítí v environmentálních měřeních, především jejich aplikací při měření teploty vzduchu. V teoretické části práce se nachází rešerše využití bezdrátových sensorových sítí v environmentálních měřeních a dále je popsán princip fungování bezdrátových sensorových sítí. V rámci praktické části práce byla nasazena bezdrátová sensorová síť v areálu Botanické zahrady a rozária výstaviště Flora v Olomouci. Naměřené hodnoty byly následně analyzovány a vizualizovány.

# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvoření literární rešerše bezdrátových sensorových sítí, které se zaměřují na sledování teplotních charakteristik území a na monitorování prvků znečišťujících ovzduší.

V praktické části je řešeno nalezení vhodného umístění pro bezdrátovou sensorovou síť, navržení komunikačního protokolu, nasazení osmi uzlů s teplotními senzory, ověření funkčnosti vytvořeného komunikačního protokolu a uskutečnění měření teplotních hodnot. Výstupem naměřených hodnot je statistické zpracování spolehlivosti měření senzorů, porovnání jejich přesnosti. Výstupem hodnot naměřených ve dnech s největší spolehlivostí jsou grafy teplotních charakteristik a mapy rozložení teplot na malém území. Dílčím cílem je popis podstatných aspektů souvisejících s nasazením a měřením pomocí sensorové sítě v terénu.

## 2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Na počátku tvorby bakalářské práce bylo nutné prostudování odborné literatury zabývající se technologií bezdrátových sensorových sítí, měření teplotních hodnot a jejich následným zpracováním. Součástí této fáze bylo také vyhledání odborných článků a následné sepsání literární rešerše.

Dalším krokem byl výběr vhodné lokality pro umístění bezdrátové sensorové sítě. Jako vhodné místo byl zvolen areál Botanické zahrady a rozária v Olomouci. Jedním z hlavních důvodů pro volbu této lokality byl fakt, že se jedná o oplocený a hlídaný areál nacházející se v blízkosti Katedry geoinformatiky. Po domluvě s pracovníky Botanické zahrady a rozária bylo potřeba vyhledat vhodná místa pro umístění uzlů a brány. Uzly sítě byly umístěny na jehličnaté stromy do výšky 2m nad travnatým povrchem, aby byly u všech sensorů zajištěny stejné podmínky pro měření teploty. Stromy pro umístění uzlů byly vybrány tak, aby byl rovnoměrně pokryt prostor rozária. Zároveň však bylo při výběru zohledněno, aby se uzly nenacházely na příliš viditelných místech a také aby byla mezi bránou a uzly pokud možno co nejpřímější viditelnost s minimem terénních překážek. Po rozmístění uzlů byla zaměřena také jejich poloha pomocí GPS přijímače. Brána byla umístěna do budovy technického zázemí zaměstnanců nacházejícího se v areálu.

Následně byla prostudována dokumentace k použitému vybavení, vytvořen komunikační protokol, zvolena topologie sítě a provedena konfigurace uzlů a brány. Pro účely měření teploty vzduchu pomocí bezdrátové sensorové sítě bylo použito osm bezdrátových uzlů Plug&Sense od firmy Libelium a brána Meshlium, kam byla odesílána a následně uložena veškerá naměřená data. Vzhledem k počtu nasazených uzlů v síti a jejich vzdálenosti od brány byla zvolena hvězdicová topologie. Před nasazením sítě v terénu byl vytvořen komunikační protokol založený na standardu 802.15.4. Pro jeho tvorbu byl použit webový generátor na stránkách výrobce. Po vygenerování zdrojového kódu byly následně v programu Waspnote Pro IDE upraveny parametry související s komunikací a měřením teploty pro potřeby konkrétní sítě. Interval měření teploty byl nastaven s ohledem na množství získaných dat a zároveň uchování stavu baterie na hodnotu 10 minut.

Měření v terénu byla prováděna ve dvou obdobích. První měření probíhalo v období od 25. 9. do 9. 10., druhé od 9. do 16. 12. Všechna naměřená data byla uložena v lokální MySQL databázi brány Meshlium. Odtud byla následně data vyexportována pomocí nástroje phpMyAdmin do formátu.csv. Data v .csv byla poté importována do programu MS Excel 2010. Po importu dat bylo nezbytné změnit desetinný oddělovač z tečky na čárku a následně nastavit vhodný datový typ pro korektní zobrazení všech hodnot. Jakmile byly nastaveny datové typy, byla data dále upravována. Nejprve byly odebrány neúplné a poškozené záznamy datové zprávy. V další části úprav byly odstraněny všechny duplicitní záznamy a celá datová sada byla zkontrolována. Na místa chybějících záznamů byly vloženy záznamy, které obsahovaly datum a čas záznamu a hodnotu N/A namísto hodnoty teploty. Z naměřených dat byly vytvořeny výstupy ve formě grafů. Všechny teplotní hodnoty byly v databázi uloženy na 2 desetinná místa. Výsledky výpočtů byly následně zaokrouhleny na 1 desetinné místo.

Poslední částí práce bylo okomentování výsledků, sepsání závěru. V rámci bakalářské práce byly také vytvořeny webové stránky

## 2.1 Popis použitého vybavení

Tato kapitola obsahuje popis veškerého vybavení, které bylo použito pro tvorbu nasazené bezdrátové sensorové sítě. Jedná se konkrétně o bezdrátové uzly, senzory pro měření teploty a komunikační bránu.

### 2.1.1 Bezdrátové uzly Waspnote Plug&Sense

Pro vytvoření bezdrátové sensorové sítě v rámci bakalářské práce bylo použito pět uzlů Waspnote Plug&Sense Smart Environment, dva uzly Waspnote Plug&Sense Smart Agriculture a jeden uzel Waspnote Plug&Sense Smart Agriculture PRO. Waspnote Plug&Sense je modelová řada bezdrátových sensorových zařízení určená pro použití ve venkovních podmínkách produkovaná španělskou společností Libelium. Modelová řada Plug&Sense se skládá z osmi typů:

- Smart Environment – monitorování kvality ovzduší,
- Smart Water – monitorování kvality vody v řekách, jezerech a mořích,
- Smart Cities – určený pro aplikace v městských oblastech,
- Smart Parking – určený pro sledování volných parkovacích míst,
- Smart Agriculture – využíváný v precizním zemědělství a meteorologii,
- Smart Agriculture PRO – využíváný v precizním zemědělství a meteorologii,
- Smart Security – monitorování domácností,
- Radiation Control – měří míru radiace.

Výhodou zařízení řady Plug&Sense je odolnost vůči vnějším okolním vlivům, snadná instalace přístroje a rychlá výměna sensorových sond. Veškerá elektronika je totiž uschována v robustním těle, které disponuje stupněm krytí proti vniknutí vody pevných částic IP 65. S přístroji se také lehce manipuluje, je možné je velmi snadno nainstalovat na sloup veřejného osvětlení nebo na kmen stromu pomocí kovových pásek, které jsou součástí balení.

Bezdrátová komunikace s ostatními síťovými prvky je zajištěna nejčastěji pomocí radiových standardů IEEE 802.15.4, ZigBee a WiFi. Přístroje jsou vybaveny slotem na datovou SIM kartu, což umožňuje komunikaci pomocí 3G/GPRS sítí. Přístroje mohou být vybaveny také GPS modulem pro přesné určení jeho polohy.

Zařízení jsou napájena pomocí baterie o kapacitě 6600mAh, která může být dobíjena solárním panelem umístěným buď přímo na čelní straně přístroje nebo na speciálních kovových držadlech pod úhlem 45° pro lepší zisk sluneční energie.

Model Smart Environment, kterého bylo využito nejvíce kusů (Obr. 1), je určený pro monitorování environmentálních parametrů a kvality ovzduší. Mezi jeho hlavní aplikace patří měření znečištění ovzduší ve městech, kontrola průmyslových a chemických provozů a detekce lesních požárů. K modelu Smart Environment je možné připojit sensorové sondy, z nichž jedna umožňuje měřit právě teplotu vzduchu, další pak měří:

- vlhkost vzduchu,
- atmosférický tlak,
- látky znečišťující ovzduší ( $C_4H_{10}$ ,  $CH_3CH_2OH$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $C_6H_5CH_3$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ )

(Plug & Sense! - Product Overview, 2014).



Obr. 1 Libelium Plug&Sense Smart Environment (zdroj: Plug & Sense! - Product Overview, 2014)

Druhým použitým modelem je Smart Agriculture určený k monitorování environmentálních parametrů v precizním zemědělství. Tento model se vyrábí ve dvou variantách, a to Normal a PRO. Rozdíl mezi těmito variantami je v možnosti využití protokolu ZigBee Pro a připojení odlišných senzorových sond. Senzor se využívá nejen v precizním zemědělství, ale také v zavlažovacích systémech, sklenicích nebo meteorologických stanicích. Tab. 1 ukazuje rozdíl prvků, které je možné pomocí varianty Normal a PRO měřit (Plug & Sense! - Product Overview, 2014).

Tab. 1 Prvky měřené pomocí modelu Smart Agriculture (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

<b>Smart Agriculture Normal</b>	<b>Smart Agriculture PRO</b>
Teplota a vlhkost vzduchu	Teplota a vlhkost vzduchu
Teplota půdy	Teplota půdy
Vlhkost půdy	Vlhkost půdy
Listová vlhkost	Listová vlhkost
Atmosférický tlak	
Rychlost a směr větru	
	Solární radiace
	Dendrometr

## Senzory pro měření teploty vzduchu

Pro měření teploty vzduchu byly u uzlů Smart Environment použity teplotní senzory Microchip MCP9700A. U uzlů Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO byly použity senzory SHT75 od společnosti Sensirion.

Všechny senzory určené pro zařízení Waspote Plug & Sense jsou součástí vyměnitelné sensorové sondy. Sensorová sonda je standardně dlouhá 150 mm a je osazena voděodolným konektorem, pomocí kterého je připojena k uzlu. Samotný senzor se nachází uvnitř válcového plastového krytu ve spodní části sensorové sondy, viz Obr 2. Tento kryt zajišťuje ochranu senzoru před povětrnostními vlivy (Waspote Plug & Sense! Technical Guide, 2015).

### Microchip MCP9700A

Senzory MCP9700A jsou analogové senzory, které měří pomocí převodu teplotních hodnot na elektrické napětí. Senzory jsou schopny měřit teploty v rozsahu -40 až 125 °C (Waspote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015). Parametry senzoru se nacházejí v Tab. 2.

Tab. 2 Parametry senzoru MCP9700A (zdroj: Waspote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

<b>Microchip MCP9700A</b>	
Rozsah měření	-40 °C až 125 °C
Výstupní napětí (0 °C)	500 mV
Citlivost	10 mV/°C
Přesnost měření	±2°C (rozsah 0 °C až 70 °C), ±4°C (rozsah -40 °C až 125 °C)
Napájecí napětí	2,3 až 5,5 V
Doba odezvy	1,65 s
Typická spotřeba	6 µA
Maximální spotřeba	12 µA



Obr. 2 Sensorová sonda se senzorem Microchip MCP9700A  
(zdroj: Waspote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

### **Sensirion SHT75**

Senzory SHT75 jsou výrazně přesnější než senzory Microchip MCP9700A a navíc umožňují měření teploty a vlhkosti vzduchu současně. Tyto senzory jsou schopny měřit teplotu v rozmezí -40 až 123,8 °C s přesností 0,4 °C. Vlhkost vzduchu je měřena v rozsahu 0 až 100 % s přesností 1,8 % (Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015). Vybrané parametry senzoru pro měření teploty se nacházejí v Tab. 3.

Tab. 3 Parametry senzoru SHT75 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

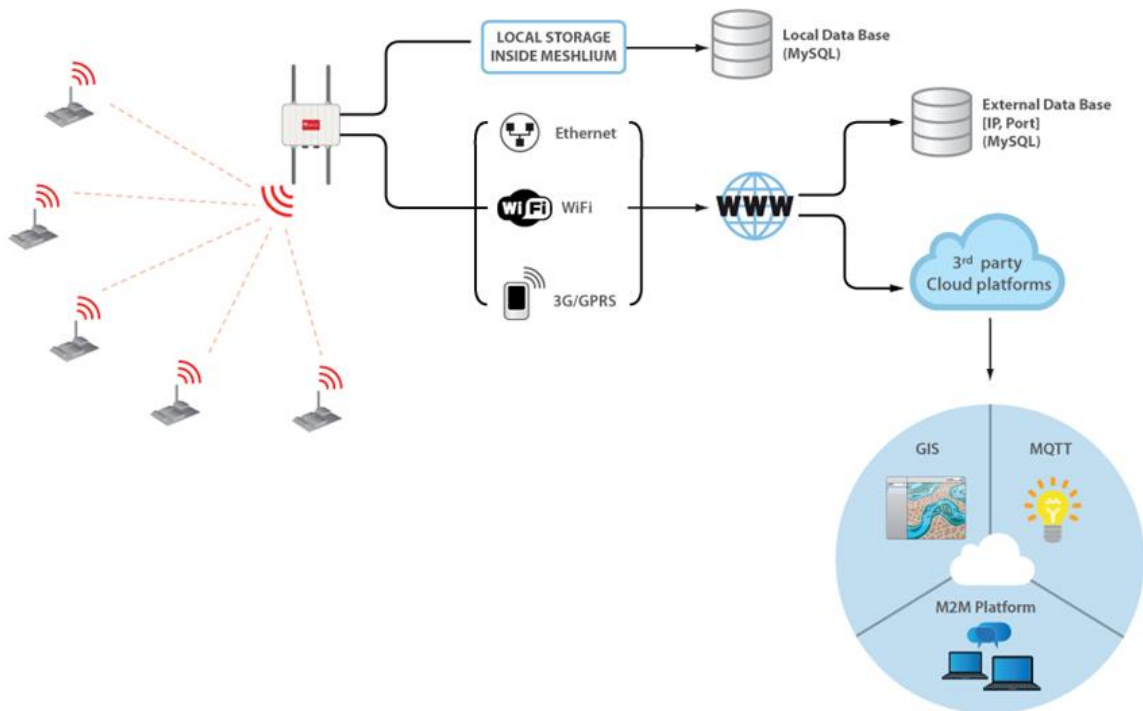
<b>Sensirion SHT75</b>	
Rozsah měření	-40 °C až 123,8 °C
Přesnost měření	±0,4 °C (rozsah 0 °C až 70 °C), ±4 °C (rozsah -40 °C až 125 °C)
Napájecí napětí	2,4 až 5,5 V
Doba odezvy (min)	5 s
Doba odezvy (max)	30 s

## 2.1.2 Brána Meshlium

Veškerá senzory naměřená data byla přímo odesílána do linuxového routeru Meshlium, který slouží jako brána (gateway) u bezdrátových sensorových sítí tvořených přístroji Waspote a Plug&Sense. Router je uložen v robustním hliníkovém těle se stupněm krytí IP 65. To umožňuje jeho použití jak ve vnitřních, tak ve venkovních podmínkách, kde může být vystaven povětrnostním vlivům.

Router disponuje rádiovými rozhraními 802.15.4, ZigBee, WiFi 2.4 GHz, WiFi 5 GHz, 3G/GPRS a Bluetooth. Pro přesnou lokalizaci je možné použít GPS modul. Napájení je zajištěno baterií, která může být napájena ze solárního panelu (Documentation Libelium, 2014).

Data jsou uložena v lokální MySQL databázi o velikosti 5,5 GB. Použitá databáze MySQL je ve verzi 5.0.51a, znaková sada databáze je UTF-8. Naměřené teplotní hodnoty jsou v databázi uloženy v datovém typu text. V případě použití rámcového přenosu dat se hodnoty ukládají v datovém typu float. Meshlium disponuje pevným diskem o kapacitě 8 GB, ale prostor o velikosti 2,5 GB je vyhrazen pro operační systém a webovou aplikaci Manager System, která je určena pro celkovou správu brány. K bráně je možné se připojit pomocí WiFi, nebo ethernetového kabelu. Přístup do lokální MySQL databáze je možný dvěma způsoby. První možností je přístup přes webovou aplikaci Manager System, druhou možností je správa databáze pomocí nástroje phpMyAdmin. Tento program umožňuje spravovat databázi pomocí SQL příkazů a export dat do formátu CSV (Documentation Libelium, 2014). Z databáze mohou být data stažena, nebo dále přeposílána, jak znázorňuje Obr. 3.



Obr. 3 Schéma možností uložení dat

(zdroj: <http://www.libelium.com/products/meshlium/wsn/>)



### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době se bezdrátové sensorové sítě využívají ve velkém množství odvětví. Bezdrátové uzly se senzory jsou totiž schopny měřit velké množství různých fyzikálních veličin. V této kapitole bude představeno několik konkrétních příkladů ze světa, ve kterých byly bezdrátové sensorové sítě využity, nebo je plánováno jejich využití k environmentálním měřením. Podrobněji bude sledováno využití v precizním zemědělství a monitoringu znečištění ovzduší. U některých bezdrátových sensorových sítí je také zjišťováno ovlivnění jejich výkonnosti a odolnost vůči extrémním vlivům. U níže uvedených příkladů byly sledovány následující parametry:

- oblast měření,
- měřené prvky,
- velikost oblasti,
- topologie sítě,
- dodavatelé technologie.

První příklad nasazení bezdrátové sensorové sítě je z oblasti precizního zemědělství ze státu Washington, USA. Zde jsou v precizním zemědělství využívány dvě bezdrátové sensorové sítě, které se liší svým rozsahem a zaměřením. V obou případech bylo cílem vytvořit sítě, které umožňují vzdálený monitoring v reálném čase a kontrolu zemědělských procesů. První síť pokrývá rozsahem celý stát Washington a je zdrojem meteorologických dat pro AgWeatherNet (Agricultural Weather Net) a měří: sluneční záření, teplotu vzduchu, relativní vlhkost, listovou vlhkost, srážky, rychlost větru, směr větru, teplotu půdy a vlhkost půdy. Druhá síť se nachází na úrovni jednotlivých farem a využívá se k monitorování vzniku námrazy. Senzory této sítě umí měřit stejné hodnoty jako senzory sítě regionální. V praxi se však využívá pouze měření teploty. Síť je vytvořena v klastrové architektuře. Toto řešení umožňuje pokrytí rozsáhlé geografické oblasti. Sítě na jednotlivých farmách využívají hvězdicovou topologii. Technologii dodávaly firmy Microhard Systems Corporation a CPS Technology (Pierce, Elliott, 2008).

Další ukázkou využití této technologie v precizním zemědělství je projekt z města Pontevedra (Galicie, Španělsko), kde byla nasazena bezdrátová sensorová síť malého měřítka k monitorování meteorologických charakteristik na tamní vinici. Zdejší síť čítala deset uzlů rozmístěných na vinici, které monitorovaly teplotu a vlhkost vzduchu, spadené srážky, sluneční svit, teplotu půdy, půdní vlhkost, listovou vlhkost a dopadající ultrafialové záření. Dodavatelem technologií byla španělská společnost Libelium. Všechny naměřené hodnoty jsou z jednotlivých uzlů odesílány do brány Meshlium, ze které jsou stahovány do externí databáze a z ní odesílány na server, kde se z naměřených hodnot vytváří predikční modely (Bielsa, 2012).

