

**Univerzita Palackého v Olomouci**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geoinformatiky**

**Radek DOSTÁL**

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

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Mgr. Vendula Hejlová**

**Olomouc 2014**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Venduly Hejlové.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 18. srpna 2014

---

Děkuji především vedoucí práce Mgr. Vendule Hejlové za cenné podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji RNDr., Radimu Tolaszovi, Ph.D. za připomínky k tvorbě teplotních map.

Za poskytnutá data děkuji Magistrátu města Olomouce.

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

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>9</b>
<b>2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ .....</b>	<b>10</b>
2.1 Použitá data .....	10
2.2 Použité programy .....	10
2.3 Postup zpracování .....	10
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>11</b>
<b>4 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>16</b>
4.1 Bezdrátové sensorové sítě.....	16
4.2 Topologie sítí .....	19
4.2.1 Hvězdicová topologie .....	19
4.2.2 Stromová topologie.....	19
4.2.3 MESH topologie .....	19
4.2.4 Plně propojená topologie (fully connected).....	19
4.3 Architektura bezdrátové sensorové sítě .....	21
4.3.1 Vrstvená architektura.....	21
4.3.2 Klastrová architektura.....	21
4.4 Komunikační standardy bezdrátových sensorových sítí.....	22
4.4.1 802.15.4 .....	22
4.4.2 ZigBee.....	23
4.4.3 IEEE 1451.....	23
4.4.4 ISA 100.....	23
4.4.5 WirelessHART .....	24
4.4.6 6LoWPAN .....	24
4.5 Látky znečišťující ovzduší .....	25
4.5.1 Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> ) .....	25
4.5.2 Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> ).....	25
4.5.3 Oxid uhelnatý (CO) .....	25
4.5.4 Suspendované částice frakce PM <sub>10</sub> a PM <sub>2,5</sub> .....	26
4.5.5 Benzen .....	26
4.5.6 Benzo(a)pyren.....	26
4.5.7 Přízemní ozon O <sub>3</sub> .....	26
4.5.8 Těžké kovy.....	26
4.5.9 Těkavé organické látky.....	27

4.6	Základní meteorologické prvky .....	28
4.6.1	Teplota vzduchu.....	28
4.7	Mapa rozložení teplot.....	30
4.7.1	Interpolační metody .....	30
<b>5</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>31</b>
5.1	Obecná charakteristika území .....	31
5.1.1	Klimatické poměry .....	31
5.2	Digitální model reliéfu .....	33
5.3	Waspnote Plug&Sense .....	35
5.4	Meshlium.....	36
5.5	Parametry sítě a měření teploty.....	38
5.6	Stahování a zpracování dat.....	40
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>41</b>
6.1	Teplotní charakteristiky .....	41
6.2	Mapy rozložení teplot a grafy vývoje teplot .....	42
<b>7</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
	<b>SUMMARY</b>	
	<b>PŘÍLOHY</b>	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
3G	mobilní síť třetí generace
ADC	Analog-to-Digital Converter
AQI	Air Quality Index
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DGPS	Differential Global Positioning System
DMR	digitální model reliéfu
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 různé fyzickogeografické nebo socioekonomické jevy v reálném čase. Pro účely monitorování zažívá velký rozmach technologie bezdrátových sensorových sítí. Tato relativně mladá technologie umožňuje efektivně měřit hodnoty různých veličin v reálném čase, což nám dává možnost získat data, které je dále možné analyzovat, modelovat a na jejich podkladě vytvářet predikce. Bezdrátové sensorové sítě mají široký rozsah uplatnění od domácností až po těžko dostupné lokality, 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 a znečištění ovzduší. 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 rozária Botanické zahrady výstaviště Flora v Olomouci. Naměřené hodnoty byly následně analyzovány a vizualizovány.



# 1 CÍLE PRÁCE

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

V praktické části je řešeno nasazení čtyř uzlů bezdrátové sensorové sítě s teplotními senzory, nalezení vhodného umístění a uskutečnění měření teplotních hodnot. Výstupem naměřených hodnot jsou grafy vývoje teplot, analýza naměřených teplot a sada teplotních map malého území.

## 2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

### 2.1 Použitá data

Pro účely měření teploty vzduchu pomocí bezdrátové sensorové sítě byly použity čtyři sensorové uzly od firmy Libelium, model Plug&Sense Smart Enviroment, brána Meshlium, do které byla odesílána a následně uložena veškerá naměřená data. Všechny síťové prvky byly zapojeny do hvězdicové topologie a pro bezdrátovou komunikaci mezi nimi byl zvolen komunikační protokol 802.15.4. Interval zaznamenávání teploty a probuzení sensorů byl nastaven na 10 minut.

### 2.2 Použité programy

Pro vygenerování a úpravu komunikačních protokolů byl použit program Waspnote Pro IDE - v04. Zpracování stažených dat a tvorba grafů probíhala v programu MS Excel 2010. K tvorbě mapových výstupů a vygenerování digitálního modelu reliéfu byl použit program ArcGIS 10.1. Textová část práce byla sepsána v programu MS Word 2010 a webové stránky byly vytvořeny v programu PSPad 4.5.6..

### 2.3 Postup zpracování



### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době se bezdrátové sensorové sítě využívají ve velkém množství odvětví. To je umožněno proto, že sensorové uzly jsou 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 ve státě Washington v 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, teplota půdy a vlhkost půdy. Druhá síť se nachází na úrovni jednotlivých farem a využívá se k monitorování vzniku námrazy. Sensory 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 senzorů 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 klastř 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 sensorové 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 sensorové 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 sensorových 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 sensorové 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 sensorová

sítě, 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 sensorové 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 sensorové 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 sensorové sítě RETOS: Resilient, Expandable, and Threaded Operating System for Wireless Sensor Networks (Choi a kol. 2009).

Mnoho částí Afriky, především její subsaharské oblasti, mají problémy se silně znečištěným ovzduším. Toto znečištění má mnoho zdrojů jako je průmyslová výroba, automobilová doprava, domácí spalování odpadů a 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. Sensory 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 Amtel (Khemnar, 2013).

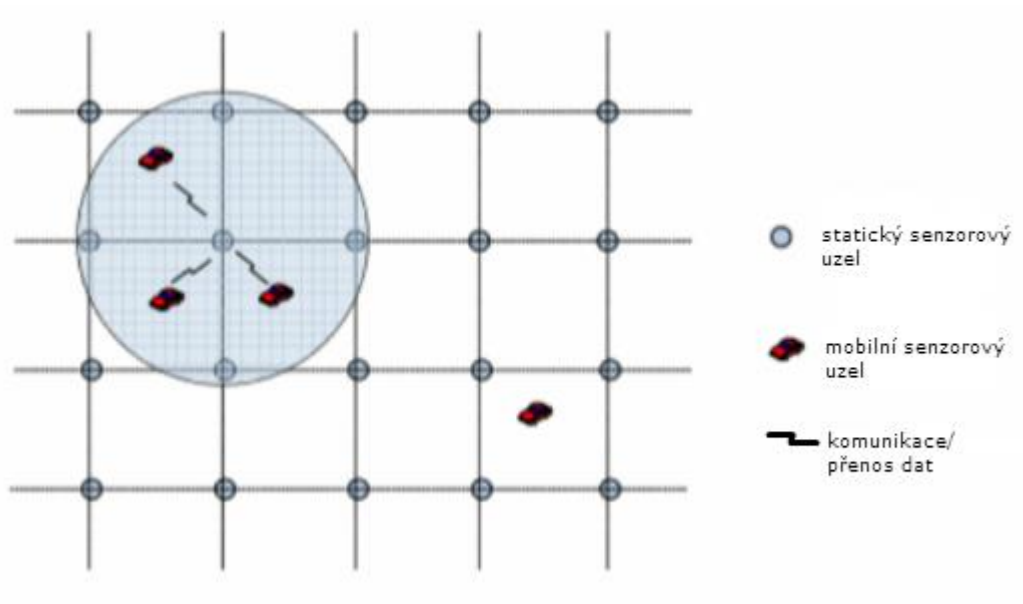
Sledování míry polutantů a hluku bylo prováděno také ve francouzském městě Cagnes sur Mer. Projekt se zabývá monitorováním prašných částic a nasazením hlukových senzorů pro mapování míry hluku v různých částech města. K snímání environmentálních charakteristik je využito multisenzorového systému GreenBee 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 sensorovými uzly může být prováděna pomocí protokolů GPRS, ZigBee, Home-Rider a CORONIS. Na základě těchto dat

mohou být 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 sensorové sítě prozatím monitoruje znečištění ovzduší ve městě Port Louis, kde je síť rozdělena do 6 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  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  a  $SO_2$ . 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 sensorových sítí na světě je nainstalována ve španělském městě Santander. V různých částech města je 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 kvantifikovaly množství látek znečišťujících ovzduší v reálném čase. Senzory GUSTO monitorují pomocí ultrafialového záření  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $NH_3$  a benzen. Síť využívá operační systém TinyOS (MA a kol. 2008).