Následující případ nasazení bezdrátové sensorové sítě v precizním zemědělství byl proveden v Egyptě a zjišťuje význam bezdrátových sensorových sítí pro zlepšení výnosů úrody brambor. Egypt je jeden z největších producentů a vývozců brambor v Africe. Použití technologie bezdrátových sensorových sítí má pomoci ke zvýšení výnosů pěstovaných brambor a k úspoře zdrojů využívaných při pěstování. Uzly sítě měří teplotu, vlhkost vzduchu, půdní vlhkost, pH půdy a intenzitu světla. Pro komunikaci je zde využit protokol APTEEN (Periodic Threshold-sensitive Energy-Efficient sensor Network). APTEEN je směrovací protokol založený na hierarchickém seskupování, kde jsou uzly seskupovány do klastrů. Každý klastr má jeden hlavní uzel, který přijímá, shromažďuje a dál přenáší naměřená data z ostatních uzlů klastru. Uzly mezi sebou

komunikují pomocí vysílače s přijímačem MICA2 od společnosti Crossbow. Síť je řízena pomocí operačního systému TinyOS (ABD EL-KADER a kol. 2013).

Některé bezdrátové senzorové sítě musí být schopné odolávat velmi nepříznivým klimatickým podmínkám. Sensorscope je interdisciplinární projekt vypracovaný v oblasti životního prostředí a tvorby sítí, který má za úkol prokázat praktické nasazení a vliv na výkonost bezdrátové senzorové sítě v klimaticky náročných podmínkách. Projekt Sensorscope je realizován v Grand Saint Bernard ve švýcarských Alpách u hranic s Itálií. Síť byla využita k tvorbě přesného hydrologického modelu v oblasti, kde model nemohl být vytvořen za pomoci tradičních metod měření. Výsledný model bude použit při předpovídání lavin. Síť Sensorscope sbírala data pro tvorbu tohoto modelu od září 2007 po dobu jednoho a půl měsíce. Síť se skládala ze 17 stanic napájených pomocí solárních panelů, které monitorují teplotu a vlhkost vzduchu, teplotu povrchu, přichodí sluneční záření, rychlost a směr větru, srážky, vlhkost půdy. Technologie dodávaly společnosti TinyNode, Texas Instruments, Semtech. Síť využívá software TinyOS (Barrenetxea a kol. 2008).

Náročným klimatickým podmínkám je vystaven také projekt nazvaný SEAMONSTER (The South East Alaska MONitoring Network for Science, Telecommunications, Education, and Research). Program SEAMONSTER je projekt bezdrátových senzorových technologií, realizovaný na University of Alaska Southeast, v Juneau na Aljašce. Cílem programu je měření hydrologických poměrů v oblastech, které jsou pokryty ledovcem. V prvním roce výzkumu bylo provedeno měření v oblasti povodí Lemon Creek, které se nachází poblíž Juneau. Povodí Lemon Creek má rozlohu 100 km<sup>2</sup>. Do budoucna se plánuje rozšíření směrem k ledovci Lemon, který zásobuje povodí tající vodou a také v pobřežní oblasti, kde povodí Lemon Creek končí. Uzly sítě měří teplotu, směr a rychlost větru, hloubku a tlak vody, zakalenost vody a hydrochemii (množství rozpuštěného kyslíku ve vodě). Sensory také umí změřit výšku napadeného sněhu a monitorovat pohyby ledovce pomocí diferenční GPS (DGPS). Nasazeny jsou uzly tMote Sky od společnosti Motiev. Pro komunikaci mezi uzly je použit komunikační protokol 802.11g, pro odeslání a zálohování naměřených dat jsou využívány rádiové modemy na frekvenci 900 MHz a modemy připojené k satelitní síti Iridium. Naměřená data jsou ukládána do SQL databáze a uložená data jsou poté vizualizována ve formátu kml (Heavner a kol. 2007).

Bezdrátové senzorové sítě nacházejí uplatnění také při zjišťování míry kontaminace různými látkami v prostředí, které je lidskému zdraví nebezpečné. Po tsunami, která v roce 2011 vážně poškodila japonskou jadernou elektrárnu Fukušima, vznikla senzorová síť, která měří míru radiace v okolí jaderné elektrárny. Ke komunikaci uzlů byl použit protokol ZigBee, naměřené hodnoty byly odesílány z jednotlivých uzlů do brány Meshlium a z ní dále na server k dalším analýzám. Technologii dodala společnost Libelium (Bielsa, 2013).

Další část kapitoly, je zaměřena na bezdrátové senzorové sítě, které se používají na měření hodnot znečištění ovzduší. Jednou z takových sítí je síť APOLLO (Air POLLutants mOnitoring system). Jedná se o prototyp bezdrátové senzorové sítě, která monitoruje látky znečišťující ovzduší klasifikované organizací EPA (Environmental Protection Agency). Síť má stromovou topologii a monitoruje následující hodnoty: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, prašné částice, těkavé organické sloučeniny a teplotu. Technologie dodávaly firmy Micro-Chemical Systems, SHINYEI, Sensirion. Pro řízení sítě byl vyvinut aplikační software, který je založen na operačním systému pro bezdrátové senzorové sítě RETOS: Resilient, Expandable, and Threaded Operating System for Wireless Sensor Networks (Choi a kol. 2009).

Mnoho částí Afriky, především její subsaharské oblasti, má problémy se silně znečištěným ovzduším. Toto znečištění má mnoho zdrojů jako je průmyslová výroba, automobilová doprava, domácí spalování odpadů a používání nekvalitních paliv. Jedním z hlavních důvodů tohoto znečištění je fakt, že velké množství průmyslových podniků zakládá svá výrobní centra v městských oblastech. Proto vznikla síť Wireless Mesh Network of Sensors (WMNS). Architektura sítě byla vyvinuta speciálně v kontextu afrických měst, především těch v subsaharských zemích, kde je nedostatek telekomunikační infrastruktury a přístupu k internetu ve spoustě venkovských a městských oblastí. Síť monitoruje CO, NO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> a prašné částice (PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>). Uzly sítě jsou aplikovány v oblastech o rozměrech průměrně 5x5 kilometrů, což je průměrná velikost venkovské oblasti v Africe. Je využívána MESH topologie a síť je sestavena jak z pevně umístěných tak z mobilních uzlů. Očekává se, že výsledky získané z naměřených dat by mohly být využity při zavádění předpisů týkajících se kvality ovzduší v Africe (Fotue a kol. 2009).

Obdobná síť je nasazena v Indii. Indie se potýká s vysokým stupněm znečištění způsobeným vzdušnými polutanty. Důvodem tohoto znečištění je neustále rostoucí počet aut v ulicích velkých indických měst a využívání nekvalitních paliv. Senzory monitorují CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> a teplotu vzduchu. Síť využívají hvězdicové, stromové a mesh topologie a skládají se z pevných i mobilních uzlů. Síť komunikují na podkladě protokolu ZigBee a technologie je v tomto případě dodávána společností Atmel (Khemnar, 2013).

Sledování míry polutantů a hluku bylo prováděno také ve francouzském městě Cagnes sur Mer. Projekt se zabývá monitorováním prašných částic a nasazením hlukových senzorů pro mapování míry hluku v různých částech města. K snímání environmentálních charakteristik je využito multisenzorového systému GreenBee vyvinutého pro sledování míry hluku, teploty, vlhkosti, rychlosti a směru větru, koncentrace ozónu, solární radiace a koncentrace prachových částic. Naměřená data jsou posílána na firemní server. Komunikace mezi senzorovými uzly může být prováděna pomocí protokolů GPRS, ZigBee, Home-Rider a CORONIS. Na základě těchto dat jsou například vyhodnoceny oblasti ve městě vhodné k trvalému obývání (Barakeh, 2014).

Ambiciózní projekt Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System (WAPMS) ke sledování znečištění ovzduší pomocí bezdrátových senzorů rozmístěných v hojných počtech kolem ostrova vzniká na Mauriciu. Prototyp bezdrátové senzorové sítě prozatím monitoruje znečištění ovzduší ve městě Port Louis, kde je síť rozdělena do šesti menších sektorů. Do budoucna se ovšem počítá s rozšířením této sítě po celém ostrově. Navrhovaný systém využívá k hodnocení kvality ovzduší index kvality ovzduší (AQI). Síť využívá topologii MESH a její senzory monitorují jemné částice O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO a SO<sub>2</sub>. Za účelem zlepšení WAPMS byl navržen a implementován algoritmus na agregaci dat, s názvem Recursive Converging Quartiles (RCQ). Algoritmus slouží ke sloučení naměřených hodnot a odstranění duplicit. Tím se výrazně snižuje množství přenášených dat, což šetří energii (Khedo a kol. 2010).

Jedna z největších bezdrátových senzorových sítí na světě je nainstalována ve španělském městě Santander. V různých částech města je do dvaceti klastrů rozmístěno 1 125 senzorů, které monitorují teplotu, CO, hluk, míru osvětlení a volná parkovací místa. K realizaci projektu bylo vybráno řešení společnosti Libelium. Celá síť využívá topologii MESH. Všechna naměřená data jsou odesílána do několika bran Meshlium, které se nachází v různých částech města, a z nich jsou poté odesílána na server (Bielsa 1, 2013).

Další bezdrátová sensorová síť velkého měřítka se nachází v Londýně. Hlavním zdrojem znečištění ovzduší v Londýně jsou emise z automobilové dopravy. Klíčovým rysem projektu MoDisNet (Mobile Discovery Net) je využití flotily vozidel včetně autobusů, taxislužby, služebních a užitkových vozidel pro instalaci senzorů. Ve spolupráci se statickými senzory umístěnými u silnic je možné monitorovat znečištění ovzduší v Londýně v reálném čase. MoDisNet je konstruován jako dvouvrstvá síť, která se skládá z mobilních sensorových uzlů umístěných na vozidlech, a statických sensorových uzlů. Síť má gridovou P2P architekturu. Tato architektura je použita z důvodu nutnosti analýzy v reálném čase. Uzly si na principu P2P vyměňují vzájemně informace mezi sebou. Senzory sítě MoDisNET se nazývají GUSTO. Senzory jsou navrženy tak, aby kvantifikovali množství látek znečišťujících ovzduší v reálném čase. Senzory GUSTO monitorují pomocí ultrafialového záření SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> a benzen. Síť využívá operační systém TinyOS (MA a kol. 2008).

Ze švýcarského Curychu pochází projekt s názvem OpenSense. OpenSense se zaměřuje na sledování znečištění ovzduší pomocí bezdrátové sensorové sítě. Projekt probíhá ve dvou fázích označených jako OpenSense (2010 – 2013) a OpenSense II (2014 - 2017). Zdejší síť se skládá z deseti mobilních měřících stanic, které jsou umístěny na curyšských tramvajích a jedné statické stanice umístěné na stanici národní monitorovací sítě znečištění ovzduší (NABEL) v Dübendorfu. Každá z měřících stanic je vybavena přijímačem GPS a senzory pro měření teploty, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> a pevných částic. Přenos dat je zajištěn pomocí GPRS/UMTS. Veškerá naměřená data jsou online dostupná ve webové aplikaci (OpenSense, 2015).

Na katedře Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci se problematikou využití senzorů v environmentálních měřeních zabývala diplomová práce Ondřeje Jiráska z roku 2013. V rámci této diplomové práce byla provedena měření pomocí senzorů v blízkosti EnviCentra ve Vysokém Polí, které spolupracuje s Katedrou geoinformatiky. Vybavení pro měření se skládalo z 10 dataloggerů, ke kterým bylo připojeno 33 senzorů. Měřené veličiny teplota půdy, půdní vlhkost, množství srážek, globální radiace, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a intenzita světla. Na základě naměřených dat byly poté provedeny jednoduché srážko-odtokové analýzy (Jirásek, 2013).

Z výše zmíněných studií je možné pozorovat, že technologie bezdrátových sensorových sítí je velmi variabilní a možnosti jejího využití v environmentálních měřeních jsou široké. U vybraných případových studií se často vyskytuje nasazení WSN pro monitorování environmentálních prvků na území různě velikých měst, kde je možné najít různě velké bezdrátové sensorové sítě, které jsou tvořeny desítkami až stovkami uzlů.

Mezi nejčastěji použité topologie se řadí hvězdicová a MESH topologie. Z pohledu architektury sítí WSN se u geograficky rozlehlých sítí vyskytuje řešení v podobě sensorových klastrů, ze kterých jsou data dále přeposílána.

Mezi jednoho z nejčastějších dodavatelů v rámci případových studií patří španělská firma Libelium. Ostatními výrobci komponent pro bezdrátové sensorové síťových bývá také poměrně často využíván open source operační systém Tiny OS.

## 4 TEORETICKÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá teoretickými aspekty bezdrátových sensorových sítí a jejich využitím pro měření teploty. Popisuje technologii bezdrátových sensorových sítí, používané topologie, architektury, standardy OGC a komunikačními standardy bezdrátových sensorových sítí. Další část obsahuje popis základních meteorologických prvků se zaměřením na teplotu vzduchu a také sekci věnovanou tvorbě teplotních map.

### 4.1 Bezdrátové sensorové sítě

Bezdrátové sensorové sítě (Wireless Sensor Networks) tvoří prostorově rozmístěné uzly, ke kterým jsou připojeny senzory a brána (Gateway). Senzory mohou měřit teplotu, vlhkost, množství znečišťujících látek v ovzduší, míru hluku, intenzitu světla, detekovat pohyb, volná parkovací místa atd. Díky tomu nalézají bezdrátové sensorové sítě široké uplatnění ve velkém množství odvětví lidské činnosti jako je:

- armáda,
- environmentální studie,
- průmysl,
- doprava,
- zdravotnictví,
- chytré domácnosti (Sohraby a kol. 2007).

Vývoj bezdrátových sensorových sítí byl zahájen v 80. letech minulého století v období studené války americkou armádou (Sohraby a kol. 2007). Od té doby prošly bezdrátové sensorové sítě velkým technologickým vývojem, jak ukazuje níže přiložená tabulka (Tab. 4).

Tab. 4 Porovnání generací uzlů bezdrátových sensorových sítí (zdroj: Sohraby a kol. 2007, vlastní zpracování)

<b>Parametr</b>	<b>První generace (1980 – 1990)</b>	<b>Druhá generace (počátkem roku 2000)</b>	<b>Třetí generace (po roce 2000)</b>
Velikost	kufri	knihy	krabičky od zápalek
Hmotnost	libry	unce	gramy
Protokoly	proprietární	proprietární	Wi-Fi, ZigBee
Napájení	velké baterie, nebo kabelem	AA baterie	solární napájení baterií
Životnost	hodiny až dny	dny až týdny	měsíce až roky

Senzory mezi sebou v rámci sítě komunikují na základě elektromagnetického vlnění a pomocí bezdrátové komunikace si předávají naměřené hodnoty z jednoho uzlu na druhý a směřují je k bráně. Tímto způsobem se přenáší naměřené hodnoty z každého uzlu v síti do brány sítě (J. Mizera, 2011). Počet uzlů v rámci sítě je variabilní, síť může být sestavena z několika málo uzlů až po stovky či tisíce uzlů u sítí, které pokrývají geograficky rozlehlá území. Každý uzel bezdrátové sensorové sítě se skládá z následujících komponent, schéma uzlu je také součástí Obr. 4:

- rozhraní pro připojení senzorů,
- mikroprocesoru,

- paměti,
- komunikačního modulu,
- napájecí části uzlu.

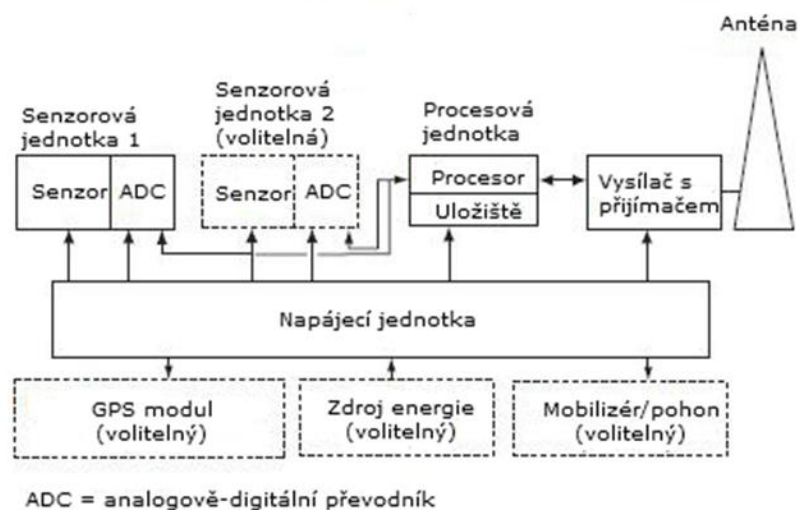
Senzorová část uzlu obsahuje senzory na snímání fyzikálních veličin nebo senzory, které reagují na chemické podněty. Senzory měří hodnoty analogově a poté je pomocí ADC převodníku převádějí na digitální záznamy. Z důvodu úspory energie senzory neměří nepřetržitě, ale přecházejí do režimu spánku. Přechod do režimu spánku a následné probuzení je řízeno pomocí mikroprocesoru uzlu (Puccinelli a Haenggi, 2005).

Mikroprocesor se kromě řízení zapnutí a vypnutí senzorů stará také o ukládání naměřených hodnot do integrovaného úložiště. Nároky na velikost datového úložiště se odvíjejí od druhu měřených dat, časového intervalu měření a zvolené topologie sítě. Nedostatek kapacity paměti lze vyřešit nastavením optimálního intervalu odesílání dat do síťové brány. U mikroprocesorů osazených v uzlech je kladen důraz především na nízkou spotřebu energie. Zároveň je však důležitá rychlost mikroprocesoru. U levnějších zařízení se využívají 8-bitové mikroprocesory, u dražších a složitějších uzlů až 32-bitové mikroprocesory (Puccinelli a Haenggi, 2005).

Komunikační modul slouží ke spojení uzlu s ostatními uzly v síti. Ke komunikaci uzlů se nejčastěji používá rádiová komunikace, jako alternativa však může být využito laserového nebo infračerveného záření, které je kvůli nutnosti splnění požadavku přímé viditelnosti mezi uzly pro většinu aplikací nepraktické (Puccinelli a Haenggi, 2005).

Napájení uzlů je jedním z nejvíce limitujících faktorů při nasazení bezdrátových sensorových sítí v terénu. V dnešní době se k napájení uzlů využívá především alkalických a lithiových baterií, je však možné zajistit napájení za pomoci alternativních zdrojů, například pomocí solárních panelů připojených k uzlům (Puccinelli a Haenggi, 2005). Uzly sítě by měly:

- odolávat i nepříznivým okolním podmínkám,
- být mobilní aby poskytly možnost snadného přemístění uzlů,
- být využitelné k monitorování široké škály veličin,
- mít bezobslužný provoz,
- mít nízkou spotřebu elektrické energie (J. Mizera 2011).



Obr. 4 Schéma uzlu bezdrátové sensorové sítě (zdroj: Sohraby a kol. 2007)

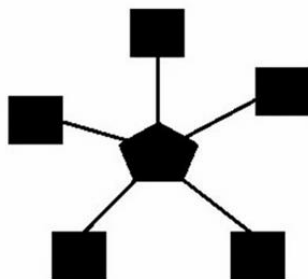
## 4.2 Topologie sítí

Topologie řeší zapojení síťových prvků do počítačových sítí. U bezdrátových sensorových sítí odráží tok datové komunikace mezi uzly. Síťové topologie dělíme na dvě základní kategorie a to na fyzickou a logickou. Fyzická topologie se zabývá uspořádáním uzlů a všech prvků, které se nachází v síti. Logická topologie se zabývá směrem přenosu dat mezi jednotlivými uzly (The Florida Center for Instructional Technology, 2014). V oblasti bezdrátových sensorových sítí se nejčastěji využívají následující topologie:

- hvězdicová,
- stromová,
- MESH,
- plně propojená (fully connected).

### Hvězdicová topologie

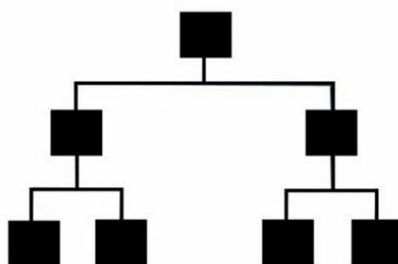
V hvězdicové topologii komunikují všechny uzly v síti přes jeden centrální komunikační bod – bránu. V této topologii nekomunikuje každý uzel s každým, ale všechny uzly posílají data přes bránu. Brána má funkci základní stanice, všechny ostatní uzly mají funkci klientů, viz Obr. 5. Výhodou této topologie je její snadné nastavení a rozšiřitelnost (Kosmerchoc, 2012).



Obr. 5 Schéma hvězdicové topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

### Stromová topologie

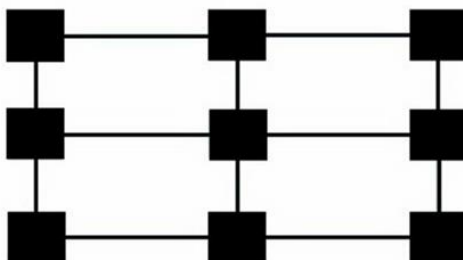
Ve stromové topologii jsou uzly rozděleny do hierarchických úrovní. Na vrcholu pyramidy se nachází brána, která přebírá informace od uzlů, které se nacházejí o úroveň pod ní, viz Obr. 6. Tyto uzly předávají informace od ostatních uzlů v síti, obdobně jako v případě hvězdicové topologie. Výhodou této topologie je snadná rozšiřitelnost a přidání dalších uzlů do sítě. Nevýhodou je, že v případě výpadku uzlu, který je v hierarchii vysoko postavený, dojde k výpadku komunikace celé větve, která se nachází pod ním (Kosmerchoc, 2012).



Obr. 6 Schéma stromové topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

### **MESH topologie**

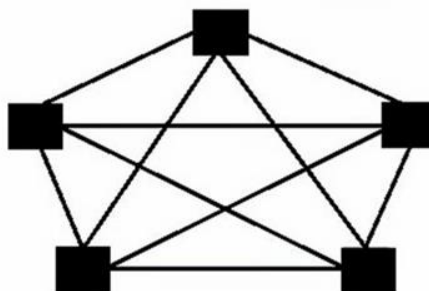
Sítě s MESH topologií umožňují komunikaci více směry pouze se sousedními uzly. MESH sítě mohou mít jak pravidelnou, tak nepravidelnou strukturu, viz Obr. 7. Výhodou této topologie je, že v případě výpadku některého z uzlů je komunikace směřována přes sousední uzel a nedojde tak k přerušení komunikace. Nevýhodou je složité nastavení a administrace sítě. Díky nízké spotřebě a vysoké spolehlivosti přenosu dat bývá tato topologie často používána u geograficky rozsáhlých sítí (Mizera, 2011).



Obr. 7 Schéma MESH topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

### **Plně propojená topologie (fully connected)**

V síti s plně propojenou topologií komunikují všechny uzly navzájem mezi sebou, viz Obr. 8. To je výhodou v případě, že dojde k výpadku některého z uzlů. Data v síti putují tak dlouho, dokud nedorazí na určenou pozici, do brány sítě. Nevýhodou této topologie je velký počet spojení mezi jednotlivými uzly v síti a z toho plynoucí vysoká spotřeba elektrické energie. Další nevýhodou je nemožnost použití této topologie u rozsáhlých sítí, jelikož může docházet k problémům v komunikaci mezi všemi uzly sítě z důvodu jejich vzájemné vzdálenosti. Tento typ sítě patří mezi nejsložitější (Kosmerchoc 2012, Mizera 2011).



Obr. 8 Schéma plně propojené topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

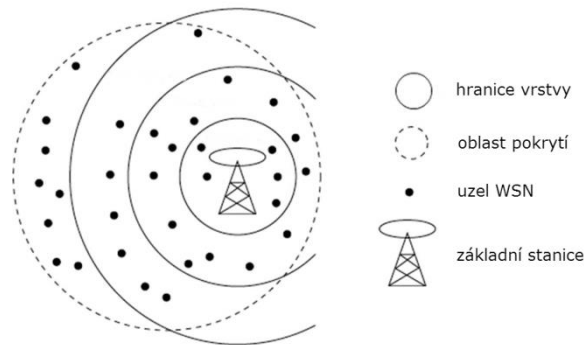


### 4.3 Architektura bezdrátové sensorové sítě

Výběr architektury bezdrátové sensorové sítě je ovlivněn faktory jako velikost sítě, charakter území a členitost terénu, kde je síť nasazována. Architektury bezdrátových sensorových sítí dělíme na vrstvenou a klastrovou.

#### Vrstvená architektura

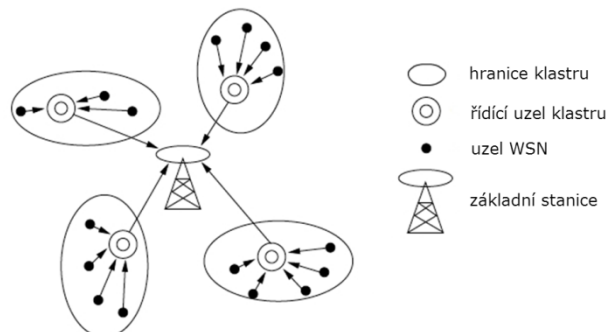
Sítě s vrstvenou архитектурou mají jednu základní stanici, kolem které jsou uzly sítě rozmístěny v koncentrických vrstvách. Data z uzlů, které se nachází ve vzdálenějších vrstvách od základnové stanice, jsou přeposílána způsobem multi-hop až do základní stanice. Multi-hop je způsob komunikace, který umožňuje v bezdrátových sensorových sítích přenos dat na větší vzdálenosti, než je komunikační dosah uzlu. Uzly sítě, které nejsou kvůli velké vzdálenosti schopny komunikovat se základní stanicí přímo, směřují svá data přes uzly nacházející se ve vrstvách blíže k základní stanici, jak znázorňuje Obr. 9. Díky tomu je možné vytvářet sítě velkého rozsahu. Výhodou je, že každý uzel posílá data na krátkou vzdálenost do sousední vrstvy, což snižuje spotřebu elektrické energie při přenosu dat (Murthy, 2004).



Obr. 9 Vrstvená architektura (zdroj: Murthy, 2004)

#### Klastrová architektura

Klastrová architektura organizuje uzly sensorové sítě do klastrů, kde má každý klastr jeden řídicí uzel (cluster head). Uzly v každém klastru odesílají data do řídicího uzlu klastru a z těchto řídicích uzlů jsou data následně odesílána do základní stanice, viz Obr. 10. V klastrové architektuře lze hierarchicky vytvořit velmi rozsáhlou síť (Murthy, 2004).



Obr. 10 Klastrová architektura (zdroj: Murthy, 2004)

## 4.4 Standardy bezdrátových sensorových sítí

Standardizace je klíčovým požadavkem pro komunikaci, přenos dat a informací mezi různými druhy senzorů a snímačů. V této kapitole jsou popsány OGC specifikace pro bezdrátové sensorové sítě a také komunikační standardy bezdrátových sensorových sítí.

### 4.4.1 Sensor Web Enablement

Sensor Web Enablement (SWE) je iniciativa Open Geospatial Consortium (OGC). Tento framework umožňuje, aby byly všechny typy senzorů, snímačů a úložišť sensorových dat přístupné a využitelné prostřednictvím webu (Sensor Web Enablement 1, 2015). SWE specifikuje interoperabilní rozhraní a kódování metadat umožňující přístup ke všem typům senzorů v reálném čase skrze web. Propojení senzorů snímajících data v reálném čase s internetem má široké využití např. v environmentálních měřeních, meteorologii, průmyslu a mnoha dalších oblastech (Sensor Web Enablement 2, 2015).

Framework SWE je tvořen následujícími OpenGIS specifikacemi:

**1. Observations & Measurements (O&M)** - standardní modely a XML schéma pro kódování pozorování a měření ze senzorů, archivovaných i vytvořených v reálném čase.

**2. Sensor Model Language (SensorML)** - standardní modely a XML schéma pro popis sensorových systémů a procesů spojených s pozorováním senzorů, poskytuje informace potřebné pro zjištění senzorů, lokalizaci sensorových měření, zpracování pozorování nízkourovňových senzorů a výpis požadovaných vlastností.

**3. Transducer Model Language (TransducerML, TML)** - konceptuální model a XML schéma pro popis převodníku a podporu datového toku v reálném čase do a ze sensorových systémů.

**4. Sensor Observations Service (SOS)** - standardní rozhraní webové služby pro dotazování, filtrování, získávání pozorování a informací o systému. Jedná se o zprostředkovatele mezi klientem a úložištěm nebo sensorovým kanálem v reálném čase.

**5. Sensor Planning Service (SPS)** - standardní rozhraní webové služby pro podávání požadavků na uživatelem řízené akvizice nebo pozorování. Jedná se o zprostředkovatele mezi klientem a prostředím řízení senzorů.

**6. Sensor Alert Service (SAS)** - standardní rozhraní webové služby pro publikování a odebírání upozornění ze senzorů.

**7. Web Notification Services (WNS)** - standardní rozhraní webové služby pro nesoudobé doručení zpráv nebo upozornění ze SAS a SPS webových služeb a dalších prvků služeb pracovních postupů (Sensor Web Enablement 2, 2015).

### 4.4.2 Komunikační standardy

Vývojem komunikačních standardů pro bezdrátové sensorové sítě se zabývá několik organizací. Jednou z nejvýznamnějších je nezisková profesní organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), která se zabývá vzestupem technologií souvisejících s elektrotechnikou (IEEE - About IEEE, 2015). Pro komunikaci bezdrátových sensorových sítí se v dnešní době využívají tyto standardy:

- IEEE 802.15.4,
- ZigBee,

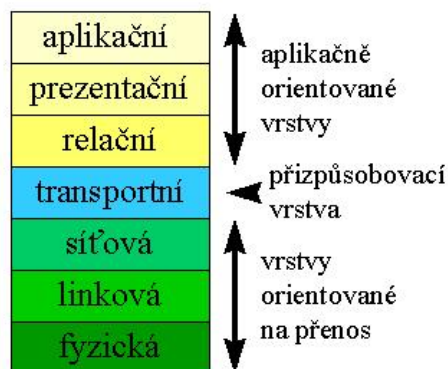
- IEEE 1451,
- ISA 100,
- WirelessHART,
- 6LoWPAN (J. Staudek, 2014).

#### IEEE 802.15.4

Standard vytvořený IEEE, který specifikuje fyzickou a linkovou vrstvu modelu OSI, který je využíván u nízkorychlostních zařízení s požadavky na nízkou spotřebu energie (Staudek, 2014, Mizera, 2011). Referenční model OSI (Open Systems Interconnection) je obecný model architektury propojení systémů. Model se skládá ze sedmi vrstev, a to fyzické, linkové, síťové, transportní, relační, prezentační a aplikační (Grygárek, 2003). Na Obr. 11 jsou jednotlivé vrstvy referenčního modelu OSI znázorněny.

Komunikace mezi uzly pomocí tohoto standardu je možné provozovat na krátké vzdálenosti v řádu desítek metrů a je limitována přenosovou rychlostí 250 kb/s. Standard IEEE 802.15.4 využívá následující frekvenční pásma:

- pásmo 2,4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s, definováno celosvětově,
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s, definováno pro USA,
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20kb/s, definováno pro Evropu (Staudek, 2014, Mizera, 2011).



Obr. 11 Referenční model OSI

(zdroj: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/komp/data/iso.htm>)

#### ZigBee

Standard vytvořený ZigBee alliance určený pro bezdrátovou komunikaci mezi velkým množstvím jednoduchých zařízení určených ke sběru dat. Pro standard ZigBee je charakteristická především nízká spotřeba energie a spolehlivý přenos dat (Hynčica, 2005). ZigBee je založen na IEEE 802.15.4 a rozšiřuje jej o definici síťové a transportní vrstvy. Umožňuje komunikaci mezi uzly na větší vzdálenost (do 75m) bez přímé viditelnosti mezi uzly (Mizera, 2011).

#### IEEE 1451

Standard, který se využívá pro zapojení senzorů k nadřazeným sítím tzv. plug and play způsobem (Mizera, 2011)

### **ISA 100**

Standard je vytvořen mezinárodní společností pro automatizaci (ISA). Jedná se o nadstavbu standardu IEEE 802.15.4 využívanou především v průmyslové automatizaci (Staudek, 2014).

### **WirelessHART**

Stejně jako v případě ISA 100 jde o nadstavbu standardu IEEE 802.15.4 vytvořenou pro průmyslovou automatizaci (Staudek, 2014).

### **6LoWPAN**

Protokol 6LoWPAN (IPv6 over Low power Personal Area Networks) je postaven na standardu IEEE 802.15.4. Připojení uzlů bezdrátové senzorové sítě probíhá pomocí rozhraní založeného na IP protokolu. U tohoto protokolu je možné zapojení bezdrátových zařízení do již existujících IP sítí a také spolupráce s ostatními protokoly postavenými na standardu IEEE 802.15.4 (Mizera, 2011).

## 4.5 Základní meteorologické prvky

Mezi základní meteorologické prvky řadíme: sluneční záření, sluneční svit, teplotu půdy, teplotu vzduchu, tlak vzduchu, vlhkost vzduchu, výpar, oblačnost, atmosférické srážky, směr a rychlost větru (Vysoudil, 1997). V rámci bakalářské práce byla provedena měření teploty vzduchu pomocí uzlů bezdrátové sensorové sítě, které byly vybaveny senzory pro měření teploty. Vzhledem k tomu, že ostatní meteorologické prvky nebyly v rámci bakalářské práce měřeny, bude podrobněji rozebrána pouze tato meteorologická charakteristika.

### 4.5.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu udává tepelný stav ovzduší a bývá standardně měřena v meteorologické budce ve výšce 2 metry nad zemským povrchem. Měření teploty je možné provádět i v jiných výškových úrovních, ale u naměřené hodnoty teploty je nutné tuto skutečnost uvést. K nejintenzivnějšímu ohřevu vzduchu dochází u zemského povrchu. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou teplotou během určitého časového období označujeme jako teplotní amplitudu. S rostoucí výškou a vzdáleností od aktivního povrchu se teplotní amplituda snižuje. Na velikost teplotní amplitudy mají vliv následující činitelé:

- typ počasí – při radiálním počasí dosahuje teplotní amplituda daleko vyšší hodnoty, než při oblačném nebo advekčním počasí,
- roční období – v našich zeměpisných šířkách je teplotní amplituda nejvyšší na jaře a k zimnímu období se snižuje,
- zeměpisná šířka – s rostoucí zeměpisnou šířkou dochází ke zmenšení teplotní amplitudy, neboť klesá výška Slunce nad horizontem v čase a tím i celková insolace,
- vzdálenost od pobřeží – s rostoucím stupněm kontinentality roste hodnota teplotní amplitudy,
- charakter georeliéfu (Vysoudil, 1997).

V meteorologii a klimatologii rozlišujeme denní a roční chod teplot. Denní chod popisuje průběh teplotních změn během 24 hodin a úzce souvisí s teplotou aktivního povrchu. Roční chod popisuje průběh teplotních změn během roku, k jeho vyjádření se používají denní, měsíční, pentádové, nebo dekadové charakteristiky (Vysoudil, 1997).

Kromě teplotní amplitudy je možné z naměřených hodnot zjistit také teplotní extrémy a průměrné denní teploty. Z důvodu minimalizování projevu výšky Slunce nad zemským povrchem probíhají měření teploty vzduchu v 7, 14 a 21 hodin místního času. Průměrná denní teplota je poté vypočtena podle vztahu:

$$td = (t_7 + t_{14} + 2 * t_{21}) / 4 \quad (\text{Vysoudil, 2006})$$

Na základě naměřených teplotních hodnot je možné určit typy dnů s určitou teplotní charakteristikou. Typy dnů jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 Typy dnů s charakteristickými teplotami (zdroj: Vysoudil, 2006)

Název dne	Charakteristika
Tropický	Maximální denní teplota > 30,0°C
Den s tropickou nocí	Noční minimální teplota > 20,0°C
Letní	Maximální denní teplota > 25,0 °C
Mrazový	Minimální denní teplota < 0,0°C
Ledový	Maximální denní teplota < 0,0°C
Arktický	Maximální denní teplota < -10,0°C

### Metodika měření teploty

Manuální meteorologická měření jsou dle metodiky ČHMÚ prováděna v plastové nebo dřevěná žaluziové budce umístěné 2 metry nad zemí. Měření probíhají v klimatologických termínech 7, 14 a 21 hod. Teplota se měří teploměrem s přesností měření na jednu desetinu stupně Celsia.

V poslední době dochází v ČHMÚ k odklonu od manuálních klimatologických měření k měřením automatizovaným. Na stanicích ČHMÚ jsou senzory pro automatizované měření teploty umístěny v radiálním krytu ve výšce 2 metry nad zemí, měření realizují teplotně-vlhkostní čidla (Vysoudil, 2012).

### Metody vizualizace teplotních hodnot

Pro znázornění rozložení a změny teploty v prostoru jsou primárně využívány teplotní mapy. Pro znázornění teploty se obvykle využívá izoliniových map, které používají areálovou metodu a jako hlavní zobrazovací prostředek barvu. Používají se jednoduché barevné škály. Hranice areálů, v tomto případě hranice jednotlivých teplotních intervalů, tvoří izotermy (Friedmannová, 2001).

Jelikož rozložení teplot nedodrží socioekonomické a administrativní hranice, je u teplotních map velmi důležitý topografický podklad. Ten tvoří především říční síť, která je základním orientačním prvkem u fyzicko-geografických map, orografie, jako jeden z klimatotvorných činitelů, významná sídla a státní hranice (Friedmannová, 2001).

Vzhledem k tomu, že teplota je spojitý jev a je měřena omezeným počtem měřících stanic, je potřeba ostatní hodnoty interpolovat pomocí některé z interpolačních metod.

Interpolační metody se dělí podle rozsahu interpolované oblasti na globální a lokální a podle zachování hodnot vstupních dat na exaktní a aproximující.

Globální interpolační metody interpolují pomocí jedné globální funkce celou mapovanou oblast. Lokální interpolační metody interpolují mapovanou oblast po částech, pouze v určité definované oblasti, nejčastěji v okolí bodu se známou hodnotou.

Exaktní interpolační metody zachovávají původní naměřené hodnoty teplot v bodech měření. Aproximující interpolační metody je zachovávat nemusejí.

Nelze obecně říci, která interpolační metoda je pro interpolaci teplot a meteorologických dat nejvhodnější. Nejčastěji využívanými metodami jsou kriging, spline a IDW (Sluiter, 2008). V případě, že je bodů pro interpolaci málo, je možné využít pro orientační zobrazení rozložení teplot např. bodovou metodu. Tento způsob byl kvůli malému počtu bodů využit při tvorbě mapových výstupů v rámci této práce.