Obr 1. Architektura MoDisNet (MA a kol. 2008)

## 4 TEORETICKÁ ČÁST

### 4.1 Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové sítě (Wireless Sensor Networks) tvoří prostorově rozmístěné uzly, ke kterým jsou připojeny senzory určené k měření fyzikálních veličin, environmentálních podmínek a socioekonomických jevů. Senzory mohou měřit teplotu, vlhkost vzduchu, množství znečišťujících látek v ovzduší, míru hluku, intenzitu světla, detekovat pohyb, volná parkovací místa atd. Díky tomu nalézají bezdrátové senzorové sítě široké uplatnění ve velkém množství odvětví lidské činnosti jako je:

- armáda – monitorování spojeneckých a nepřátelských vojsk,
- environmentální studie,
- průmysl,
- doprava,
- zdravotnictví,
- chytré domácnosti (Sohraby a kol. 2007).

Vývoj bezdrátových senzorových sítí byl zahájen v 80. letech minulého století v období studené války americkou armádou (Sohraby a kol. 2007). Od té doby prošly bezdrátové senzorové sítě velkým technologickým vývojem, jak ukazuje níže přiložená tabulka (Tab. 1).

Tab. 1 Porovnání generací uzlů bezdrátových senzorových sítí (Sohraby a kol. 2007, vlastní zpracování)

	<b>První generace (1980 – 1990)</b>	<b>Druhá generace (počátkem roku 2000)</b>	<b>Třetí generace (po roce 2000)</b>
Velikost	kufri	knihy	krabička od zápalek
Hmotnost	libry	unce	gramy
Protokoly	proprietární	proprietární	Wi-Fi, ZigBee
Napájení	velké baterie, nebo kabelem	AA baterie	solární napájení baterií
Životnosti	hodin 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 (Gateway) (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:

- rozhraní pro připojení senzorů,
- mikroprocesor,
- paměť,
- komunikační modul,
- napájecí část uzlu.

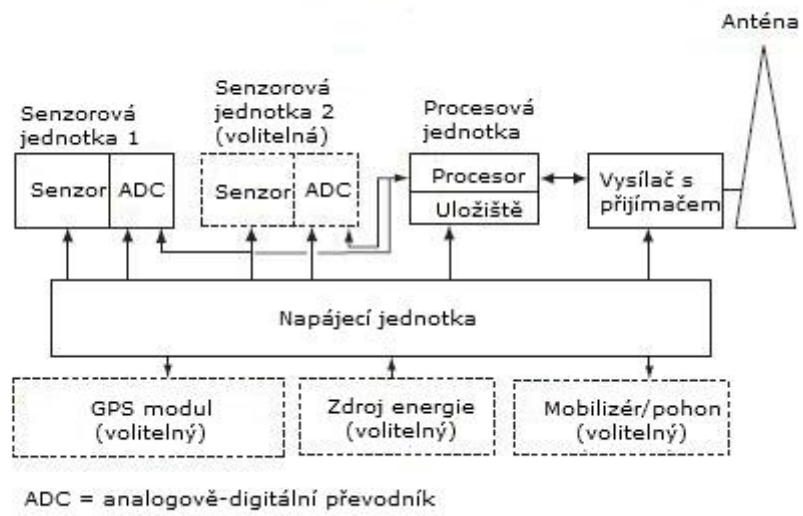
Senzorová část uzlu obsahuje senzory na snímání fyzikálních veličin nebo senzory, které reagují na chemické podněty. Senzory měří hodnoty analogově a poté je pomocí ADC převodníku převádějí na digitální záznamy. Z důvodu úspory energie senzory neměří nepřetržitě, ale přecházejí do režimu spánku. Přejít 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 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 procesoru. U levnějších zařízení se využívají 8-bitové mikroprocesory, u sofistikovanějších uzlů až 32-bitové mikroprocesory (Puccinelli a Haenggi, 2005).

Komunikační modul slouží ke komunikaci uzlu s ostatními uzly sítě. 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 umístěných na uzlech (Puccinelli a Haenggi, 2005). Uzly sítě by měly:

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



Obr. 2 Schéma uzlu bezdrátové sensorové sítě (Sohraby a kol. 2007)

## 4.2 Topologie sítí

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

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

### 4.2.1 Hvězdicová topologie

V hvězdicové topologii komunikují všechny uzly v síti přes jeden centrální komunikační směrovač. V této topologii nekomunikuje každý uzel s každým, ale všechny informace jdou přes centrální směrovač. Směrovač má funkci serveru, všechny ostatní uzly mají funkci klientů. Výhodou této topologie je její snadné nastavení a rozšiřitelnost. Nevýhodou je, že v případě výpadku centrálního směrovače přestane fungovat celá síť (Kosmerchock, 2012).

### 4.2.2 Stromová topologie

Ve stromové topologii jsou uzly rozděleny do hierarchických úrovní. Na vrcholu pyramidy se nachází uzel, který slouží jako směrovač. Tento směrovač přebírá informace od uzlů, které se nacházejí o úroveň pod ním. 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 (Kosmerchock, 2012).

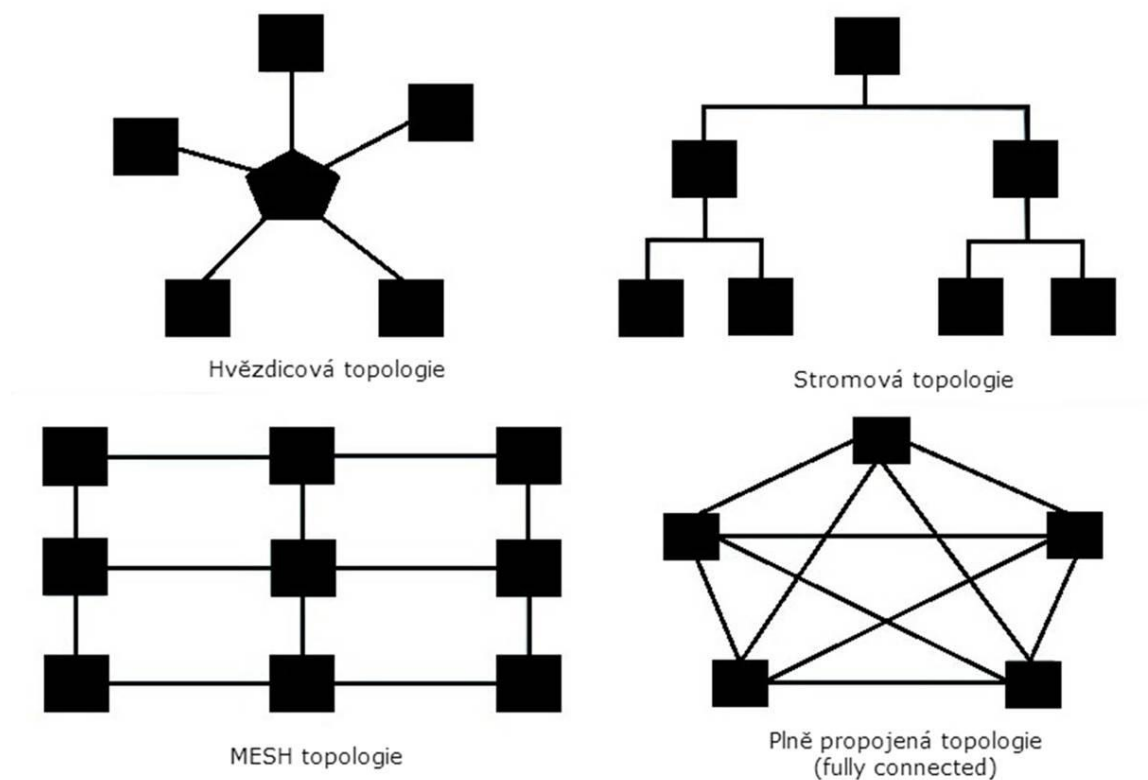
### 4.2.3 MESH topologie

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

### 4.2.4 Plně propojená topologie (fully connected)

V síti s plně propojenou topologií komunikují všechny uzly v síti navzájem mezi sebou. 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, J. Mizera 2011).