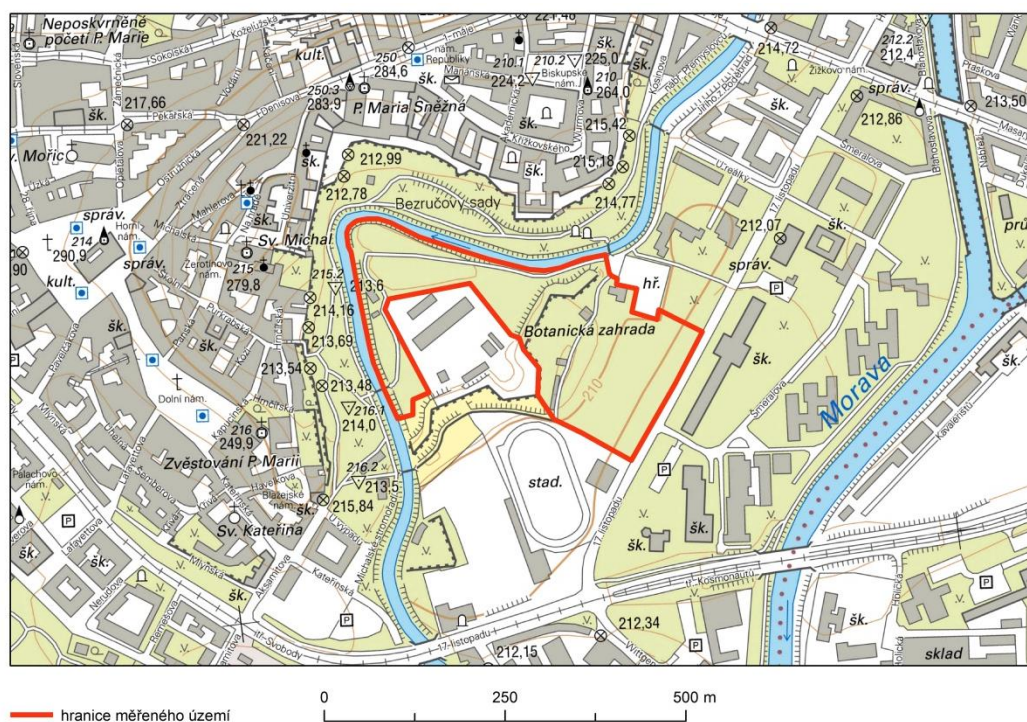
## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

V rámci praktické části této práce bylo řešeno nasazení bezdrátové senzorové sítě v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci. Následující kapitoly popisují proces výběru zájmové oblasti a popis charakteru území, parametry veškerého použitého vybavení a také popis procesu zprovoznění bezdrátové senzorové sítě. Poslední část této sekce se zabývá zpracováním naměřených hodnot a tvorbou výstupů.

### 5.1 Výběr lokality a její charakteristika

Pro měření teploty byl vybrán areál Botanické zahrady a rozária výstaviště Flora v Olomouci, který se nachází naproti hlavní budovy Přírodovědecké fakulty UP (viz Obr. 12). Tato lokalita byla vybrána hned z několika důvodů. Jedná se o areál v blízkosti budovy Katedry geoinformatiky, pozemek je oplocený, do jisté míry monitorovaný a mimo návštěvní hodiny uzamčený, což eliminuje riziko krádeže. Areál původně splňoval i podmínku dosahu signálu mezi pozemkem a budovou Přírodovědecké fakulty, kde měla být umístěna brána.

Botanická zahrada a rozárium v Olomouci se rozkládá na rozloze 7 hektarů v olomouckých Bezručových sadech. Je umístěna na ploše korunní pevnůstky, jejíž hradby areálem botanické zahrady částečně procházejí. Od zbytku Bezručových sadů je zahrada oddělena Mlýnským potokem, který je jedním z ramen řeky Moravy.



Obr. 12 Sledované území botanické zahrady v Olomouci (zdroj: WMS poskytovaná ČUZK, dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx), vlastní zpracování)

#### 5.1.1 Klimatické poměry

Město Olomouc, jako součást Hornomoravského úvalu, spadá podle klimatického členění E. Quitta v Atlasu podnebí Česka do teplé klimatické oblasti W2 (Tolasz a kol. 2007). Předpokladem tedy je, že zájmová oblast se senzory je charakteristická dlouhým,

teplým a suchým létem. Zima je krátká, mírně teplá, s krátkým trváním sněhové pokrývky. Jaro a podzim jsou mírně teplé až teplé a velmi krátké (Quitt, 1971).

Tab. 6 Klimatické charakteristiky oblasti W2 (zdroj: Tolasz a kol. 2007)

<b>Charakteristiky</b>	<b>Klimatická oblast W2</b>
Počet letních dnů	50 – 60
Počet dnů s průměrnou teplotou > 10°C	160 – 170
Počet mrazových dnů	100 – 110
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu v °C	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci v °C	18 – 19
Průměrná teplota v dubnu v °C	8 – 9
Průměrná teplota v říjnu v °C	7 – 9
Průměrný počet dnů se srážkami > 1mm	90 – 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	350 – 400
Srážkový úhrn v zimním období v mm	200 – 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40 – 50
Počet dnů zamračených	120 – 140
Počet dnů jasných	40 – 50



## 5.2 Konfigurace bezdrátové senzorové sítě

Součástí konfigurace bezdrátové senzorové sítě bylo vytvoření komunikačního protokolu, který zajišťuje měření a následné odesílání teplotních hodnot na bránu. Po vytvoření tohoto protokolu bylo nutné otestovat jeho funkčnost.

### 5.2.1 Generátor kódu

Zdrojový kód pro měření teplot byl vygenerován pomocí generátoru kódů dostupném na webových stránkách výrobce a následně upraven dle požadavků na aplikaci v programu Waspnote Pro IDE. Webový generátor umožňuje vytvoření zdrojového kódu pomocí zadání parametrů pro měření a komunikaci v přehledném grafickém prostředí, viz Obr. 13.

Mezi povinné parametry patří volba modelu senzorového uzlu, nastavení délky času režimu spánku a výběr konektoru uzlu pro měření. Parametr modelu uzlu a výběru konektoru spolu souvisí, jelikož po zvolení daného modelu z rozbalovací nabídky se zpřístupní rozbalovací nabídky u jednotlivých konektorů. Zde je pak možné zjistit a následně zvolit, jakou senzorovou sondu lze u daného modelu do daného konektoru zapojit.

Mezi nepovinné parametry patří např. možnost přidání hodnoty stavu baterie nebo souřadnic, v případě vybavení uzlu GPS modulem. Dále je v této části také možné zadat konkrétní identifikátor uzlu. V poslední části je zvolen komunikační modul, který bude použit. Po jeho zvolení jsou do zdrojového kódu doplněny parametry pro bezdrátovou komunikaci (Waspnote - Plug & Sense! - Code Generator - v02, 2015).

› Waspnote - Plug & Sense! - Code Generator - v02

\* **Select Model**

Board model: Smart Environment

\* **Sleeping Time**

Time (seconds):  
(Max 2,628,000 sec - 1 Month)

\* **Select sensor by socket**

A: Temperature B: Select C: Select  
D: Select E: Select F: Select

**Additional information**

Add Accelerometer 3 Axis data:  Add GPS coordinates:  Add Battery Level:  Add Time Stamp (RTC):

Waspnote identifier (nodeID): (Max 10 characters)

**Select Communication Module**

Communication Module: USB (Debugging)

\* Mandatory fields

▶ Generate Code

Obr. 13 Prostředí webového generátoru kódů

(zdroj: [http://www.libelium.com/development/waspnote/code\\_generator](http://www.libelium.com/development/waspnote/code_generator))

## 5.2.2 Komunikační protokol

Komunikační protokol je založen na standardu IEEE 802.15.4, který funguje na frekvenci 2,4 GHz. Zdrojový kód se skládá ze dvou částí. První část zajišťuje nastavení komunikačních parametrů sítě a inicializaci připojených senzorových sond. Tato část kódu je využita pouze při spuštění, nebo po restartu uzlu. Druhá část kódu je opakující se smyčka, která zajišťuje měření teploty, odeslání naměřených hodnot do brány a přechod uzlu do režimu spánku. Ještě před spuštěním první části dochází k načtení knihoven a nadefinování globálních proměnných. Struktura kódu se nachází níže (Waspnote programming guide, 2015).

```
// 1. načtení knihoven
// 2. definice globálních proměnných
void setup()
{
  // 3. inicializace senzorových sond
}
void loop()
{
  // 4. měření teploty
  // 5. odesílání informací
  // 6. uspání uzlu
}
```

Pro správnou komunikaci bylo nutné nastavit identifikátor sítě a komunikační kanál, na kterém komunikují v dané síti uzly s bránou.

```
// nastavení sitoveho identifikatoru - PAN (Personal Area Network)
Identifier
uint8_t PANID[2]={0x12,0x34};
// nastavení ID site
xbee802.setPAN(PANID);
// nastavení komunikacniho kanalu
xbee802.setChannel(0x0C);
```

Pro jednoznačnou identifikaci v síti má každý uzel a brána přiřazeno ID a MAC adresu. Protože byla síť v hvězdicové topologii, data byla odesílána přímo na bránu a nedocházelo k vzájemné komunikaci mezi uzly, byla v kódu pro všechny uzly nastavena pouze MAC adresa brány Meshlium.

```
// zadání MAC adresy
char* macAddress="0013A200409C78D7";
```

Interval měření byl nastaven na hodnotu 10 minut. Tato hodnota zajišťuje dostatečné množství teplotních hodnot pro potřeby detailního monitoringu teploty, zároveň však zachovává výdrž baterie uzlů zhruba 14 dnů. Jedná se také o interval, který je využíváný ČHMÚ pro automatizovaná měření (ČHMÚ, 2014).

### 5.3 Testování funkčnosti zařízení

Po nakonfigurování všech uzlů bezdrátové sensorové sítě bylo potřeba před nasazením v terénu otestovat veškerou funkcionalitu, konkrétně stav baterie uzlu, komunikaci uzlů s bránou, ukládání dat do databáze a jejich následné stažení. Vzhledem k tomu, že senzory pro měření teploty jsou kalibrovány již dodavatelem, do přesnosti měření teploty nebylo zasahováno, pouze proběhla kontrola, že odchylka naměřených teplot odpovídá předpokládané přesnosti dle dokumentace. Senzory je nutné opětovně kalibrovat přibližně po jednom roce.

Nejdůležitější částí testování byla spolehlivost přenosu dat mezi uzly a bránou. Spolehlivost datového přenosu je nezbytná pro následnou analýzu získaných teplotních hodnot. Z tohoto důvodu bylo také během testování zkušeno posílání dat na přibližné vzdálenosti, ve kterých budou uzly po nasazení umístěny od brány.

Kontrola přenosu dat probíhala v reálném čase pomocí webové aplikace Manager System, která slouží ke správě brány. V prostředí této aplikace bylo v pravidelných časových intervalech sledováno, zda se v lokální databázi objevují nové záznamy datových zpráv odeslaných z jednotlivých uzlů. V jednotlivých záznamech bylo také kontrolováno, jestli datová zpráva obsahuje všechny údaje a je odeslána v pravidelném desetiminutovém intervalu.

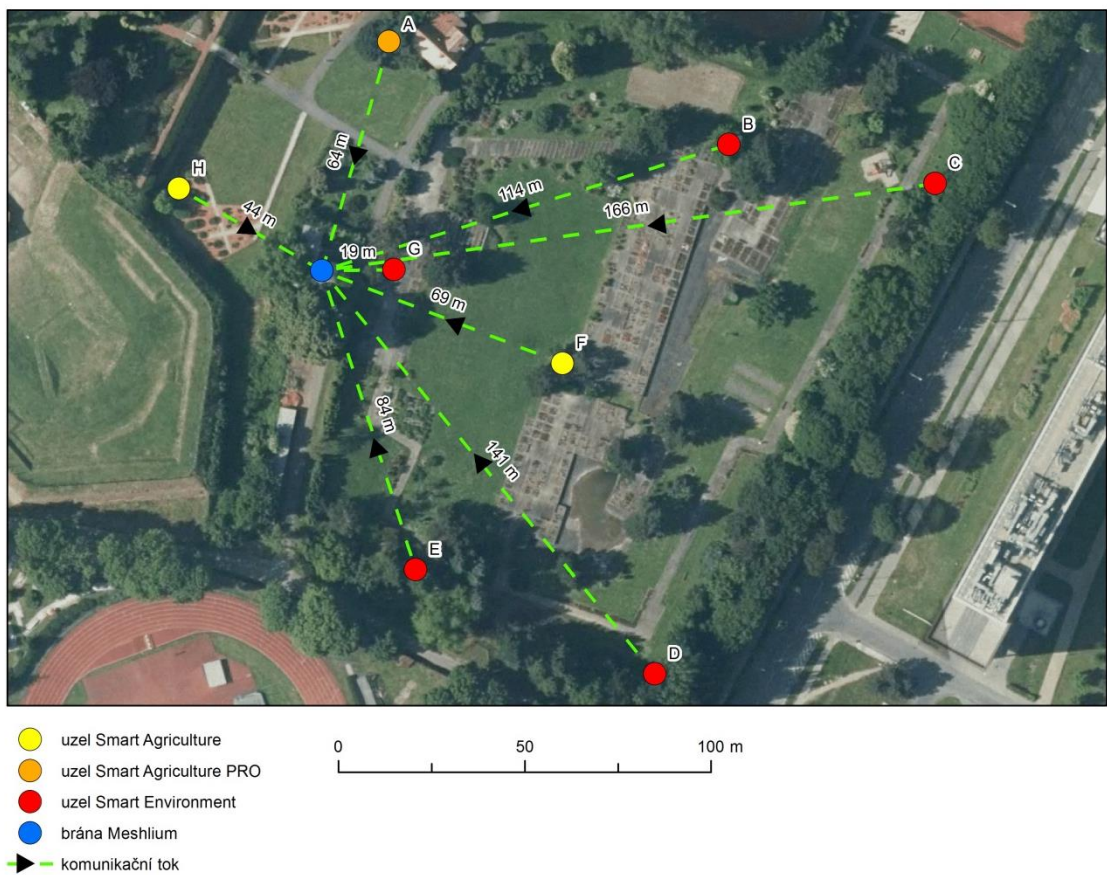
Během testování se nevyskytovaly závažnější komunikační výpadky, nedocházelo ani k výpadkům údajů v datové zprávě. Naměřené teplotní hodnoty se během testování pohybovaly v rozmezí udávaném výrobcem. Ukládání naměřených hodnot a jejich následný export probíhal bez problémů.

## 5.4 Realizace bezdrátové sensorové sítě

Pro umístění bezdrátové sensorové sítě byl zvolen areál Botanické zahrady a rozária. Cílem bylo rozmístit uzly bezdrátové sensorové sítě tak, aby bylo co nejlépe pokryto území rozária. Zároveň však bylo během rozmísťování bráno v potaz, aby byly uzly pokud možno co nejméně nápadné z důvodu minimalizování rizika krádeže a také aby byla co nejvíce přímá viditelnost mezi uzly a bránou. Terénní překážky společně s rušením signálu okolními WIFI sítěmi jsou jedněmi z hlavních faktorů ovlivňujících kvalitu přenosu dat, potažmo funkcionality celé bezdrátové sensorové sítě, cílem bylo tedy tento faktor maximálně omezit.

Brána Meshlium byla umístěna po domluvě s pracovníky Botanické zahrady a rozária do budovy technického zázemí, která se v zahradě nachází. Bylo tak zajištěno její ukrytí před krádeží, nepříznivými povětrnostními vlivy a zároveň umístění strategické polohy centra areálu. Vzhledem k tomu, že bezdrátová sensorová síť měla být tvořena osmi uzly rozmístěnými v komunikačním dosahu brány, byla pro tuto síť zvolena jednoduchá hvězdicová topologie. Naměřená data byla z uzlů odesílána přímo do brány, kde byla poté uložena. Schéma topologie nasazené bezdrátové sensorové sítě včetně vzdáleností jednotlivých uzlů (od 19 do 166 m) se nachází na Obr. 14. Veškeré parametry se poté nachází v Tab. 7. Pro snazší orientaci byly všechny uzly označeny písmeny A, B, C, D, E, F, G a H. V první podzimní části měření bylo nasazeno pouze 7 uzlů, konkrétně uzly s označením A až G. Na zimní část měření byl navíc přidán uzel s označením H. Po rozmístění uzlů v terénu byla následně zaměřena jejich poloha pomocí GPS přijímače.

Všechny sensorové uzly byly připevněny ke kmenům stromů pomocí kovových pásků, které jsou součástí balení, do výšky 2 metry nad zemský povrch. Aby byly u všech sensorů zachovány stejné podmínky pro měření, byly pro upevnění uzlů zvoleny jehličnaté stromy. Z důvodu dodržení metodiky ČHMÚ pro automatizovaná měření teploty byla na sensorové sondy nainstalována stínítka, aby nedocházelo k ovlivnění měření přímým slunečním zářením.



Obr. 14 Topologie nasazené sítě (zdroj: WMS poskytované ČUZK, dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ORTOFOTO\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx), vlastní zpracování)

Tab. 7 Parametry nasazené sítě

Označení	Model uzlu	Typ senzoru	Poloha uzlu	Azimut	Vzdálenost od brány
A	Smart Agriculture PRO	SHT75	17°15'37,778"E 49°35'34,528"N	16°20'4"	64 m
B	Smart Environment	MCP9700A	17°15'42,247"E 49°35'33,513"N	72°46'16"	114 m
C	Smart Environment	MCP9700A	17°15'45,022"E 49°35'33,153"N	81°54'26"	166 m
D	Smart Environment	MCP9700A	17°15'41,08"E 49°35'28,948"N	140°28'7"	141 m
E	Smart Environment	MCP9700A	17°15'37,893"E 49°35'29,908"N	162°38'34"	84 m
F	Smart Agriculture	SHT75	17°15'39,982"E 49°35'31,661"N	111°5'36"	69 m
G	Smart Environment	MCP9700A	17°15'37,717"E 49°35'32,531"N	89°7'3"	19 m
H	Smart Agriculture	SHT75	17°15'34,881"E 49°35'33,28"N	299°52'0"	44 m

## 5.5 Zpracování dat

Datová zpráva, která je po naměření teplotní hodnoty odesílána do brány, obsahuje identifikátor záznamu, datum a čas záznamu, identifikátor uzlu, stav baterie a hodnotu teploty, případně dalších měřených veličin. Obecná struktura datové zprávy včetně datových typů se nachází v Tab. 8 Tyto záznamy jsou ukládány do lokální MySQL databáze brány v datovém typu text. Odtud jsou tato data vyexportována pomocí nástroje phpMyAdmin ve verzi 2.11.8.1 do formátu CSV. Data ve formátu CSV byla oddělena středníkem. Dalším krokem při zpracování dat je jejich import do programu MS Excel 2010. Po importu dochází k problému, že jednotlivé části záznamu nemají nadefinován stejný datový typ, takže mohou ukazovat nesmyslné hodnoty. Tento problém je způsoben tím, že uložená data mají ve výchozím stavu nastaven jako oddělovač desetinných míst tečku místo čárky. Pro korektní zobrazení hodnot je tedy nutné u všech záznamů změnit desetinnou tečku na desetinnou čárku a následně pro všechny sloupce zvolit vhodný datový typ dle charakteru dat ve sloupci.

Další částí úprav je odstranění eventuálních duplicitních a poškozených záznamů. Během importu hodnot z CSV dochází i přes vhodné nastavení oddělovačů k poškození záznamů, respektive ztrátě některé z jeho částí. Po odstranění těchto záznamů je potřeba vymazat textové řetězce, které se v datové zprávě nacházejí pro identifikaci jednotlivých hodnot. Takto upravená data jsou následně roztržena podle identifikátoru uzlů do jednotlivých listů.

Finální soubor obsahuje pouze data, která uzel úspěšně pošle na bránu, za jeden den by se tedy při intervalu 10 minut mělo v datasetu objevit za každý uzel celkem 144 hodnot. V případě, že uzel data neodeslal, nebo brána datovou zprávu nezachytila, záznam chybí. Tato skutečnost negativně ovlivňuje zpracování dat, je nutné je ještě předzpracovat a chybějící záznamy alespoň doplnit s hodnotou N/A, aby byl dataset kompletní.

Tab. 8 Struktura datové zprávy

<b>Sloupec</b>	<b>Typ</b>
id	int(11)
id_wasp	text utf8_unicode_ci
id_secret	text utf8_unicode_ci
frame_type	int(11)
frame_number	int(11)
sensor	text utf8_unicode_ci
value	text utf8_unicode_ci
timestamp	timestamp
sync	int(1)
raw	varchar(100) latin1_swedish_ci
parser_type	tinyint(3)

## 6 VÝSLEDKY

Měření teploty v areálu Botanické zahrady a rozária byla realizována ve dvou obdobích. Podzimní měření probíhala od 25. 9. do 9. 10. 2014 pomocí sedmi uzlů. Zimní měření probíhala od 9. 12. do 16. 12. 2014 pomocí osmi uzlů.

### 6.1 Technické a provozní

Bezdrátová senzorová síť nasazená v rámci bakalářské práce byla umístěna v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci. Z hlediska technického zabezpečení se tato lokalita zpětně jeví jako vhodně zvolená. Síť byla po celou dobu měření dobře přístupná, zároveň však byly všechny síťové komponenty pod alespoň částečným dohledem zaměstnanců v oploceném a v nočních hodinách uzamčeném areálu. Původní záměr umístit síťovou bránu v budově Přírodovědecké fakulty UP, která se nachází naproti zájmové lokalitě, se ukázal jako nerealizovatelný. Jako problém se v tomto případě ukázalo spojení mezi uzly a bránou.

Pro umístění uzlů bezdrátové senzorové sítě se jeví v daných podmínkách jako nejlepší alternativa použití latí nebo tyčí, jelikož by se eliminoval vliv evapotranspirace na měřenou teplotu. Vzhledem k tomu, že tento způsob nebyl realizovatelný, byly zvoleny jehličnaté stromy. Z tohoto důvodu ovšem nebylo možné rozmístit uzly sítě tak, aby byly všechny uzly sítě ve stejné vzdálenosti od brány.

Rušení signálu a nespolehlivost přenosu dat se ukázala jako jeden z hlavních problémů v rámci funkcionality nasazené sítě. Značné množství výpadků, které se vyskytovalo během podzimního měření a v menší míře také během zimního měření, zásadně ovlivnilo následné analýzy teplotních hodnot a také jejich případné využití v praxi. Pro bezdrátovou komunikaci mezi uzly sítě a bránou bylo zvoleno frekvenční pásmo 2,4 GHz. U tohoto pásma se vyskytuje především ve velkých městech problém se značným rušením, jelikož zde fungují i jiné bezdrátové technologie a především velké množství WIFI sítí. Ideálním řešením v případě výpadku by bylo odeslání zprávy o chybějícím záznamu, ovšem tato funkce není v rámci webového generátoru kódu dostupná a jakýkoliv zásah do zdrojového kódu komunikačního protokolu je komplikovaný z důvodu narušení funkcionality měření teploty a odesílání dat.

Dalším faktorem, který značně ovlivňuje praktickou využitelnost naměřených dat, jsou značné výkyvy při měření teploty především u uzlů Smart Environment. Výrobce v dokumentaci uvádí, že senzory, které jsou na těchto konkrétních uzlech použity, mohou v daných podmínkách měřit teplotu s přesností 2 až 4 °C. Teplotní hodnoty naměřené pomocí těchto senzorů velmi často kolísají během krátkého časového intervalu i o několik °C. U uzlů Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO jsou použity senzory, které jsou schopny měřit s přesností 0,4 °C, což se projevuje i ve výsledcích měření. Vzhledem k rozdílnému počtu jednotlivých typů uzlů nasazených při měření není možné pořádně vyhodnotit přesnost jejich měření na celém zájmovém území.

Zvolený interval měření 10 minut se jeví jako rozumný kompromis. Poskytuje dostatečné množství teplotních hodnot pro analýzu vývoje teplot na takto malém území, zároveň však zajišťuje zhruba 14 dní výdrž baterie. Pro dlouhodobější kontinuální měření teploty není výdrž baterie optimální.

## 6.2 Statistické

V rámci statistického vyhodnocení obou měření byla analyzována úspěšnost přenosu dat a přesnost měření senzorů. Úspěšnost přenosu byla hodnocena na základě počtu výpadků zaznamenaných u jednotlivých uzlů. Přesnost měření byla hodnocena z hlediska korelace teplotních hodnot jednotlivých senzorů a analyzování velikosti odchylky během měření.

### 6.2.1 Podzimní měření

Podzimní měření bylo realizováno během 15 dní na přelomu září a října. V rámci sledovaného období docházelo ke značným výpadkům jednoho nebo více uzlů po různě dlouhé období. Největší množství výpadků bylo možné pozorovat první den, v polovině měření a poslední den, kdy byla spolehlivost menší než 50 %. Dá se předpokládat, že na větší množství výpadků ke konci měřeného období má vliv nižší stav baterie u většiny uzlů. Na základě statistického vyhodnocení spolehlivosti přenosu dat (Tab. 9) byly vybrány 2 dny, 26. a 27. 9. 2014, které byly vhodné pro následné klimatické vyhodnocení. Veškeré výpočty úspěšnosti přenosu dat vychází z předpokladu, že každý uzel má na základě zvoleného intervalu měření odeslat 144 hodnot za den.

Tab. 9 Počet výpadků v přenosu dat během podzimního měření

Datum	Uzel A	Uzel B	Uzel C	Uzel D	Uzel E	Uzel F	Uzel G	Počet výpadků celkem	Chybovost v %	Úspěšnost přenosu v %
25. 9.	83	52	0	37	77	6	75	330	32,7	67,3
26. 9.	12	21	0	4	0	4	0	41	4,1	95,9
27. 9.	13	3	2	15	3	4	2	42	4,2	95,8
28. 9.	3	24	0	51	1	5	1	85	8,4	91,6
29. 9.	9	33	0	37	9	6	1	95	9,4	90,6
30. 9.	13	45	0	116	1	16	12	203	20,1	79,9
1. 10.	18	18	85	2	6	19	20	168	16,7	83,3
2. 10.	14	84	61	62	84	62	125	492	48,8	51,2
3. 10.	3	70	0	97	81	35	0	286	28,4	71,6
4. 10.	33	105	143	141	120	69	142	753	74,7	25,3
5. 10.	26	58	2	131	115	23	2	357	35,4	64,6
6. 10.	27	25	6	124	115	11	20	328	32,5	67,5
7. 10.	26	65	0	98	133	46	2	370	36,7	63,3
8. 10.	90	43	2	70	103	51	110	469	46,5	53,5
9. 10.	90	140	0	144	144	95	0	613	60,8	39,2
<b>Počet výpadků celkem</b>	<b>460</b>	<b>786</b>	<b>301</b>	<b>1129</b>	<b>992</b>	<b>452</b>	<b>512</b>	<b>4632</b>	<b>30,6</b>	<b>69,4</b>
<b>Chybovost v %</b>	<b>21,3</b>	<b>36,4</b>	<b>13,9</b>	<b>52,3</b>	<b>45,9</b>	<b>20,9</b>	<b>23,7</b>			
<b>Úspěšnost přenosu v %</b>	<b>78,7</b>	<b>63,6</b>	<b>86,1</b>	<b>47,7</b>	<b>54,1</b>	<b>79,1</b>	<b>76,3</b>			



Z hlediska hodnocení kvality přenosu dat u jednotlivých uzlů dosahuje paradoxně nejlepších výsledků uzel C, který je od brány nejvzdálenější. Naopak největší množství chyb v přenosu dat je možné pozorovat u uzlu D, který se nachází v podobné vzdálenosti od brány a s uzlem C a bránou tvoří trojúhelník. Uzel s druhým nejhorším výsledkem přenosu dat je uzel E, který se nachází podél hranice území na stejné straně areálu a také uzel B na straně opačné, který je bráně blíže, než nejspolehlivější a vzdálenější uzel C. Z těchto skutečností se dá usuzovat, že vzdálenost a do jisté míry ani poloha nemají na spolehlivost přenosu dat vliv, toto tvrzení však bylo detailnější analýzou vyvráceno.

V naměřených datech je možné pozorovat čtyři základní typy výpadků. Jedná se o náhodný výpadek na uzlu bez závislosti na ostatních, synchronní výpadek na více uzlech zároveň, trvalejší výpadek jednoho uzlu a trvalejší výpadek několika uzlů.

První dva typy výpadku je možné náhodně pozorovat u všech uzlů po celou dobu měřeného období. Trvalejší výpadek jednoho uzlu se častěji než u ostatních objevuje u uzlů B, C a D. Tyto uzly mají společně to, že všechny tři patří do modelové řady Smart Environment, nacházejí se ve východní části měřeného území a patří k nejvzdálenějším uzlům od brány. Vzdálenost od brány u všech tří uzlů přesahuje 100 metrů.

Trvalejší výpadek několika uzlů se obvykle týkal většiny, v některých případech dokonce všech uzlů sítě najednou. Tento typ výpadku bylo možné paradoxně pozorovat ihned první den po nasazení v terénu a především pak dne 4. 10. 2014. Tento den během nočních a brzkých ranních hodin nekomunikoval s bránou žádný s uzlů. V následujícím průběhu dne byla funkcionality sítě nadále velmi omezená. Trvalejší výpadek několika uzlů zároveň bylo možné pozorovat také ke konci měřeného období, což lze částečně přisoudit klesající výdrži baterií v uzlech.

### Hodnocení přesnosti měření

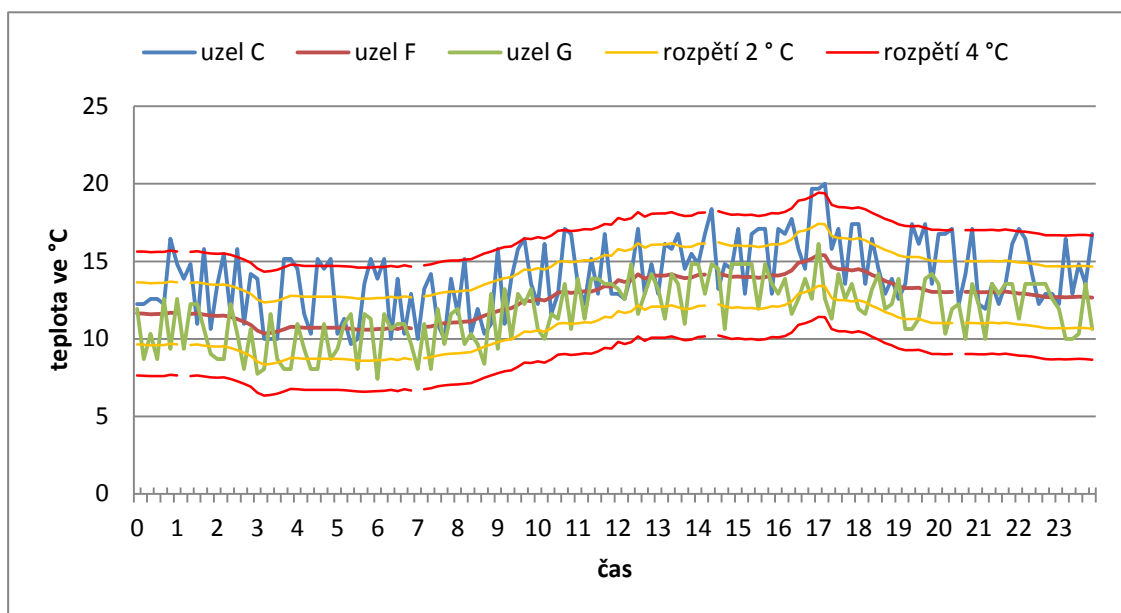
Nejpřesnější výsledky, které lze v daném případě považovat za etalon, byly naměřeny pomocí uzlů A a F. Uzel A patří do modelové řady Smart Agriculture PRO, uzel F do modelové řady Smart Agriculture. Oba dva jsou tedy osazeny přesnějšími senzory, než které jsou dodávány k uzlům Smart Environment. Pro uzly A a F byla provedena analýza korelace teplotních hodnot, která byla provedena na datech z 26. 9. 2014. Hodnota korelačního koeficientu mezi daty těchto uzlů naměřených tento den byla 0,99, z čehož plyne, že data těchto dvou uzlů mají přímou závislost. Na datech ze stejného dne byla také provedena korelační analýza uzlu A a uzlu F s ostatními uzly v síti. Z výsledků korelačních analýz, které se nacházejí v Tab. 10 je patrné, že míra závislosti mezi hodnotami uzlů A a F a hodnotami ostatních uzlů je menší, což poukazuje na teplotní výkyvy.

Tab. 10 Hodnoty korelačního koeficientu uzlu A a F s uzly B, C, D, E a G

	uzel A	uzel F
uzel B	0,70	0,69
uzel C	0,58	0,56
uzel D	0,72	0,75
uzel E	0,67	0,68
uzel G	0,67	0,68

V rámci hodnocení přesnosti měření byla také zkoumána odchylka dvou uzlů s nejextrémnějšími výkyvy hodnot od etalonu (Obr. 15). Jako etalon byl zvolen uzel

s označením F. V grafu byly vytvořeny křivky reprezentující rozpětí  $\pm 2$  a  $\pm 4$  °C od etalonu, což jsou hodnoty přesnosti měření použitého senzoru uváděné výrobcem.



Obr. 15 Odchylky naměřených teplot od etalonu

Z grafu je patrné, že hodnoty uzlu C kolísají nad zvoleným etalonem, zatímco hodnoty uzlu G kolísají pod jeho hranicí. Oba uzly po většinu sledovaného času kolísaly do rozpětí 4 °C, za daných podmínek by ovšem měly pracovat s přesností 2 °C. Tato hranice byla oběma uzly překročena.

## 6.2.2 Zimní měření

Zimní měření probíhalo během sedmi dní v první polovině prosince. Během zimního měření bylo možné pozorovat výpadky v komunikaci ve výrazně menší míře než na podzim. Opět se ukázalo, že snížená úspěšnost komunikace je první den měření (ovlivněno hlavně uzlem H), jinak se úspěšnost přenosu pohybuje nad 80 %. Výsledky úspěšnosti jsou částečně ovlivněny také chybovostí uzlu D, který během prvních dvou dní vykazoval výrazně vyšší počet výpadků, než ostatní uzly a od třetího dne měření přestal zcela odesílat data. Na základě vyhodnocení úspěšnosti byly pro následné analýzy vybrány dva dny s nejvyšší úspěšností přenosu, konkrétně 13. a 14. 12. 2014.

Z hlediska úspěšnosti přenosu dat vykazují všechny uzly kromě již zmíněného uzlu D a uzlu H úspěšnost 90 a více %. Uzel D dosáhl kvůli úplné ztrátě funkčnosti od třetího dne měření úspěšnost přenosu pouhých 11 % za celé měřené období. Uzel H měl během zimního měření úspěšnost 76,5 %. Uzel D byl nasazen již během podzimního měření a již tehdy vykazoval nejvyšší chybovost přenosu dat v celé síti. Uzel D je druhý nejvzdálenější od brány, ovšem jeho chybovost opět nelze přičíst vzdálenosti. Uzel C, který se nachází od brány nejdále ze všech uzlů v síti, měl během podzimního měření nejvyšší úspěšnost přenosu dat a během zimního měření dosahuje druhé nejlepší úspěšnosti v rámci sítě. Uzel H byl dodatečně nasazen až na zimní měření. Jeho umístění se nachází na opačnou stranu od brány, než jsou umístěny ostatní uzly v síti. Počet výpadků se nachází v Tab. 11. Stejně jako během podzimního měření vychází výpočty z předpokladu, že každý uzel odešle 144 hodnot za den.

Tab. 11 Počet výpadků v přenosu dat během zimního měření

Datum	Uzel A	Uzel B	Uzel C	Uzel D	Uzel E	Uzel F	Uzel G	Uzel H	Počet výpadků celkem	Chybovost v %	Úspěšnost přenosu v %
9. 12.	7	4	5	63	20	7	2	140	248	21,5	78,5
10. 12.	17	5	5	98	4	12	0	80	221	19,2	80,8
11. 12.	34	7	4	144	6	11	2	7	215	18,7	81,3
12. 12.	10	13	7	144	12	11	3	9	209	18,1	81,9
13. 12.	8	11	4	144	5	7	2	11	192	16,7	83,3
14. 12.	5	3	2	144	11	6	2	8	181	15,7	84,3
15. 12.	8	4	4	144	12	12	5	7	196	17,0	83,0
16. 12.	7	4	1	144	45	11	0	9	221	19,2	80,8
<b>Počet výpadků celkem</b>	<b>96</b>	<b>51</b>	<b>32</b>	<b>1025</b>	<b>115</b>	<b>77</b>	<b>16</b>	<b>271</b>	<b>1683</b>	<b>18,3</b>	<b>81,7</b>
<b>Chybovost v %</b>	<b>8,3</b>	<b>4,4</b>	<b>2,8</b>	<b>89,0</b>	<b>10,0</b>	<b>6,7</b>	<b>1,4</b>	<b>23,5</b>			
<b>Úspěšnost přenosu v %</b>	<b>91,7</b>	<b>95,6</b>	<b>97,2</b>	<b>11,0</b>	<b>90,0</b>	<b>93,3</b>	<b>98,6</b>	<b>76,5</b>			

Z pohledu výskytu chyb je možné pozorovat především výskyt náhodných výpadků u jednotlivých uzlů a dlouhodobější výpadky jednoho uzlu. Tyto výpadky se vyskytují především u uzlu D a u uzlu H na počátku měřeného období.