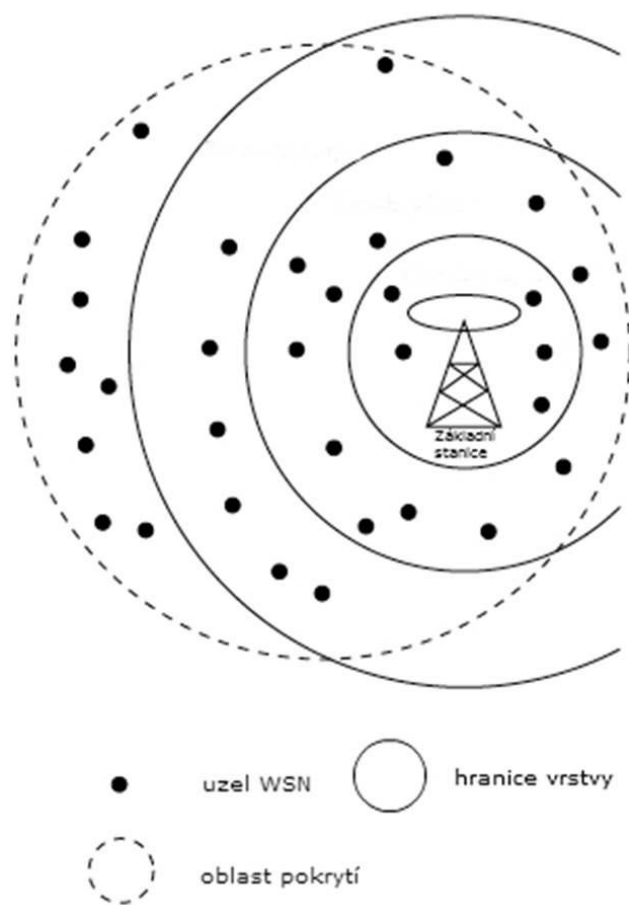
Obr. 3 Schémata topologií (zdroj: J. Mizera 2011, vlastní zpracování)

### 4.3 Architektura bezdrátové sensorové sítě

Výběr architektury bezdrátové sensorové sítě je ovlivněn faktory jako velikost sítě, požadavek na odolnost vůči chybám, nebo spotřeba elektrické energie.

#### 4.3.1 Vrstvená architektura

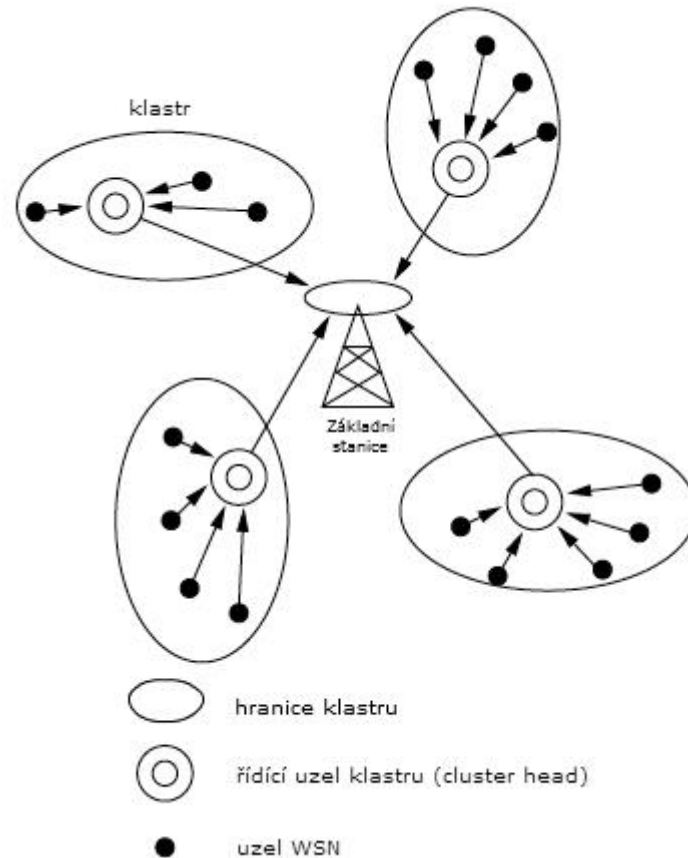
Sítě s vrstvenou architekturou mají jednu základní stanici, kolem které jsou uzly sítě rozmístěny v koncentrických vrstvách. Data z uzlů, které se nachází ve vzdálenějších vrstvách od základnové stanice, jsou přeposílána přes bližší vrstvy způsobem multi-hop až do základní stanice. Výhodou vrstvené architektury je, že každý uzel posílá data na krátkou vzdálenost do sousední vrstvy, což snižuje spotřebu elektrické energie při přenosu dat (Murthy, 2004).



Obr. 4 Vrstvená architektura (Murthy, 2004)

#### 4.3.2 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. V klastrové architektuře lze hierarchicky vytvořit velmi rozsáhlou síť (Murthy, 2004).



Obr. 5 Klastrová architektura (Murthy, 2004)

## 4.4 Komunikační standardy bezdrátových sensorových sítí

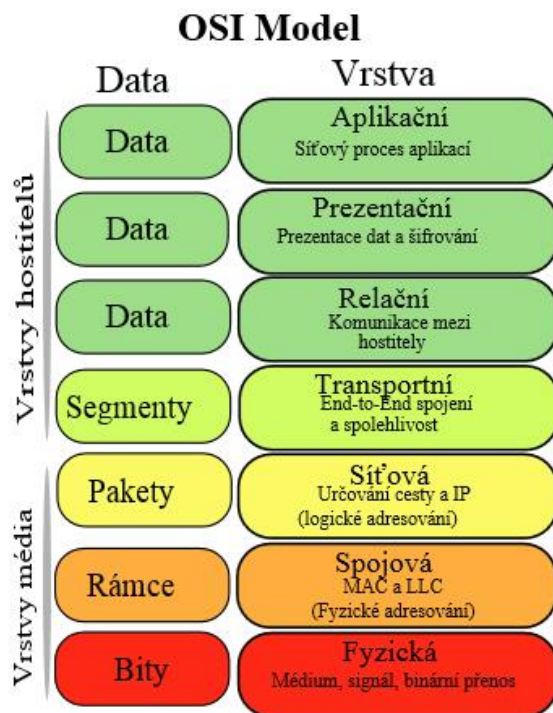
Vývojem komunikačních standardů pro bezdrátové sensorové sítě se zabývá několik organizací. Jednou z nejvýznamnějších je organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Pro komunikaci bezdrátových sensorových sítí se v dnešní době využívají tyto standardy:

- 802.15.4.,
- ZigBee,
- IEEE 1451,
- ISA 100,
- WirelessHART,
- 6LoWPAN (J. Staudek, 2014).

### 4.4.1 802.15.4

Standard vytvořený IEEE, který specifikuje fyzickou a linkovou vrstvu modelu OSI, který je využíván u nízko rychlostních zařízení s požadavky na nízkou spotřebu energie. 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 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 (J. Staudek, 2014, J. Mizera, 2011).



Obr. 6 Referenční model OSI (zdroj: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Osi-model-jb-cz.svg>)

#### 4.4.2 ZigBee

Standard vytvořený ZigBee alliance. ZigBee je založen na 802.15.4 a rozšiřuje jej o definici síťové a transportní vrstvy. Umožňuje komunikaci mezi uzly na větší vzdálenost (zhruba do 75m) bez přímé viditelnosti mezi uzly. To je umožněno díky využití komunikace typu multi-hop (J. Mizera, 2011).

#### 4.4.3 IEEE 1451

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

#### 4.4.4 ISA 100

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

#### **4.4.5 WirelessHART**

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

#### **4.4.6 6LoWPAN**

Označení tohoto standardu je zkratkou IPv6 over Low power Personal Area Networks. Protokol je postaven na standardu 802.15.4. Připojení uzlů bezdrátové sensorové 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 802.15.4 (J. Mizera, 2011).