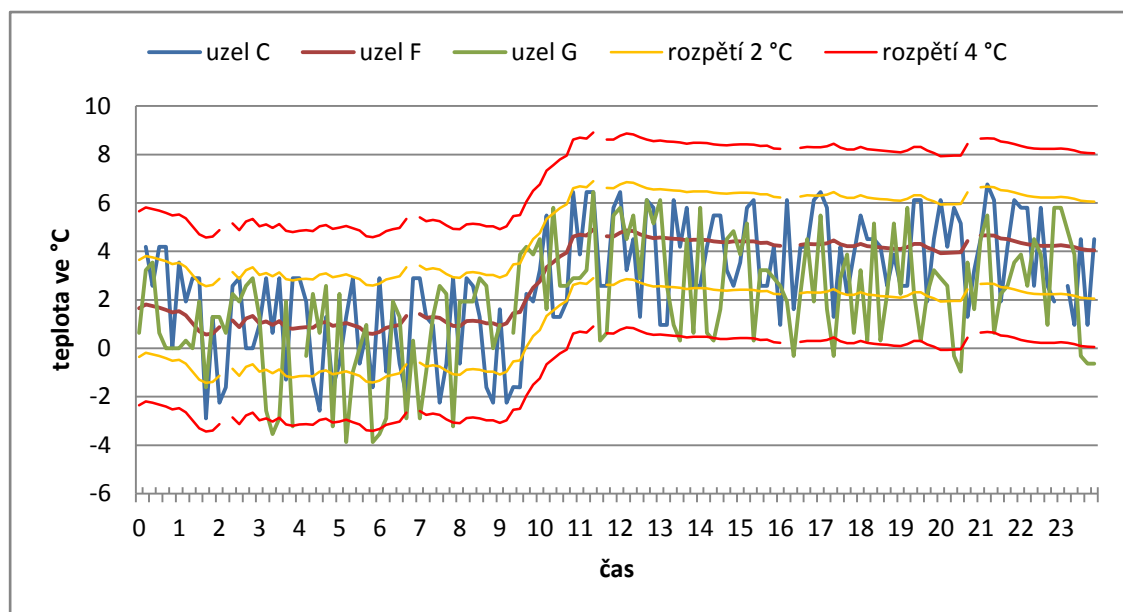
### Hodnocení přesnosti měření

Stejně jako během podzimního měření i nyní vykazovaly nejpřesnější výsledky uzly A a F. Korelační koeficient mezi těmito uzly má hodnotu 1, což značí přímou závislost mezi hodnotami naměřenými těmito uzly. Tab. 12 obsahuje korelační koeficienty uzlů A a F s ostatními uzly v síti, kde je možné pozorovat korelaci s hodnotou 1 také mezi hodnotami uzlů A, F a H. Důvodem je skutečnost, že na uzlu H byl nasazen pro měření teploty stejný přesnější senzor jako u uzlu F (Smart Agriculture).

Tab. 12 Hodnoty korelačního koeficientu uzlu A a F s uzly B, C, D, E a G

	uzel A	uzel F
uzel B	0,60	0,61
uzel C	0,65	0,66
uzel D		
uzel E	0,68	0,68
uzel G	0,52	0,55
uzel H	1,00	1,00

Pro zimní měření byla stejně jako během podzimního měření vizualizována odchylka uzlů C a G od uzlu F, jehož hodnoty opět slouží jako etalon. Pro hodnocení přesnosti zimního měření byla použita data ze dne 14. 12. 2014.



Obr. 16 Odchylky teplotních hodnot od etalonu

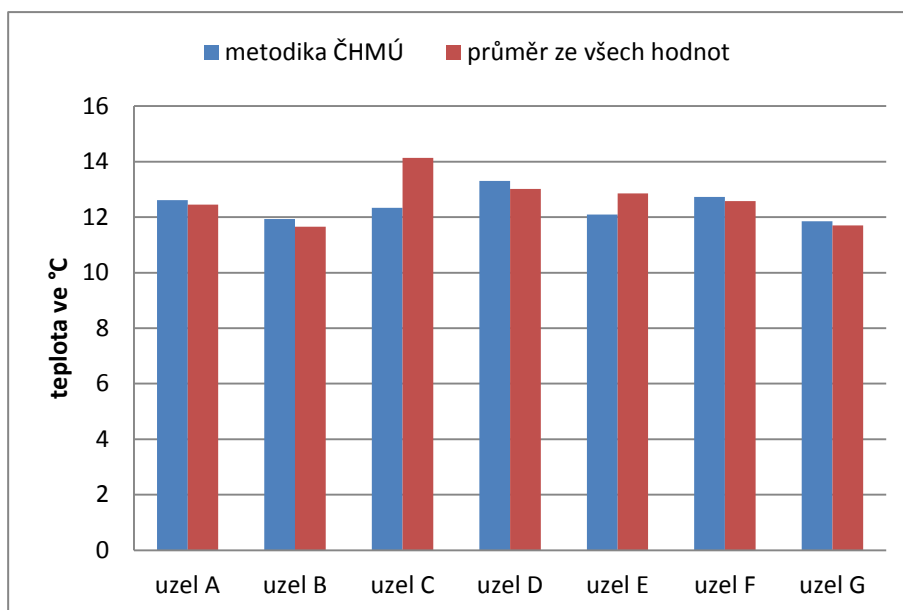
Výkyvy většinou nepřekračují hranici rozpětí 4 °C, ovšem spodní hranice rozpětí 2 °C je překročena výrazně častěji, než horní. Dále je také patrné, že na rozdíl od podzimního měření se výrazně zvětšila amplituda výkyvů a to především směrem k nižším teplotám.

## 6.3 Tematické

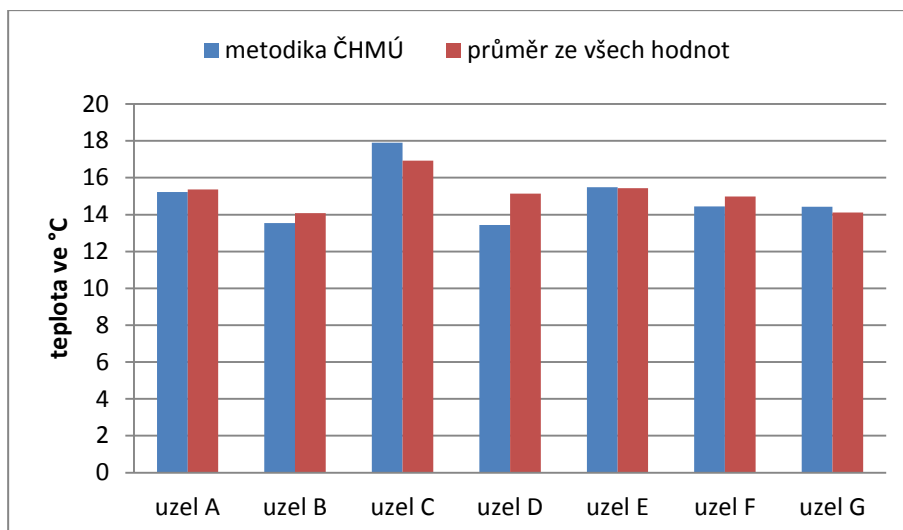
V rámci tematického hodnocení měření byly vytvořeny grafy průměrných denních teplot a teplotních vývojů. Dále byly také zjištěny teplotní extrémy a z nich následně vypočtena teplotní amplituda. Jedním z tematických výstupů jsou také mapy průměrných denních teplot vypočtených podle metodiky ČHMÚ, které se nachází v přílohách.

### 6.3.1 Podzimní měření

V rámci tematických výstupů práce byly vypočteny průměrné denní teploty dvěma rozdílnými způsoby. Prvním způsobem je výpočet podle metodiky ČHMÚ na základě vzorce  $t_d = (t_7 + t_{14} + 2 * t_{21}) / 4$ , druhým výpočet průměrné denní teploty pomocí aritmetického průměru. Z grafů vybraných dnů (Obr. 17 a Obr. 18), které byly vybrány na základě hodnocení úspěšnosti přenosu dat, je patrné, že se ve výsledných průměrných denních teplotách mohou vyskytovat rozdíly. Ty jsou způsobeny především tím, že při výpočtu pomocí aritmetického průměru jsou dosazeny i extrémní teplotní hodnoty, které při výpočtu pomocí teplotních hodnot v časech 7, 14 a 21 hodin nemusí být dosazeny. Při srovnání vypočtených průměrných denních teplot s hodnotami pro oblast W2 podle Atlasu podnebí Česka je patrné, že naměřené hodnoty jsou vyšší. Atlas podnebí Česka uvádí pro oblast W2 v říjnu průměrnou teplotu 7 až 9 °C.



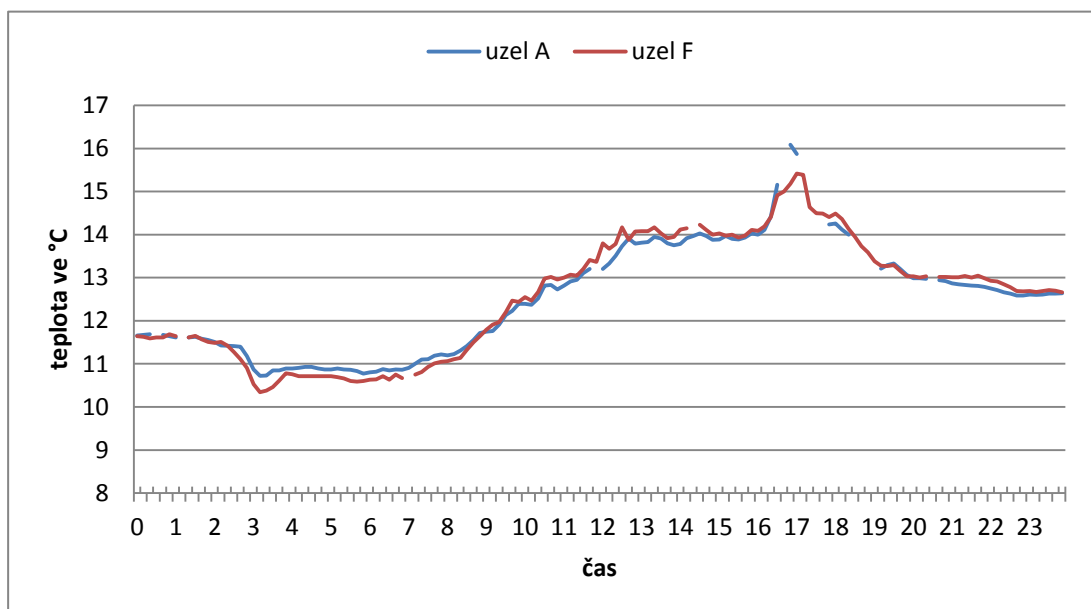
Obr. 17 Průměrná denní teplota 26. 9. 2014



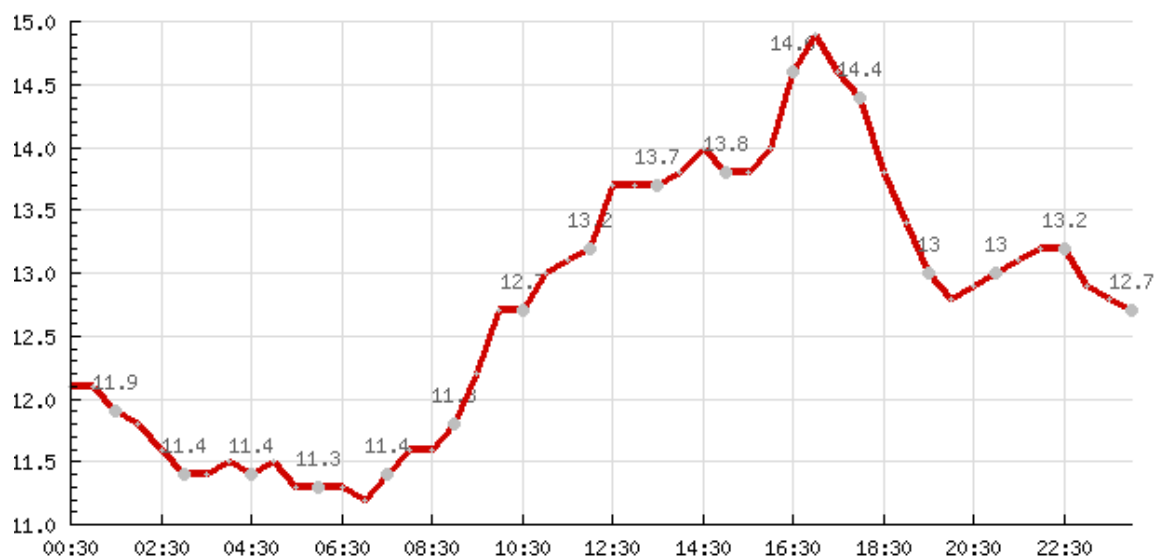
Obr. 18 Průměrná denní teplota 27. 9. 2014

Z grafů je patrné, že 27. 9. 2014 došlo ke zvýšení průměrné denní teploty. Uzly A a F, které jsou brány jako etalon, mají pomocí obou výpočtů podobné teplotní hodnoty. U některých uzlů jsou ovšem patrné výraznější výkyvy, které jsou způsobeny výkyvy teplot během celého dne.

Pro vybrané dny byly také vytvořeny grafy vývoje teplot uzlů A a F (Obr. 19 a Obr. 21). Tyto grafy byly následně porovnány s daty vývoje teplot amatérského meteorologa, který v Olomouci provádí měření (Obr. 20 a Obr. 22). Referenční měření jsou realizována pomocí stanice Davis Vantage 6163 s přesností 0,5 °C. Vzhledem k tomu, že tato měření probíhají v jiných městských částech, má toto srovnání pouze orientační charakter.

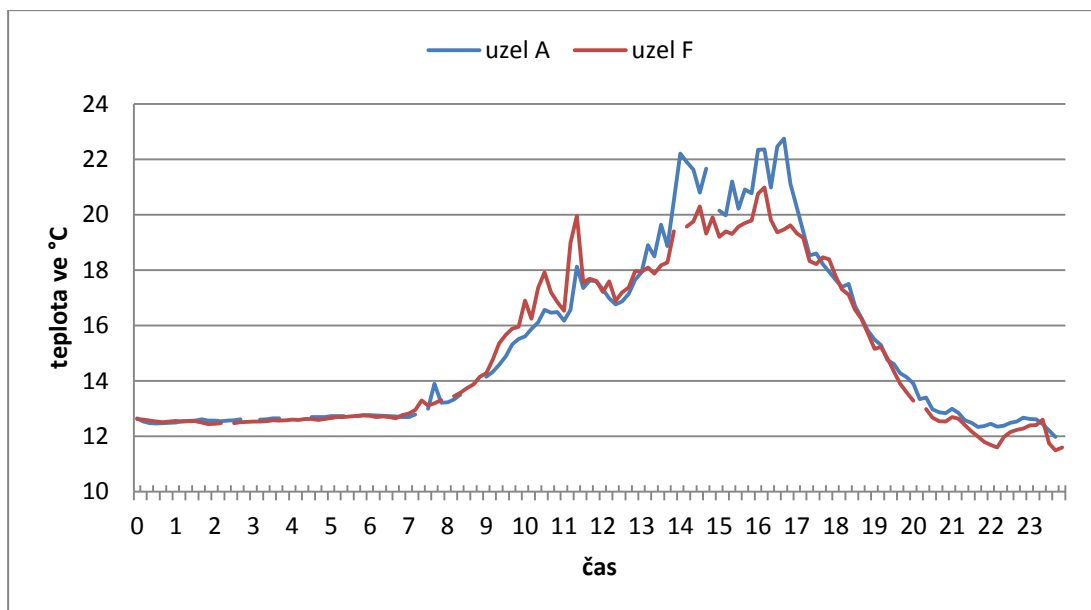


Obr. 19 Vývoj teplotních hodnot uzlů A a F 26. 9. 2014

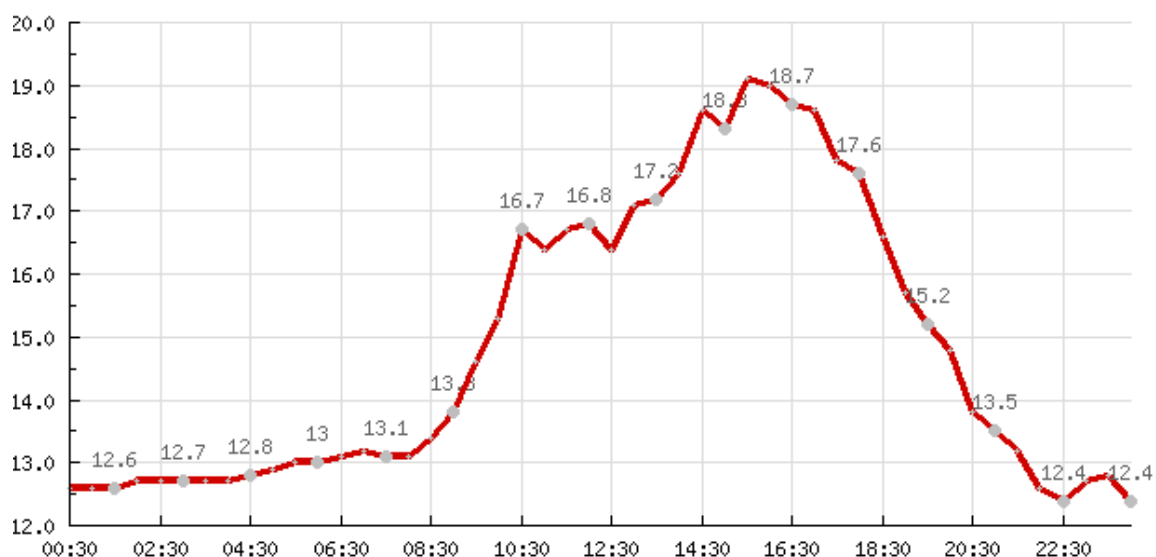


Obr. 20 Vývoj teplotních hodnot v Olomouci 26. 9. 2014

(zdroj: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=olomouc&historie=09-26-2014>)



Obr. 21 Vývoj teplotních hodnot uzlů A a F 27. 9. 2014



Obr. 22 Vývoj teplotních hodnot v Olomouci 27. 9. 2014

(zdroj: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=olomouc&historie=09-27-2014>)

Z naměřených hodnot byly také zjištěny teplotní extrémy a následně vypočtena amplituda (Tab. 12 a Tab. 13). Během druhého měřeného dne došlo ke značnému nárůstu především maximálních denních teplot, což se projevilo u uzlu A dvojnásobnou a u uzlu F téměř dvojnásobnou hodnotami amplitudy oproti prvnímu sledovanému dni. Pravdivost hodnot ovšem nelze s jistotou prokázat, jelikož především v době teplotních maxim zaznamenávají senzory vyšší teploty, než jaké lze pozorovat u referenčního měření.



Tab. 12 Teplotní extrémy a amplituda dne 26. 9. 2014

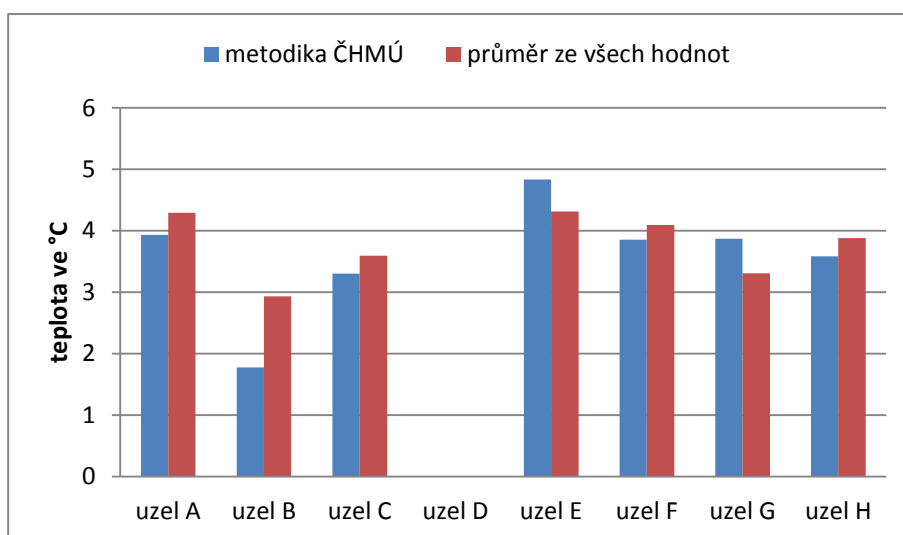
	<b>Minimum ve °C</b>	<b>Maximum ve °C</b>	<b>Amplituda ve °C</b>
<b>uzel A</b>	10,7	16,1	5,4
<b>uzel F</b>	10,3	15,4	5,1

Tab. 13 Teplotní extrémy a amplituda dne 27. 9. 2014

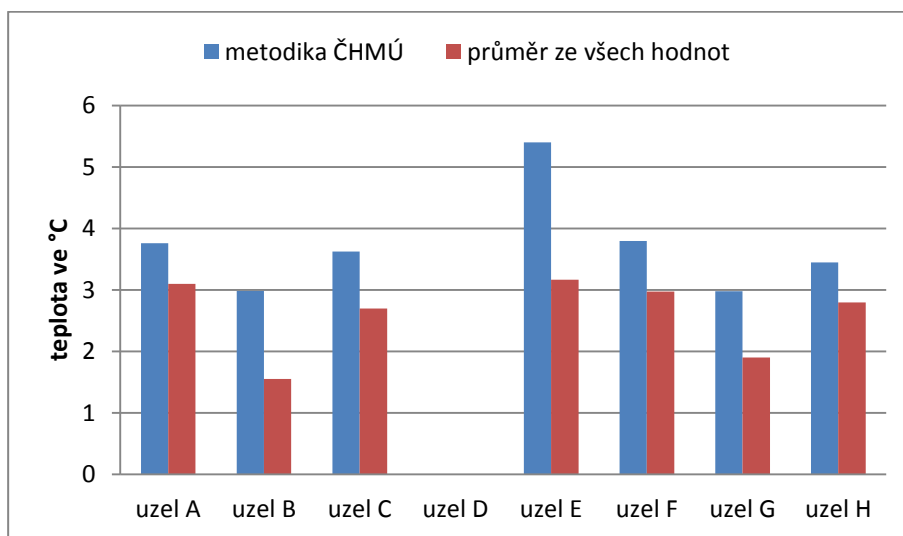
	<b>Minimum ve °C</b>	<b>Maximum ve °C</b>	<b>Amplituda ve °C</b>
<b>uzel A</b>	12,0	22,8	10,8
<b>uzel F</b>	11,5	21,0	9,5

### 6.3.2 Zimní měření

Během zimního měření bylo možné po oba analyzované dny možné pozorovat výraznější rozdíly mezi průměrnou denní teplotou vypočtenou dle metodiky ČHMÚ a aritmetickým průměrem ze všech hodnot (Obr. 23 a Obr. 24). Během prvního analyzovaného dne bylo možné většinou zaznamenat vyšší průměrnou teplotu pomocí výpočtu aritmetickým průměrem, během druhého analyzovaného dne byla vyšší teplota ve všech případech zaznamenána pomocí výpočtu dle metodiky ČHMÚ. Nejvýrazněji jsou rozdíly mezi jednotlivými výpočty patrné u uzlů B a především E.

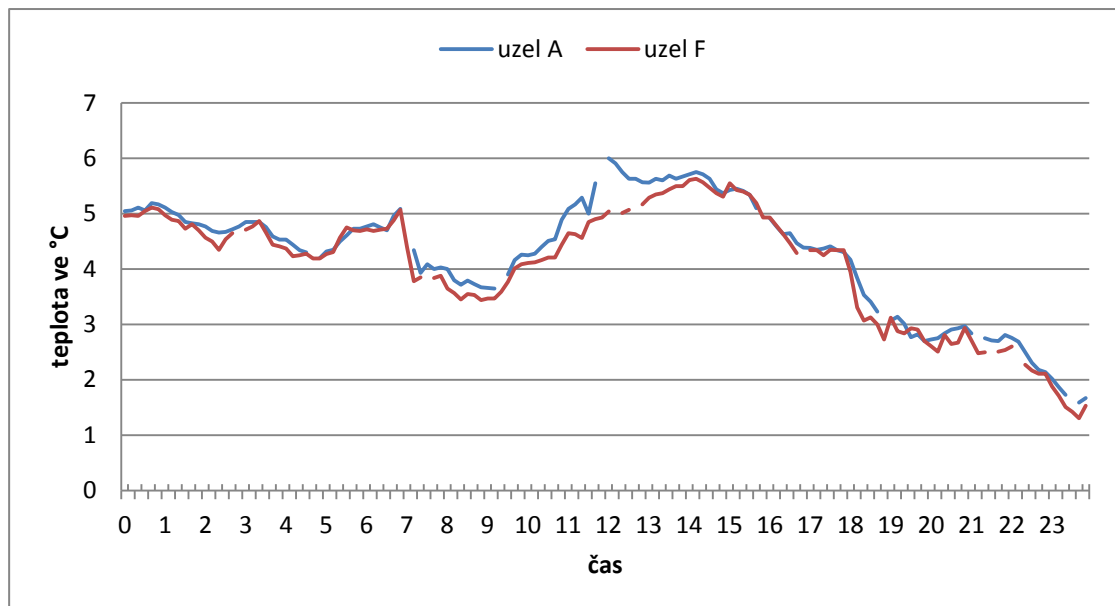


Obr. 23 Průměrná denní teplota 13. 12. 2014

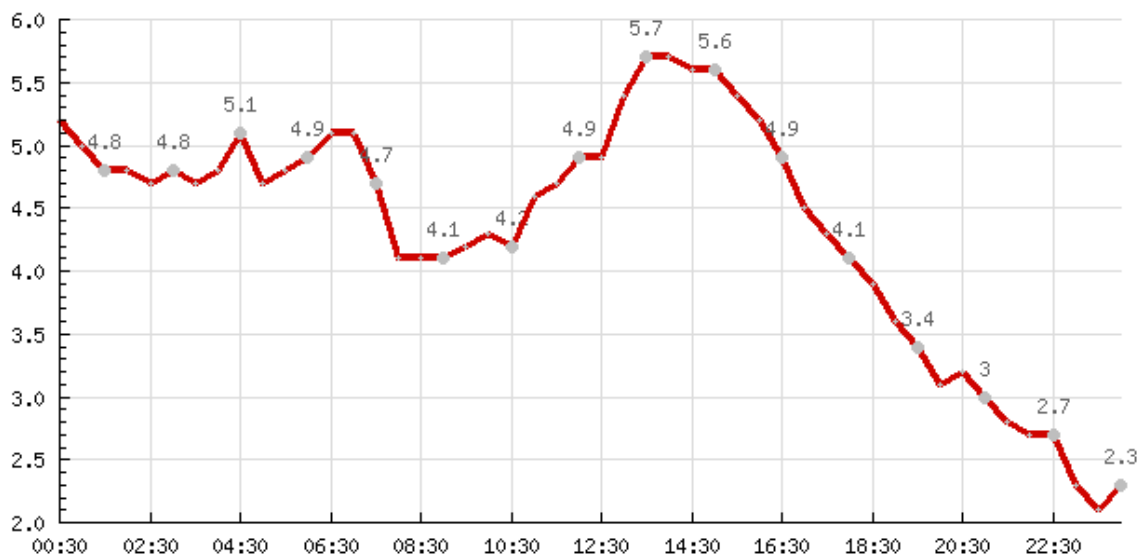


Obr. 24 Průměrná denní teplota 14. 12. 2014

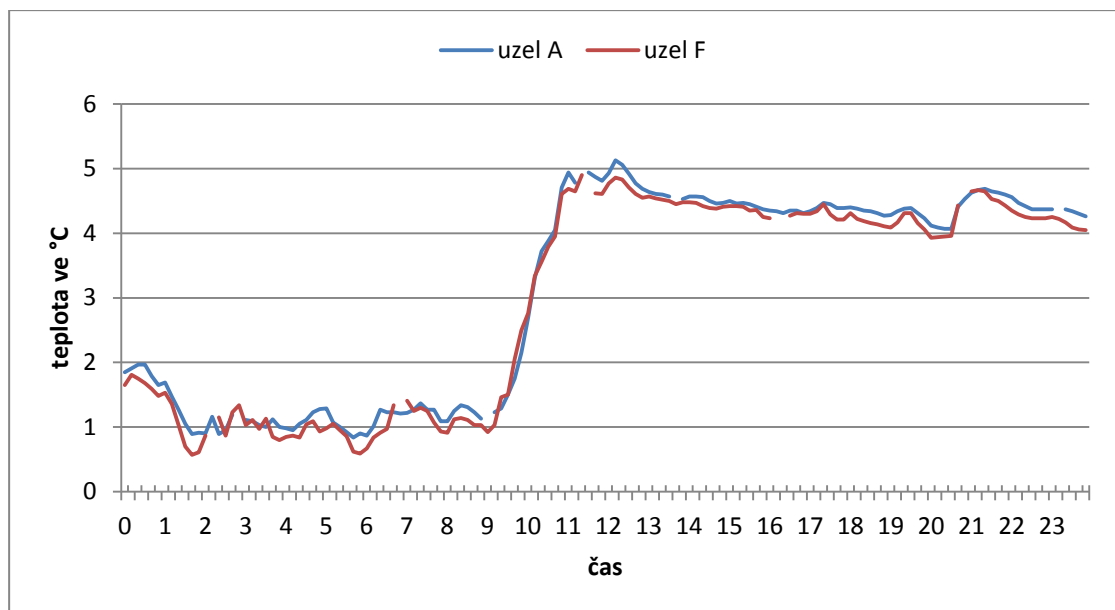
Teplotní hodnoty z uzlů A a F byly stejně jako během předešlého měřeného období porovnány s volně dostupnými teplotními daty pro dané dny. Vývoje teplotních hodnot na uzlech A a F se nacházejí na Obr. 25 a Obr. 27, referenční data se nacházejí na Obr. 26 a Obr. 28. Z grafů vývoje teplot je patrné, že teplotní hodnoty naměřené v rozáriu mají podobný průběh jako nezávislé referenční měření.



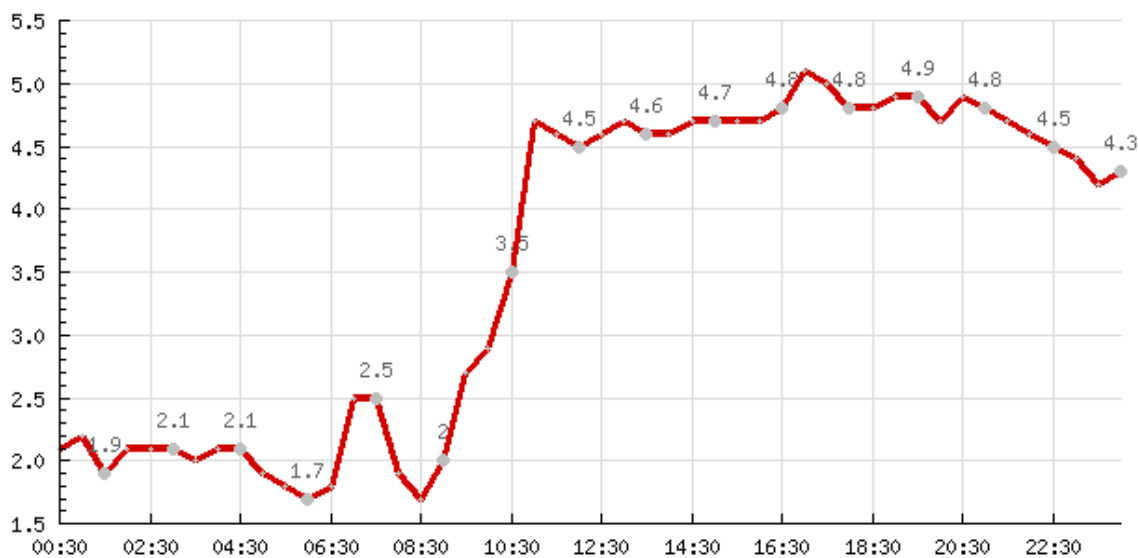
Obr. 25 Vývoj teplotních hodnot uzlů A a F 13. 12. 2014



Obr. 26 Vývoj teplotních hodnot v Olomouci 13. 12. 2014 (zdroj: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=olomouc&historie=12-13-2014>)



Obr. 27 Vývoj teplotních hodnot uzlů A a F 14. 12. 2014



Obr. 28 Vývoj teplotních hodnot v Olomouci 14. 12. 2014

(zdroj: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=olomouc&historie=12-14-2014>)

Pro oba analyzované dny byly také nalezeny teplotní extrémy a vypočtena amplituda. Na rozdíl od podzimního měření mají oba dny podobné sledované charakteristiky.

Tab. 14 Teplotní extrémy a amplituda 13. 12. 2014

	Minimum ve °C	Maximum ve °C	Amplituda ve °C
<b>uzel A</b>	1,6	6,0	4,4
<b>uzel F</b>	1,3	5,6	4,3

Tab. 15 Teplotní extrémy a amplituda 14. 12. 2014

	Minimum ve °C	Maximum ve °C	Amplituda ve °C
<b>uzel A</b>	0,8	5,1	4,3
<b>uzel F</b>	0,6	4,9	4,3

## 7 DISKUZE

Volba zájmového území a topologie byla do značné míry ovlivněna počtem nasazených uzlů. Při nasazení více uzlů by bylo možné provádět měření na větším území, kde by bylo možné pozorovat větší odlišnosti teplotních hodnot. Pro zajištění zcela optimálních podmínek pro měření teploty by bylo nejvhodnějším řešením umístit uzly se senzory na latě. Tímto způsobem by byl zcela eliminován vliv evapotranspirace vzrostlých stromů na naměřenou teplotu. U vzrostlých stromů dochází k výparu z kůry kmene, který může ovlivnit teplotní hodnoty v případě, že jsou senzory umístěny příliš blízko kmene. V rámci rozmístění sítě ovšem bylo nutné také řešit, aby umístění uzlů bylo co nejméně nápadné a minimalizovat riziko odcizení. Přestože z hlediska výparu do jisté míry není podstatné, zda se jedná o jehličnatý nebo listnatý strom, bylo nakonec zvoleno rozmístění sítě pouze na jehličnaté stromy, jejichž okolní prostředí umožňovalo stejné podmínky pro měření.

Měření probíhalo během dvou podzimních a jednoho zimního týdne. Chybí tedy porovnání výsledků měření v jiných ročních obdobích. To je způsoben častým vybíjením baterie a občasnou nedostupností senzorů, které byly sdíleny s katedrou informatiky. Během jarního období již nebyla další měření realizovatelná, jelikož byly v areálu rozára pokáceny některé stromy a následně zde začaly stavební práce.

Výsledky teplotních měření ukázaly, že přestože byly uzly rozmístěny ve shodných podmínkách, tak naměřené teploty byly na některých místech značně odlišné a ovlivněné přesností měření některých nasazených senzorů. V rámci nasazené sítě byly použity uzly Libelium Waspnote Plug & Sense Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO. U uzlů Smart Environment byly ovšem použity senzory s mnohem nižší přesností měření teploty, než u uzlů Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO. Prakticky jsou tedy použitelné pouze teplotní hodnoty naměřené pomocí uzlů Smart Agriculture, které jsou osazeny teplotními senzory měřícími v daných podmínkách s přesností 0,4 °C. U hodnot naměřených pomocí senzorů nasazených na uzlech Smart Environment se objevují během jednoho intervalu měření výkyvy i o více jak 5 °C, což znemožňuje praktické využití těchto měření.

Teploty byly snímány v desetiminutovém intervalu. Interval byl zvolen z důvodu, že se jedná o interval, jaký je využíván ČHMÚ pro automatizovaná měření. Dalšími důvody pro volbu tohoto intervalu je úspora energie a prodloužení výdrže baterie. V případě, že by byly hodnoty zaznamenávány kontinuálně, tak by mohlo docházet k redundancím v takto získaných datech a velkému vytížení baterie uzlů. Problémem baterií je také poměrně dlouhá dobíjecí doba, během které není možné provádět měření.

V průběhu především podzimního měření byla zaznamenána značná nespolehlivost přenosu dat ve venkovním prostředí. Velké množství výpadků v komunikaci mezi uzly a bránou znemožňuje podrobnější analýzu teplotních hodnot ze všech měřených dní. Na bezdrátovou komunikaci má vliv mnoho faktorů, které musí být při rozmisťování uzlů brány v potaz, aby byly výpadky v měření eliminovány. V tomto případě mohla být spolehlivost komunikace ovlivněna výpadky baterie, terénními překážkami a také rušením přenosu dat okolními WiFi sítěmi fungujícími na stejné frekvenci 2,4 GHz. Řešením problému s terénními překážkami je vytvoření sítě ve vrstevnaté architektuře tak, aby putovala naměřená data mezi vzdálenými uzly a bránou způsobem multi-hop. Přenos dat mezi jednotlivými uzly by poté probíhal na menší vzdálenost, což by zvýšilo jeho spolehlivost, ale došlo by také ke zvýšení spotřeby energie u uzlů, přes které by byla data přeposílána. V případě využití možnosti okamžitého zasílání dat z brány

uživateli pomocí 3G/GPRS sítí a eventuálnímu zaslání varovné SMS, by také bylo možné detekovat problémy s přenosem dat dříve, než při manuálním stahování a zpracování dat. Vhodné by také bylo, aby byla v případě výpadku v komunikaci v databázi automaticky zaznamenána hodnota N/A z důvodu následné analýzy množství výpadků.

Naměřená data by bylo v případě použití přesnějších senzorů pro měření teploty a eliminaci výpadků možné využít k nalezení rozdílů teplot v různých částech rozária. Pokud budou teplotní hodnoty sbírány po delší časové období a teplotní senzory doplněny o další snímače jako je například sluneční radiace, relativní vlhkost nebo směr a rychlost větru, tak tyto poznatky mohou být využity k efektivnějšímu osazování rostlin v rámci Botanické zahrady.

## 8 ZÁVĚR

Bezdrátové senzorové sítě jsou novou rozvíjející se technologií, která může být využita v mnoha aplikacích. Pomocí této technologie lze kontinuálně sledovat různé fyzickogeografické i socioekonomické charakteristiky. V rámci bakalářské práce byla tato technologie nasazena pro sledování teploty na osmi místech nacházejících se v areálu rozária Botanické zahrady v centru města Olomouce. Dále byl také vytvořen a otestován komunikační protokol a následně byla uskutečněna měření teplotních hodnot. Po seznámení se s lokalitou byla vytipována místa pro umístění uzlů. Uzly byly připevněny ke kmenům jehličnatých stromů, pod nimiž se nacházel travnatý povrch. Hodnoty naměřené jednotlivými uzly byly odesílány do brány, kde byly ukládány. Odtud byla získaná data stažena do počítače a poté analyzována.

Analýza naměřených dat probíhala ve dvou rovinách a to statistické a tematické. V rámci statistické části byla zjišťována kvalita přenosu dat mezi uzly a bránou a také byla vyhodnocena přesnost měření použitých senzorů pro měření teploty. Na základě vyhodnocení statistické části byly z každého měřeného období vybrány dva dny s nejvyšší úspěšností přenosu dat. Pro takto vybraná reprezentativní data byly vytvořeny grafy průměrných denních teplot a vývoje teplot. Dále byly také zjišťovány teplotní extrémy, teplotní amplituda a vytvořeny mapy průměrných denních teplot. Teplotní hodnoty naměřené pomocí dvou uzlů s nejvyšší přesností byly porovnány s nezávislým referenčním měřením.