## 4.5 Látky znečišťující ovzduší

S rostoucí intenzitou dopravy, rozvojem průmyslové výroby, povrchovou těžbou a spalováním fosilních paliv v energetickém průmyslu dochází k nárůstu množství škodlivých látek vypuštěných do ovzduší. Přítomnost těchto škodlivin v ovzduší je příčinou vzniku skleníkového efektu a smogových situací především v průmyslových oblastech a velkých městech s intenzivní automobilovou dopravou. Je velmi důležité monitorovat množství těchto látek v ovzduší a snažit se o snížení jejich produkce.

### 4.5.1 Oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>)

Hlavním producentem oxidu siřičitého je spalování fosilních paliv v tepelných elektrárnách a teplárnách, které ke spalování využívají topné oleje a uhlí s vysokým obsahem síry. V přírodě je tento plyn produkován především vulkanickou činností a oceány. Oxid siřičitý v atmosféře oxiduje s kyslíkem za přítomnosti vody na kyselinu sírovou a je jednou z hlavních příčin vzniku kyselých dešťů. Kyselé deště okyselují půdy, vodní toky a vodní plochy, snižují viditelnost a urychlují korozivní procesy. Oxid siřičitý také reaguje s chlorofylem nacházejícím se v rostlinách a narušuje tak proces fotosyntézy. Povolený imisní limit pro tuto látku je 200 µg/m<sup>3</sup> (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

### 4.5.2 Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>)

Při sledování kvality ovzduší se oxid dusičitý nachází pod termínem oxidy dusíku NO<sub>x</sub>, který souhrnně označuje směs oxidu dusnatého NO a oxidu dusičitého NO<sub>2</sub>. Imisní limit pro ochranu zdraví lidí je stanoven pro NO<sub>2</sub>, limit pro ochranu ekosystémů a vegetace je stanoven pro NO<sub>x</sub>. Stejně jako u oxidu siřičitého, je hlavním producentem NO<sub>x</sub> lidská činnost, především silniční, letecká a vodní doprava a spalovací procesy. Z globálního pohledu je významná také přírodní produkce NO<sub>x</sub>, který je produkován převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Oxid dusičitý je součástí kyselých dešťů a také přispívá současně s kyslíkem a organickými těkavými látkami ke vzniku přízemního ozonu a tzv. fotochemického smogu (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

### 4.5.3 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je jedním z nejvýznamnějších a kvůli své jedovatosti jedním z nejnebezpečnějších vzdušných polutantů. Vzniká při nedokonalém spalování fosilních paliv. Největšími producenty jsou silniční doprava, lokální topeniště, energetický a metalurgický průmysl. Po povinném zavedení řízených katalyzátorů u vozidel s benzínovými motory se emise oxidu uhelnatého snižují. Vystavení vysokým koncentracím oxidu uhelnatého je smrtelné (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### 4.5.4 Suspendované částice frakce PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>

Suspendované částice, které se nacházejí v ovzduší, je možno rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou z přírodních zdrojů, nebo lidskou činností emitovány přímo do ovzduší. Sekundární částice vznikají téměř výhradně lidskou činností. Nejvýznamnějšími producenty prachových částic jsou spalovací procesy, tavení rud, cementárny, vápenky, lomy, ale také například plochy zbavené vegetačního pokryvu. Významným producentem jsou také diesellové motory, kde vznikají prachové částice nedokonalým spalováním nafty. Specifické označení částic se odvozuje od jejich velikosti – označení částice PM<sub>10</sub> znamená, že částice polétavého prachu dosahují velikosti 10 mikrometrů. Čím menší průměr částice mají, tím delší dobu se udržují v atmosféře. Denní imisní limit je 50 µg/m<sup>3</sup>, jeho překročení je tolerováno maximálně 35 dní v roce (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### 4.5.5 Benzen

Tato látka se řadí do kategorie aromatických uhlovodíků. Hlavním zdrojem aromatických uhlovodíků, zejména benzenu a jeho alkyl derivátů jsou především zplodiny z benzínových motorů. Dalším zdrojem emisí jsou výpary, které vznikají při manipulaci, skladování a distribuci benzínu (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### 4.5.6 Benzo(a)pyren

Tuto látku stejně jako benzen řadíme do kategorie aromatických uhlovodíků a jsou u ní prokázány karcinogenní účinky na lidský organismus. Producentem benzo(a)pyrenu je především nedokonalé spalování fosilních paliv, domácí topeniště, spalovací motory a některé technologické postupy jako výroba železa a výroba koksu. Benzo(a)pyren se nejčastěji přenáší částicemi polétavého prachu menší než PM<sub>2,5</sub>. Tyto částice se v ovzduší udržují po dlouho dobu, což umožňuje rozšíření této látky na velké vzdálenosti (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### 4.5.7 Přízemní ozon O<sub>3</sub>

Přízemní ozon vzniká složitou soustavou chemických reakcí v atmosféře, které probíhají za účinku intenzivního slunečního záření. Ozon jako takový nemá žádný významný emisní zdroj, jeho tvorbu je možné přičíst především silniční dopravě a spalování fosilních paliv, jelikož vznik ozonu je podmíněn chemickými reakcemi uhlovodíků a oxidů dusíku. Přízemní ozon je oproti troposférickému ozonu, který funguje jako ochranná vrstva Země, velmi škodlivý pro živé organismy a rostliny. U rostlin snižuje schopnost absorpce oxidu uhličitého, který poté zůstává v atmosféře. Tento fakt může napomáhat urychlování klimatických změn (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### 4.5.8 Těžké kovy

Do skupiny těžkých kovů, které se vyskytují v atmosféře, řadíme arsen, kadmium, olovo a nikl. Všechny tyto kovy se do ovzduší dostávají především antropogenní činností, především spalovacími procesy, hutnictvím a těžbou těchto látek. V přírodě dochází

k emisím látek nejčastěji při vulkanické činnosti. Těžké kovy jsou v ovzduší obvykle přenášeny s pomocí částic polétavého prachu. S výjimkou olova, u kterého nedošlo k dostatečné prokazatelnosti, jsou tyto těžké kovy karcinogenní (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

#### **4.5.9 Těkavé organické látky**

Těkavé organické látky se do ovzduší dostávají především spalováním pohonných hmot, výrobou, zpracováním a používáním barev, rozpouštědel a chemických produktů. Společně s oxidy dusíku přispívají k tvorbě přízemního ozonu (Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s.).

## 4.6 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.

### 4.6.1 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 činitele:

- typ počasí – při radiačním 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 – závislost mezi charakterem georeliéfu a teplotní amplitudou je vyjádřena Vojkojevovým zákonem (Vysoudil, 1997, s. 62).

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:

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

Na základě naměřených teplotních hodnot je možné určit typy dnů s určitou teplotní charakteristikou. Typy dnů jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2).

Tab. 2 Typy dnů s charakteristickými teplotami (zdroj: Vysoudil, 2006)

<b>Název dne</b>	<b>Charakteristika</b>
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

## 4.7 Mapa rozložení teplot

Teplotní mapy jsou primárně využívány pro znázornění rozložení a změny teploty v prostoru. Vzhledem k tomu, že teplota je spojitý jev a je měřena omezeným počtem měřicích stanic, je potřeba ostatní hodnoty interpolovat. 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 izotermny (Friedmannová, 2001).

Jelikož rozložení teplot nedodrhuje 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).

### 4.7.1 Interpolační metody

Jak již bylo výše zmíněno, teplota je spojitý jev, který je měřen pouze v omezeném množství bodů. Ostatní hodnoty v území je nutné interpolovat pomocí některé z interpolačních metod. Interpolační metody dělíme 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.

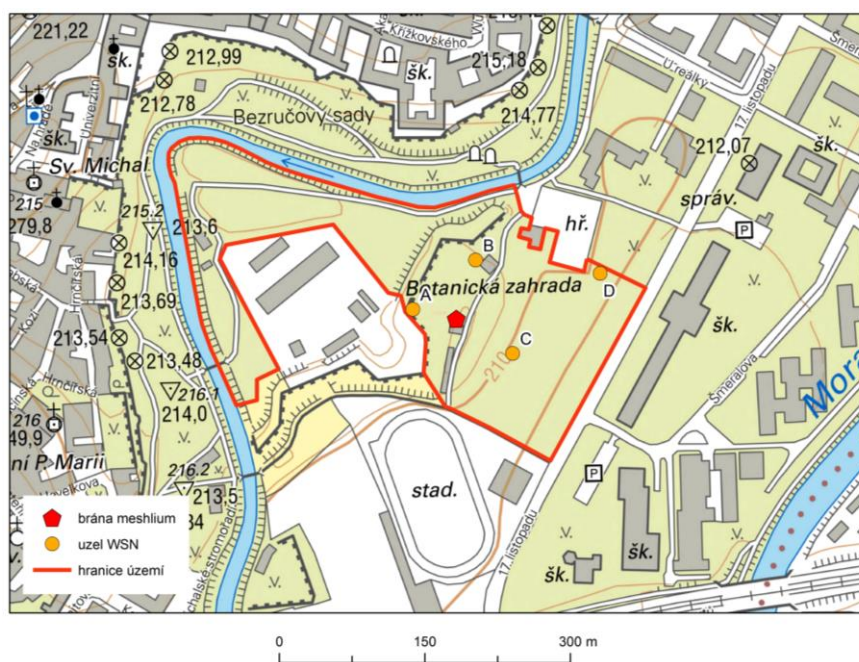
Exaktní interpolační metody zachovávají původní naměřené hodnoty teplot v bodech měření. Aproximující interpolační metody je zachovávat nemusejí.

Nelze obecně říci, která interpolační metoda je pro interpolaci teplota a meteorologických dat nejvhodnější. Nejčastěji využívanými metodami jsou kriging, spline a IDW. Vždy ale záleží na konkrétním případě (Sluiter, 2008).

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

### 5.1 Obecná charakteristika území

Pro měření teploty byl vybrán areál rozária Botanické zahrady výstaviště Flora v Olomouci, který se nachází naproti hlavní budovy Přírodovědecké fakulty UP. 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. 7 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))

#### 5.1.1 Klimatické poměry

Město Olomouc, jako součást Hornomoravského úvalu spadá podle klimatického členění E. Quitta (1971) do teplé klimatické oblasti T2. Tato oblast 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.

Tab. 3 Klimatické charakteristiky oblasti T2 (Quitt, 1971)

<b>Charakteristiky</b>	<b>Klimatická oblast T2</b>
Počet letních dnů	50 – 60
Počet dnů s průměrnou teplotou > 10°C	160 – 170
Počet mrazových dnů	100 – 170
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 příkrývkou	40 – 50
Počet dnů zamračených	120 – 140
Počet dnů jasných	40 – 50

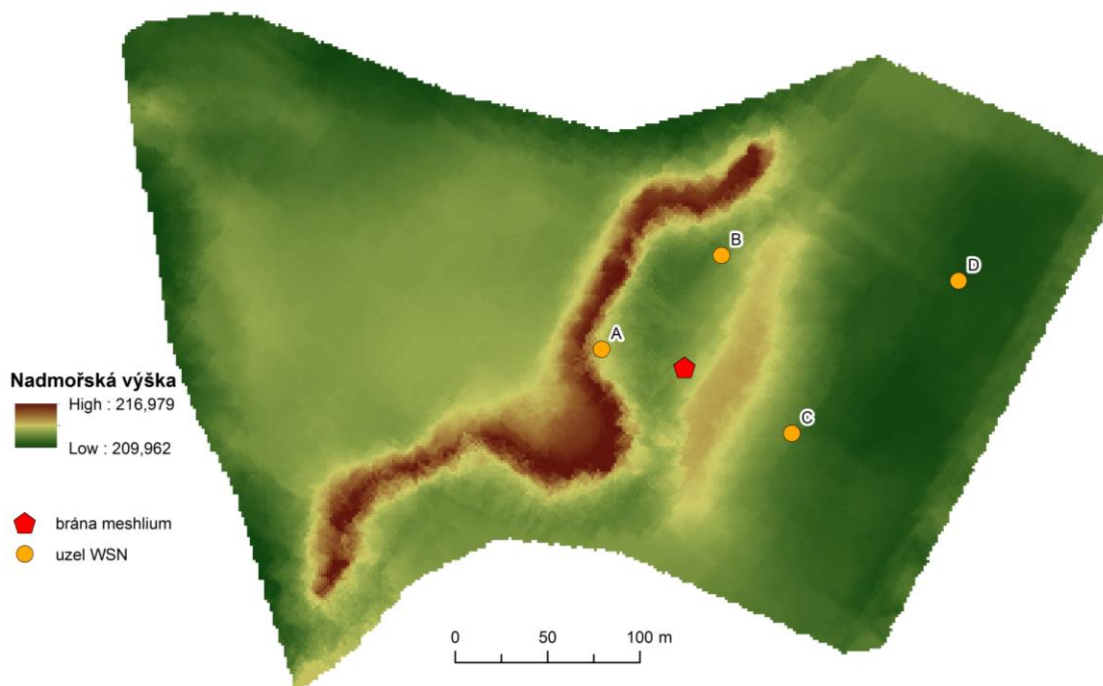


## 5.2 Digitální model reliéfu

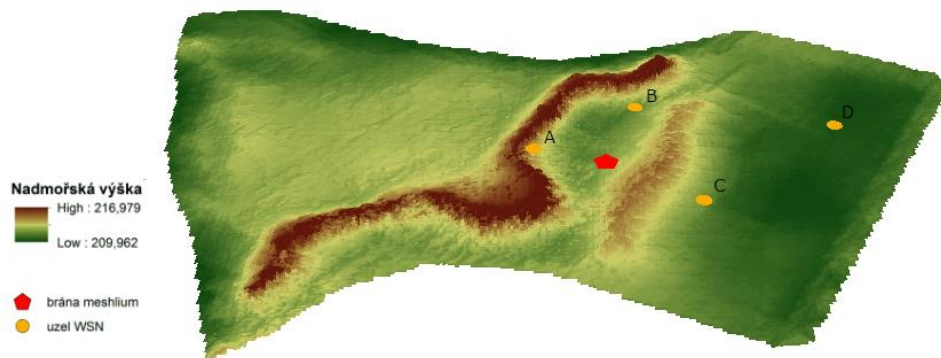
Digitální model reliéfu (DMR) je digitální reprezentací georeliéfu. Skládá se z množiny bodů, reprezentující nadmořskou výšku a interpolačního algoritmu, který umožňuje odvozovat nadmořské výšky v libovolném bodě uvnitř modelované oblasti. Na rozdíl od digitálního modelu povrchu, digitální model reliéfu nezahrnuje přírodní ani antropogenní prvky krajiny jako je vegetace a zástavba (Vojtek, 2013).

V rámci bakalářské práce byl vytvořen rastrový digitální model reliéfu. Rastrový model se nazývá grid. Rastrový model tvoří buňky rastru, které reprezentují plošku se stejnou hodnotou nadmořské výšky (Vojtek, 2013).

Pro tvorbu DMR byla Magistrátem města Olomouce poskytnuta datová sada geodeticky zaměřených bodů pokrývající celý areál botanické zahrady. Rastrový model byl vytvářen v programu ArcGIS 10.1 pomocí extenze Geostatistical Analyst. Pro tvorbu byla zvolena geostatistická interpolační metoda kriging s nastaveným sférickým semivariogramem.



Obr. 8 Digitální model reliéfu botanické zahrady v Olomouci (zdroj: Magistrát města Olomouce, vlastní tvorba)



Obr. 9 Digitální model reliéfu botanické zahrady ve 3D (Magistrát města Olomouce, vlastní tvorba)

### 5.3 Wasmote Plug&Sense

Plug&Sense je produktová řada senzorových zařízení pro bezdrátové senzorové sítě určené pro použití ve venkovních podmínkách od španělské společnosti Libelium. Produktová řada Plug&Sense se skládá z modelů:

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

Pro model Smart Enviroment, který byl použit pro měření teploty, je typická odolnost vůči vnějším okolním vlivům, snadná instalace přístroje a snadná výměna senzorových sond. Veškerá elektronika je uschována v robustním těle, které disponuje stupněm krytí proti vniknutí vody pevných částic IP 65. Přístroj je možné velmi snadno nainstalovat na sloup veřejného osvětlení nebo na kmen stromu pomocí kovových pásků, které jsou součástí balení. V závislosti na tom, jakými disponujeme senzorovými sondami, můžeme pomocí modelu Smart Enviroment měřit např. teplotu a vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a míru koncentrace vzdušných polutantů.

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

Napájení je zajištěno pomocí baterie, která může být dobíjena pomocí solárního panelu. Ten může být umístěn buďto přímo na čelní straně přístroje, nebo na speciálních kovových držadlech pod úhlem 45° pro lepší zisk sluneční energie (Plug & Sense! Sensor Networks made easy - Product Overview, 2014).