Hlavním výsledkem ze statistických vyhodnocení je, že vzhledem k množství výpadků v komunikaci vyskytujících se především během podzimního měření a také značné nepřesnosti a výkyvům měření teplotních senzorů použitých u uzlů typu Smart Environment je většina výsledků v praxi nevyužitelná. Jako použitelné se jeví pouze data naměřená pomocí uzlů typu Smar Agriculture a Smart Agriculture Pro, jejichž senzory jsou schopny měřit s přesností 0,4 °C.

Výsledky této práce ukazují, že využití technologie bezdrátových senzorových sítí může být v městském prostředí komplikované. Dále také výsledky slouží jako praktické porovnání využitelnosti použitých senzorů.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ABD EL-KADER, Sherine M. a Basma M. MOHAMMAD EL-BASIONI. Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology. *Egyptian Informatics Journal*. 2013, vol. 14, issue 3. DOI: 10.1016/j.eij.2013.06.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S111086651300025X>

BARRENETXEA, Guillermo, INGELREST Francois, SCHAEFER Gunnar, VETTERLI Martin a HASSARD John. *Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring: The SensorScope Experience*. 2008 IEEE International Zurich Seminar on Communications. IEEE, 2008, vol. 8, issue 6, s. 98-101. DOI: 10.1109/IZS.2008.4497285. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4497285>

BIELSA, Alberto. *Detecting Radiation Levels in Fukushima: an example of crowdsourcing*. *Libelium - Connecting Sensors to the Cloud*. 2013. Dostupné z: [http://www.libelium.com/fukushima\\_crowdsourcing\\_radiation\\_social\\_project/](http://www.libelium.com/fukushima_crowdsourcing_radiation_social_project/)

BIELSA, Alberto. *Smart Agriculture project in Galicia to monitor vineyards with Waspnote*. *Libelium - Connecting Sensors to the Cloud*. 2012. Dostupné z: [http://www.libelium.com/smart\\_agriculture\\_vineyard\\_sensors\\_waspnote/](http://www.libelium.com/smart_agriculture_vineyard_sensors_waspnote/)

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

Botanická zahrada a rozárium výstaviště Flora Olomouc. [online]. Dostupné z: <http://www.olomoucky-kraj.com/object.php?object=61>

ČHMÚ – MĚŘENÍ A HODNOCENÍ ATMOSFÉRY A HYDROSFÉRY. Portál ČHMÚ [online]. 2014. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/publikace/60let.pdf>

Documentation | Libelium. *Libelium - Connecting Sensors to the Cloud*[online]. 2014. Dostupné z: [http://www.libelium.com/downloads/documentation/meshlium\\_datasheet.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/meshlium_datasheet.pdf)

FOTUE, David; TANONKOU, Guy-Aimé; ENGEL, Thomas. *An ad-hoc Wireless Sensor Networks with Application to Air Pollution Detection*. In: *SNA*. 2009. p. 48-53.

FRIEDMANNOVÁ, Lucie. *Klimatické mapy v atlasové tvorbě – vizualizační charakteristiky*. [online]. 2001. Dostupné z: [http://gis.zcu.cz/kartografie/konference2001/sbornik/friedmanova/Friedmannova\\_referat.htm](http://gis.zcu.cz/kartografie/konference2001/sbornik/friedmanova/Friedmannova_referat.htm)



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](http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/OSI_RM.html)

HEAVNER, Matthew J, FATLAND Dennis R, HOOD Eran a CONNOR Cathy. SEAMONSTER: A Sensor Web Technology Implementation and Testbed in Southeast Alaska. 2007. Dostupné z: [http://esto.nasa.gov/conferences/nstc2007/papers/Heavner\\_Matt\\_A1P2\\_NSTC-07-0069.pdf](http://esto.nasa.gov/conferences/nstc2007/papers/Heavner_Matt_A1P2_NSTC-07-0069.pdf)

HYNČICA, Ondřej. Bezdrátové sítě typu mesh. [online]. 2005. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=30826](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30826)

CHOI, Sukwon, KIM Nakyoung, CHA Hojung a HA Rhan. Micro Sensor Node for Air Pollutant Monitoring: Hardware and Software Issues. Sensors. 2009, vol. 9, issue 10, s. 7970-7987. DOI: 10.3390/s91007970. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/10/7970/>

IEEE - About IEEE. IEEE - The world's largest professional association for the advancement of technology [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.ieee.org/about/index.html>

JIRÁSEK, Ondřej. Senzorové sítě v enviromentálních studiích. Olomouc, 2013. diplomová práce (Mgr.). UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. Přírodovědecká fakulta

K. KHEDO, Kavi, PERSEEDOSS Rajiv a MUNGUR Avinash. A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. International Journal of Wireless. 2010-05-10, vol. 2, issue 2, s. 31-45. DOI: 10.5121/ijwmn.2010.2203. Dostupné z: <http://www.airccse.org/journal/ijwmn/0510ijwmn03.pdf>

KHEMNAR, Dnyandeo; KASAR, Amol R.; TEMBHURNIKAR, Nagesh P. WSN Based Air Pollution Monitoring System. GRIN Verlag, 2013.

KOSMERCHOCK, Steven. Wireless Sensor Network Topologies. Dostupné z: [http://k5systems.com/TP0001\\_v1.pdf](http://k5systems.com/TP0001_v1.pdf)

MA, Yajie, RICHARDS Mark, GHANEM Moustafa, GUO Yike a HASSARD John. Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London. Sensors. 2008, vol. 8, issue 6, s. 3601-3623. DOI: 10.3390/s8063601. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/6/3601/>

MIZERA, J. Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48 s.

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

OpenSense [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.opensense.ethz.ch/trac/>

PIERCE, F.J. a ELLIOTT, T.V. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008, vol. 61, issue 1, s. 32-43. DOI: 10.1016/j.compag.2007.05.007. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169907001664>

Plug & Sense! Sensor Networks made easy - Product Overview | Libelium. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-07-09]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/products/plugin-sense/technical-overview/>

PUCCINELLI, Daniele; HAENGGI, Martin. Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, 2005, 5.3: 19-31.

QUITT, Evžen. Klimatické oblasti Československa. [Praha] : Academia, 1971. *Studia geographica* ; Sv. 16. ISBN (brož.).

Sensor Web Enablement 1. Open Geospatial Consortium [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe>

Sensor Web Enablement 2. Open Geospatial Consortium [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorwebdwg>

SLUITER, R. Interpolation methods for climate data. In: [online]. 2008. Dostupné z: [http://www.snap.uaf.edu/attachments/Interpolation\\_methods\\_for\\_climate\\_data.pdf](http://www.snap.uaf.edu/attachments/Interpolation_methods_for_climate_data.pdf)

SOHRABY, Kazem, Daniel MINOLI a Taieb ZNATI. *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. Hoboken: Wiley, 2007, 307 s. ISBN 978-0-471-74300-2

STAUDEK, Jan. WSN, Wireless Sensor Networks, ZigBee. In: [online]. 2014. Dostupné z: [http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/vyuka/PA151/07\\_wpan\\_zb.pdf](http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/vyuka/PA151/07_wpan_zb.pdf)

TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 255 s. ISBN 9788024416267.

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

VYSOUDIL, Miroslav. *Meteorologie a klimatologie pro geografy*. 1. vyd. Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 232 s. ISBN 80-706-7773-2.

VYSOUDIL, Miroslav. Podnebí Olomouce. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2012, 211 s. Monografie. ISBN 9788024432854.

VYSOUDIL, Miroslav.: Meteorologie a klimatologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 281 s. ISBN 80-244-1455-4.

Waspote - Plug & Sense! - Code Generator - v02. [online]. 2015. Dostupné z: [http://www.libelium.com/development/waspote/code\\_generator](http://www.libelium.com/development/waspote/code_generator)

Waspote Plug & Sense! Sensor Guide. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. Dostupné z: [http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote\\_plug\\_and\\_sense\\_sensors\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_plug_and_sense_sensors_guide.pdf)

Waspote programming guide. [online]. 2014. vyd. Dostupné z: [http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote\\_programming\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_programming_guide.pdf)

Waspote Plug & Sense! Technical Guide. Libelium - Connecting Sensors to the Cloud [online]. Dostupné z: [http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote\\_plug\\_and\\_sense\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_plug_and_sense_technical_guide.pdf)

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

- Příloha 1 Komunikační protokol
- Příloha 2 Průměrná denní teplota 26. a 27. 9. 2014
- Příloha 3 Průměrná denní teplota 13. a 14. 12. 2014
- Příloha 4 Povolení k použití referenčních dat z internetových stránek  
<http://www.in-pocasi.cz/>

## Volné přílohy

- Příloha 5 CD

## Popis struktury CD

Adresáře:

Metadata

Text\_Prace

Vystupni\_Data (data vzniklá na základě měření v terénu)

WEB

## Příloha 1

### Komunikační protokol

```
/*
 * ----- Wasmote Pro Code Example -----
 *
 * Explanation: This is the basic Code for Wasmote Pro
 *
 * Copyright (C) 2013 Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.
 * http://www.libelium.com
 *
 * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * This program is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU General Public License
 * along with this program. If not, see
<http://www.gnu.org/licenses/>.
 */

// zahrnuti knihoven
#include <WaspSensorGas_v20.h>
#include <WaspXBee802.h>
// nastaveni sitoveho identifikatoru - PAN (Personal Area Network)
Identifier
uint8_t PANID[2]={0x12,0x34};
// nastaveni enkrypcniho klice
char* KEY="WasmoteLinkKey!";
// deklarace promennych
char CONNECTOR_A[3] = "CA";
long sequenceNumber = 0;
// ID uzlu
char nodeID[10] = "382552159";
// nastaveni jak dlouho ma uzel spat
char* sleepTime = "00:00:10:00";
char data[100];
// deklarace promennych
float connectorAFloatValue;
int connectorAIntValue;
```

```

char connectorAString[10];
// zjisteni stavu baterie
int batteryLevel;
char batteryLevelString[10];
char BATTERY[4] = "BAT";
// vytvoreni paketu
packetXBee* packet;
// zadani MAC adresy
char* macAddress="0013A200409C78D7";
void setup()
{
// zapnuti komunikacniho modulu
xbee802.ON();
// zpozdeni
delay(10);
// nastaveni komunikacniho kanalu
xbee802.setChannel(0x0C);
// nastaveni ID site
xbee802.setPAN(PANID);
// skryti enkrypcniho modulu
xbee802.setEncryptionMode(0);
// nastaveni enkrypcniho klice
xbee802.setLinkKey(KEY);
// zapsani hodnot do pameti
xbee802.writeValues();
// kompozice prenasene zpravy
packet=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
// prenosovy mod
packet->mode=UNICAST;
// destinacni parametry paketu
xbee802.setDestinationParams( packet, macAddress, "Hello, this is
Waspmote159ense!\r\n", MAC_TYPE);
// pocatecni prenosova zprava
xbee802.sendXBee(packet);
free(packet);
packet=NULL;
// vypnuti komunikacniho modulu
xbee802.OFF();
delay(10);
}
void loop()
{
// Zapnuti senzorove desky
SensorGasv20.ON();
RTC.ON();

```

```

    delay(10);
// Zapnuti a konfigurace senzoru
    SensorGasv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET4A);
    delay(10);
// Cteni dat ze senzoru
    PWR.getBatteryLevel();
    // Uroven stavu baterie
    batteryLevel = PWR.getBatteryLevel();
    // Konverze na retezec
    itoa(batteryLevel, batteryLevelString, 10);
    SensorGasv20.readValue(SENS_TEMPERATURE);
    // Cteni dat teplotniho senzoru
    connectorAFloatValue = SensorGasv20.readValue(SENS_TEMPERATURE);
    // Konverze na retezec
    Utils.float2String(connectorAFloatValue, connectorAString, 2);
// Vypnuti senzoru
    SensorGasv20.setSensorMode(SENS_OFF, SENS_SOCKET4A);
// Kompozice zpravy
sprintf(data, "I:%s#N:%li#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s:%s#%s\r\n",
        nodeID ,
        sequenceNumber,
        BATTERY, batteryLevelString,
        CONNECTOR_A , connectorAString,
    // Alokace pameti
    packet=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
    // Prenosovy mod
    packet->mode=UNICAST;
    // nastaveni destinacnich parametru
    xbee802.setDestinationParams( packet, macAddress, data, MAC_TYPE);
// zapnuti komunikacniho modu
    xbee802.ON();
// prenos zpravy
    xbee802.sendXBee(packet);
    free(packet);
    packet=NULL;
// vypnuti komunikacniho modu
    xbee802.OFF();
    delay(10);
// uvedeni do spaciho modu
    PWR.deepSleep(sleepTime,RTC_OFFSET,RTC_ALM1_MODE1,ALL_OFF);
    sequenceNumber++;
}

```



## Příloha 2

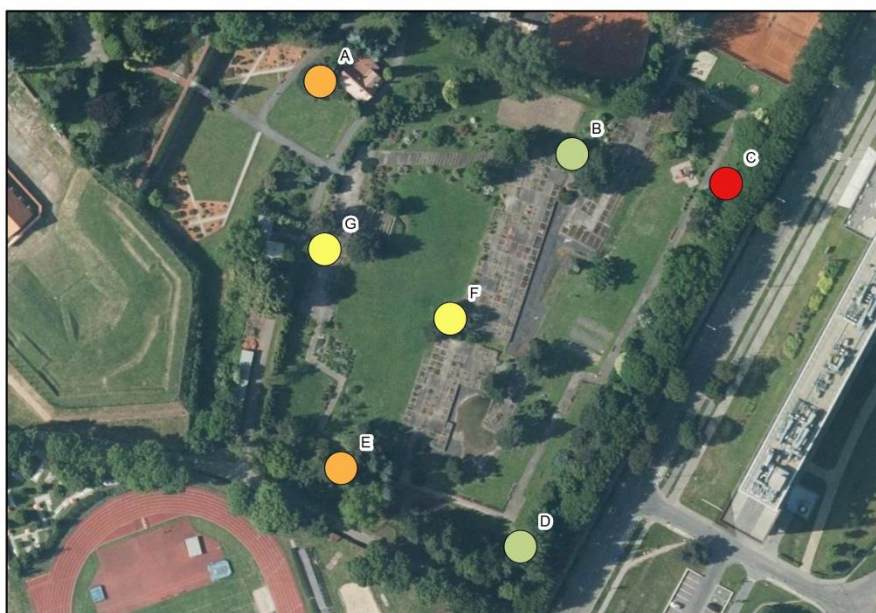
Průměrná denní teplota 26. a 27. 9. 2014

### PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 26. a 27. 9. 2014



26. 9. 2014



27. 9. 2014

0 50 100 m

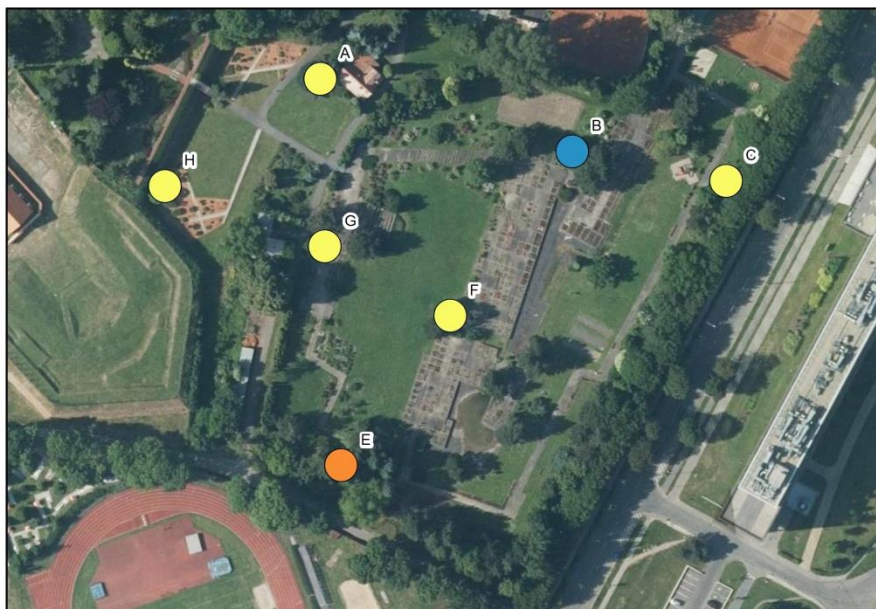
Radek DOSTÁL  
Olomouc 2015

### Příloha 3

Průměrná denní teplota 13. a 14. 12. 2014

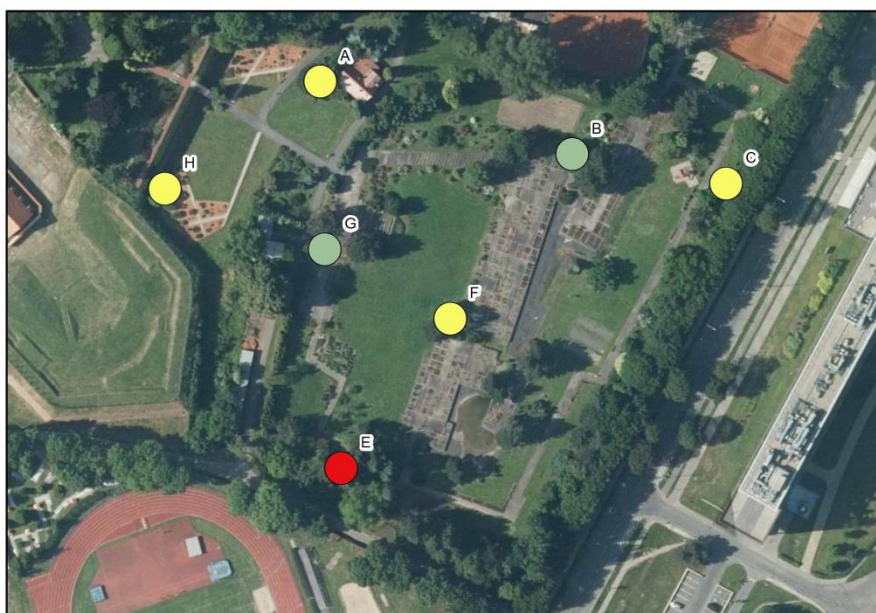
## PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 13. a 14. 12. 2014

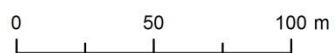


13. 12. 2014

teplota ve °C



14. 12. 2014



Radek DOSTÁL  
Olomouc 2015

## Příloha 4

Povolení k použití referenčních dat z internetových stránek <http://www.in-pocasi.cz/>



**InMeteo, s.r.o.** <[info@inmeteo.cz](mailto:info@inmeteo.cz)>

20:13 (před 1 minutou) ☆



komu: mně ▾

Dobrý den,

data uvedené na našich stránkách můžete v rámci své bakalářské práce využít (k nekomerčním účelům).

S pozdravem

David Prantl

**From:** [Radek Dostál](#)

**Sent:** Tuesday, August 11, 2015 7:54 PM

**To:** [info@inmeteo.cz](mailto:info@inmeteo.cz)

**Subject:** Potvrzení o povolení využití teplotních hodnot v rámci bakalářské práce