Obr. 10 Libelium Plug&Sense Smart Environment

## 5.4 Meshlium

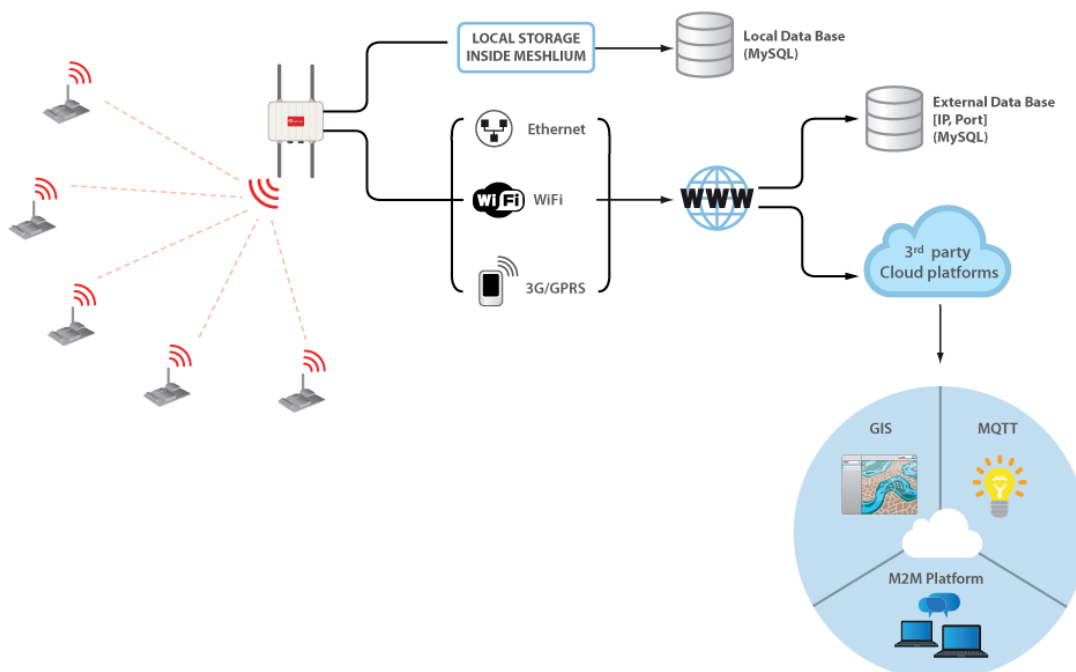
Meshlium je linuxový router, který slouží jako brána (gateway) u bezdrátových sensorových sítí tvořených přístroji Waspote a Plug&Sense. Router je uložen v robustním hliníkovém těle se stupněm krytí IP 65. To umožňuje jeho použití jak ve vnitřních, tak ve venkovních podmínkách, kde může být vystaven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

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



Obr. 11 Libelium Meshlium (zdroj: <http://www.libelium.com/es/110730734925/>)

Data naměřená uzly bezdrátové senzorové sítě jsou odesílána do brány Meshlium, kde jsou uložena v lokální databázi. Odtud mohou být uživatelem stažena, nebo dále přeposílána, jak znázorňuje obr. 10.

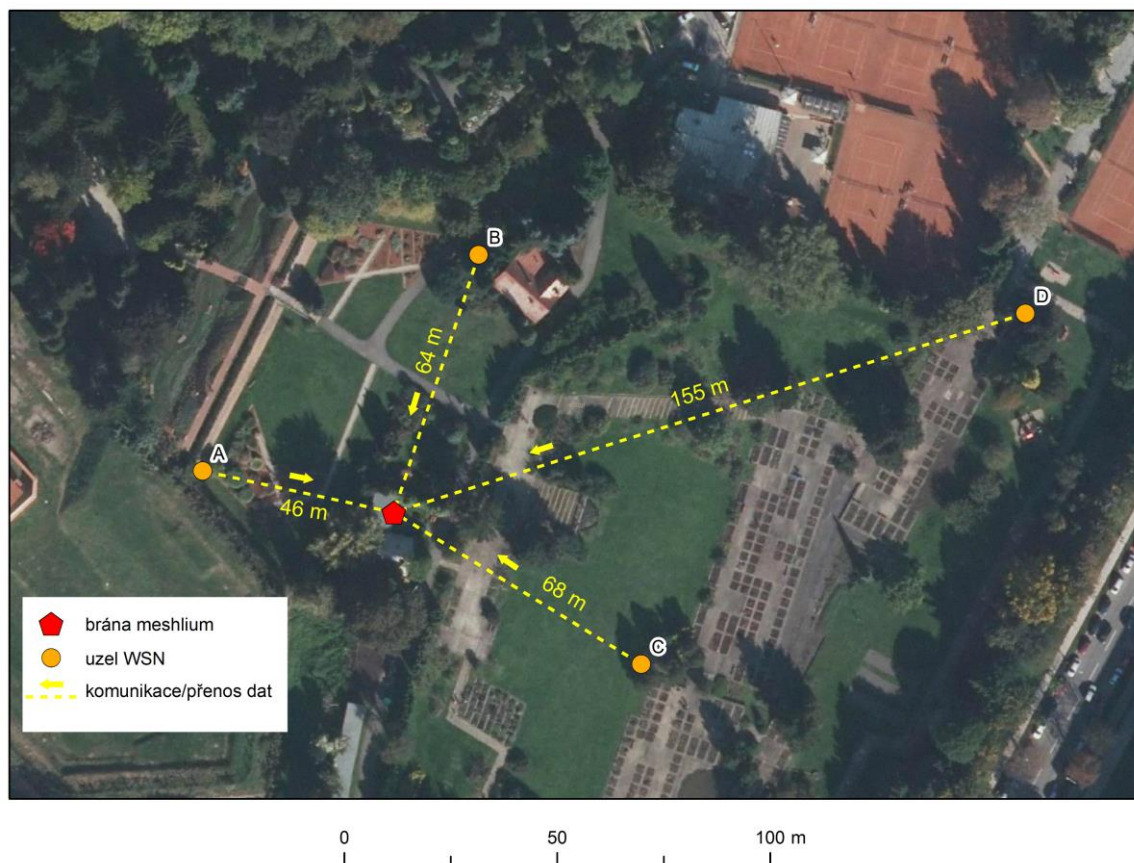


Obr. 12 Schéma možností uložení dat (zdroj: <http://www.libelium.com/products/meshlium/wsn/>)



## 5.5 Parametry sítě a měření teploty

Všechny sensorové uzly byly připevněny ke kmenům stromů pomocí kovových pásků, které jsou součástí balení, do výšky 2 metry nad zemský povrch a orientovány na jihozápad. Na sensorové sondy byla nainstalována stínítka, aby nedocházelo k ovlivnění měření přímým slunečním zářením. Pro snazší identifikaci byly uzly označeny písmeny A, B, C a D. Uzel A je umístěn v blízkosti hradeb, které jej kryjí ze západní a jihozápadní strany. Uzel B je umístěn uprostřed stromové vegetace v blízkosti hradby, která jej kryje ze severozápadní strany a zděné budovy, která jej kryje z východní strany. Uzly C a D se nacházejí na osamocených stromech na volném prostranství. Brána Meshlium byla umístěna po domluvě s pracovníky Botanické zahrady do budovy technického zázemí, která se v zahradě nachází. Bylo tak zajištěno její ukrytí před krádeží, nepříznivými povětrnostními vlivy a zároveň umístění do středu hvězdicové topologie. Vzhledem k tomu, že bezdrátová sensorová síť byla tvořena čtyřmi uzly, které byly rozmístěny v komunikačním dosahu brány, byla pro tuto síť zvolena jednoduchá hvězdicová topologie a naměřená data byla z uzlů odesílána přímo do brány, kde byla poté uložena.



Obr. 13 Topologie nasazené sítě (zdroj: WMS poskytované ČUZK, zdroj: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ORTOFOTO\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx), vlastní zpracování)

Jako komunikační protokol byl zvolen standard 802.15.4, který komunikuje na frekvenci 2,4 GHz. Zdrojový kód protokolu byl vygenerován pomocí generátoru kódů a následně upraven a dle požadavků na aplikaci dopsán v programu Waspnote Pro IDE -

v04. Tento kód řídí komunikaci uzlů s bránou a také procesy uvnitř uzlu, jako intervaly měření. Ve vygenerovaném kódu bylo nutné nastavit ID uzlů v síti nastavit všechny síťové prvky na stejný komunikační kanál. Dále bylo nutné nastavit MAC adresu brány, aby do ní byla naměřená data směrována a interval měření teploty, který byl nastaven na 10 minut.



```
char* macAddress="0013A200409C78D7";

void setup()
{
  // Step 4. Communication module to ON

  xbee802.ON();
  // wait for a second
  delay(10);

  xbee802.setChannel(0x0C);

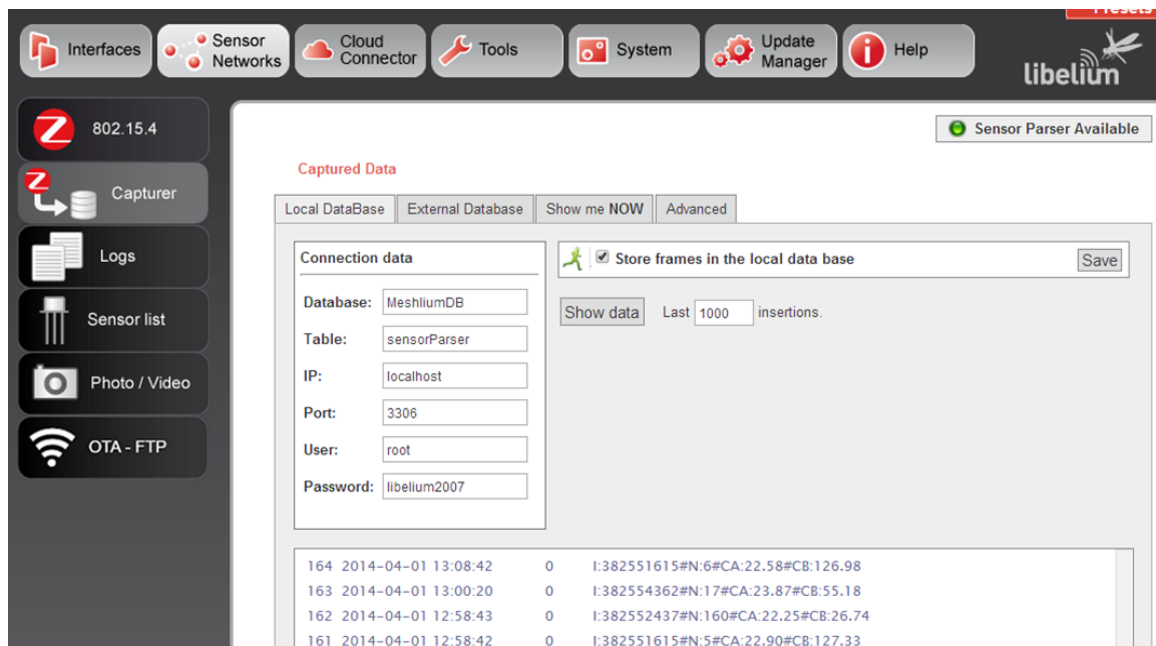
  //////////////////////////////////////
  // 2. set PANID
  //////////////////////////////////////
  xbee802.setPAN(PANID);

  //////////////////////////////////////
  // 3. set encryption mode (1:enable; 0:disable)
  //////////////////////////////////////
  xbee802.setEncryptionMode(0);
```

Obr. 14 Ukázka zdrojového kódu protokolu v prostředí Waspnote Pro IDE - v04

## 5.6 Stahování a zpracování dat

Po připojení brány k počítači pomocí WiFi byla data stažena do počítače. Každý záznam uzlu se skládá z ID uzlu, ID měření, času měření, ID rámce, označení senzoru a naměřené hodnoty. Proto bylo nutné tyto stažená data upravit v programu MS Excel a získat pouze teplotní hodnoty, které je možné dále zpracovávat. V prvním kroku bylo nutné vyfiltrovat záznamy pro jednotlivé uzly podle jejich ID. V druhém kroku následovalo vyfiltrování teplotních hodnot z jednotlivých záznamů měření.



Obr. 15 Ukázka prostředí klienta brány Meshlium a naměřených dat

Po vyfiltrování teplotních hodnot byly provedeny výpočty průměrných denních teplot, vytvoření grafů vývoje teplot v hodinových intervalech pro jednotlivé měřené dny a tvorba teplotních map. Teplotní mapy byly vytvořeny z průměrných denních hodnot teplot, které byly vypočteny pro jednotlivé uzly a z nich následně interpolovány teplotní mapy.

Pro tvorbu teplotních map byly testovány interpolační metody IDW, spline a kriging s různými parametry. Pro zvolené území poskytovala nejvhodnější výsledky metoda IDW s parametrem  $p=2$ . IDW (Inverse Distance Weighting) je deterministická interpolační metoda, která je založena na principu, že jevy, které jsou v prostoru blíže k sobě, se více podobají než jevy, které jsou prostorově vzdálenější. Pro určení hodnot v rastru se používá vážený průměr hodnot bodů v okolí. Váha se určuje pomocí inverzních vzdáleností od bodu. Tato váha je upravována parametrem  $p$ , který nám určuje, jak rychle dochází ke změně váhy se vzdáleností od bodu (Křikavová, 2009).



## 6 VÝSLEDKY

### 6.1 Teplotní charakteristiky

Teplotní hodnoty byly měřeny v období 9. 4. – 13. 4. 2014. Z naměřených dat byly vypočteny průměrné denní teploty pro každý uzel. Tyto vypočtené hodnoty se poté staly zdrojem dat pro tvorbu teplotních map. Jako další teplotní charakteristika byly z naměřených dat zjišťovány teplotní extrémny. U uzlu s označením D je tato charakteristika ovlivněna občasnými výpadky uzlu, což se projevuje výrazně odlišnými hodnotami, než jsou ostatní extrémní hodnoty u ostatních uzlů.

Tab. 4 Průměrné denní teploty za sledované období

<b>Průměrné denní teploty ve °C</b>				
<b>datum</b>	<b>uzel A</b>	<b>uzel B</b>	<b>uzel C</b>	<b>uzel D</b>
9.4.2014	7,66	7,09	6,68	6,28
10.4.2014	7,09	7,09	5,95	5,95
11.4.2014	6,53	7,07	5,48	5,70
12.4.2014	8,62	8,61	7,90	7,76
13.4.2014	7,34	7,58	6,61	7,90

Tab. 5 Teplotní minima za sledované období

<b>Teplotní minima ve °C</b>				
<b>datum</b>	<b>uzel A</b>	<b>uzel B</b>	<b>uzel C</b>	<b>uzel D</b>
9.4.2014	3,22	4,51	2,90	2,90
10.4.2014	3,54	3,87	2,58	2,58
11.4.2014	0,32	1,29	0,00	0,00
12.4.2014	1,93	2,12	1,29	2,58
13.4.2014	0,96	1,93	0,32	3,87

Tab. 6 Teplotní maxima za sledované období

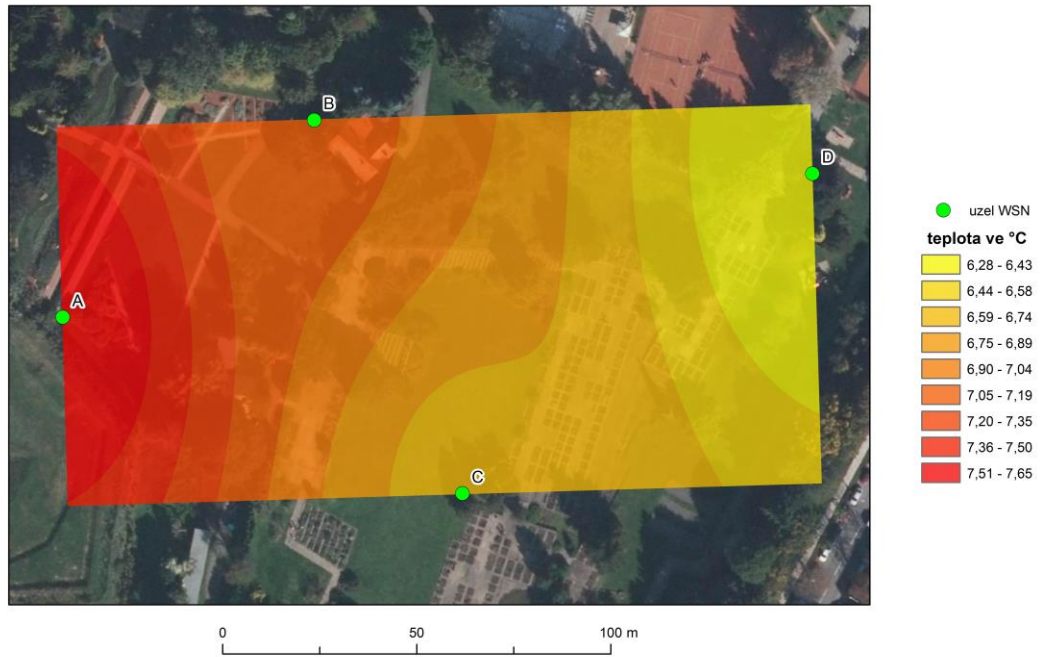
Teplotní maxima ve °C				
datum	uzel A	uzel B	uzel C	uzel D
9.4.2014	15,16	14,19	11,61	13,87
10.4.2014	13,54	12,25	10,96	10,32
11.4.2014	15,48	19,67	12,25	15,16
12.4.2014	18,38	17,09	14,83	16,77
13.4.2014	14,51	14,83	14,19	16,45

## 6.2 Mapy rozložení teplot a grafy vývoje teplot

Z naměřených hodnot byly pomocí metody IDW interpolovány mapy rozložení teplot. Byly vytvořeny mapy zachycující průměrné denní teploty a mapy vývoje teplot, které zachycují rozložení teplot v 7, 14, 21 a 24 hodin. Pro každý sledovaný den vytvořen byl graf vývoje teplot na každém uzlu, který zaznamenává teplotní hodnoty v hodinových intervalech. V grafech je možné nalézt výkyvy hodnot (viz. graf 1 a nejvyšší teplota v 1:00), které poukazují na chybně naměřenou hodnotu teploty. Tyto chyby by měly být detekovány a odstraněny z dalších hlubších analýz, aby nezkreslovaly výsledky. U grafů vývoje teplot chybí z důvodu výpadků komunikace poměrně velká část teplotních záznamů pro uzel D, což znemožňuje sledování přesného vývoje teplot na tomto uzlu.

Na obrázku 16 je znázorněna mapa rozložení průměrných denních teplot 9. 4. 2014. Je patrné, že tento den se soustřeďovaly vyšší teploty v okolí uzlů A a B. Na obrázku 17 je znázorněna mapa vývoje teplot. S výjimkou 14. a 21. hodiny se nejvyšší teploty soustřeďovaly v okolí uzlů A a B. Ve 14 hodin se nejvyšší teploty soustřeďovaly pouze kolem uzlu A. Ve 21 hodin se nejvyšší teploty soustřeďovaly nejvíce kolem uzlu C. Graf 1 ukazuje vývoj teplot pro 9. 4. 2014. V tento den byla nejvyšší teplota 14 °C. Tato hodnota byla naměřena uzlem D v čase 1 hodina a také uzlem A v čase 14:30. Naopak nejnižší teplota 2,9 °C, byla zaznamenána uzlem D po 23. hodině.

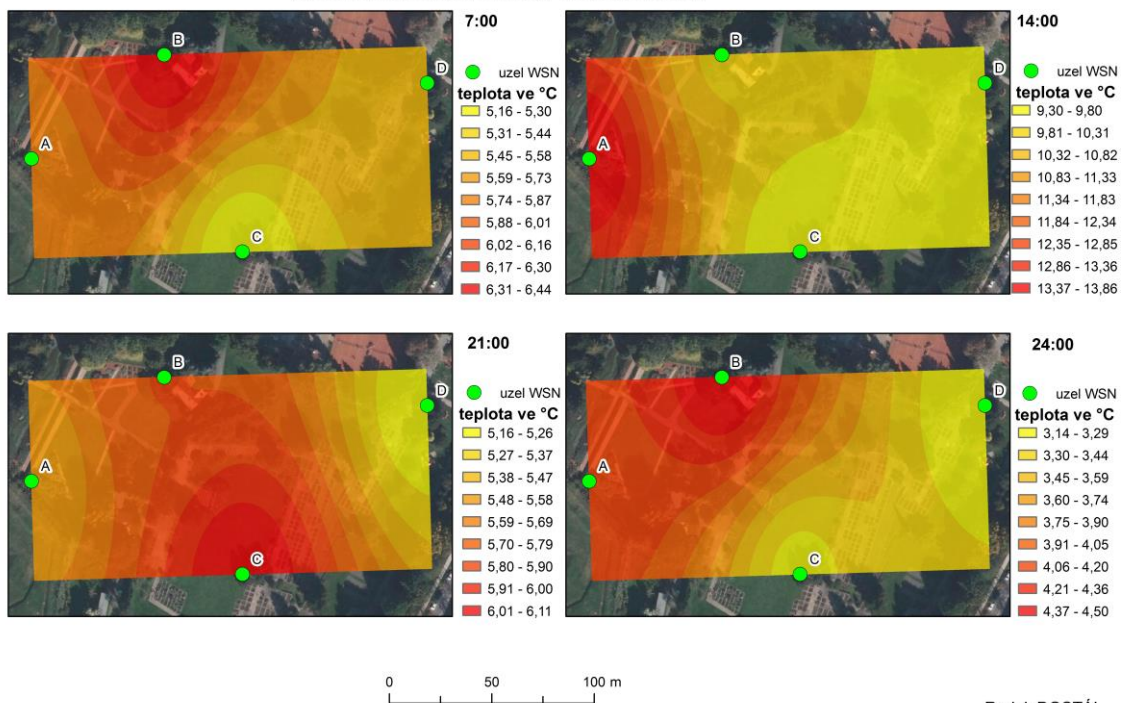
**PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA**  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 9. 4. 2014



Radek DOSTÁL  
Olomouc 2014

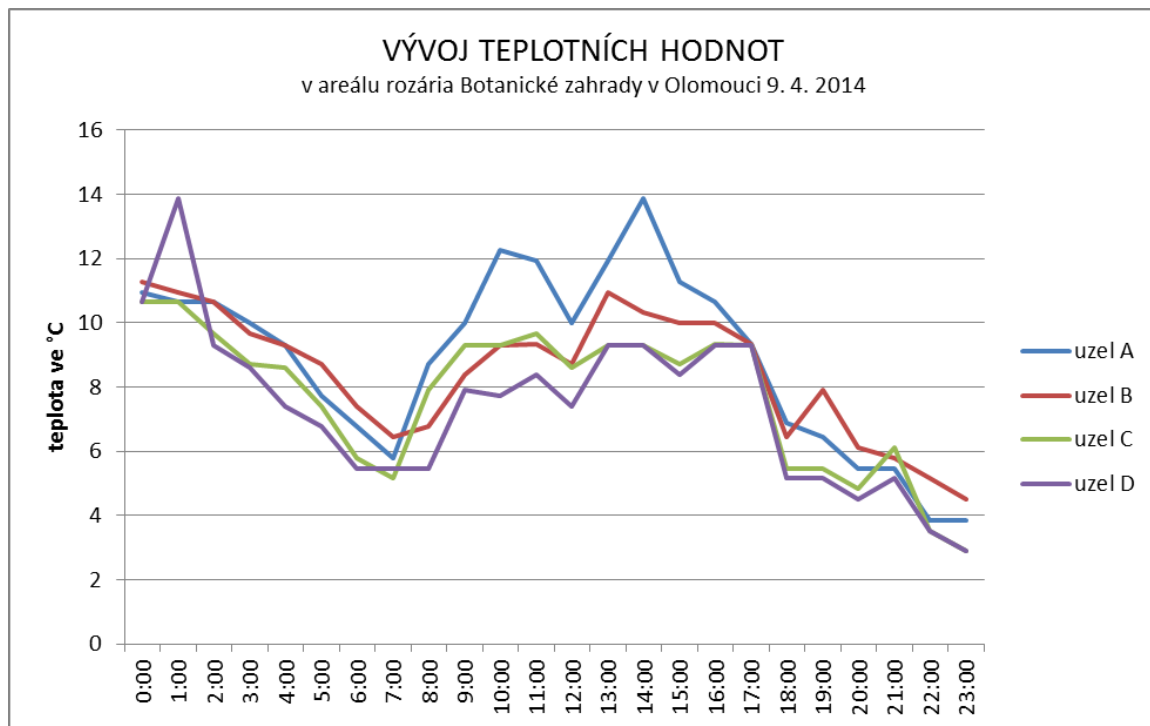
Obr. 16 Průměrná denní teplota 9. 4. 2014

**VÝVOJ TEPLOTNÍCH HODNOT**  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 9. 4. 2014



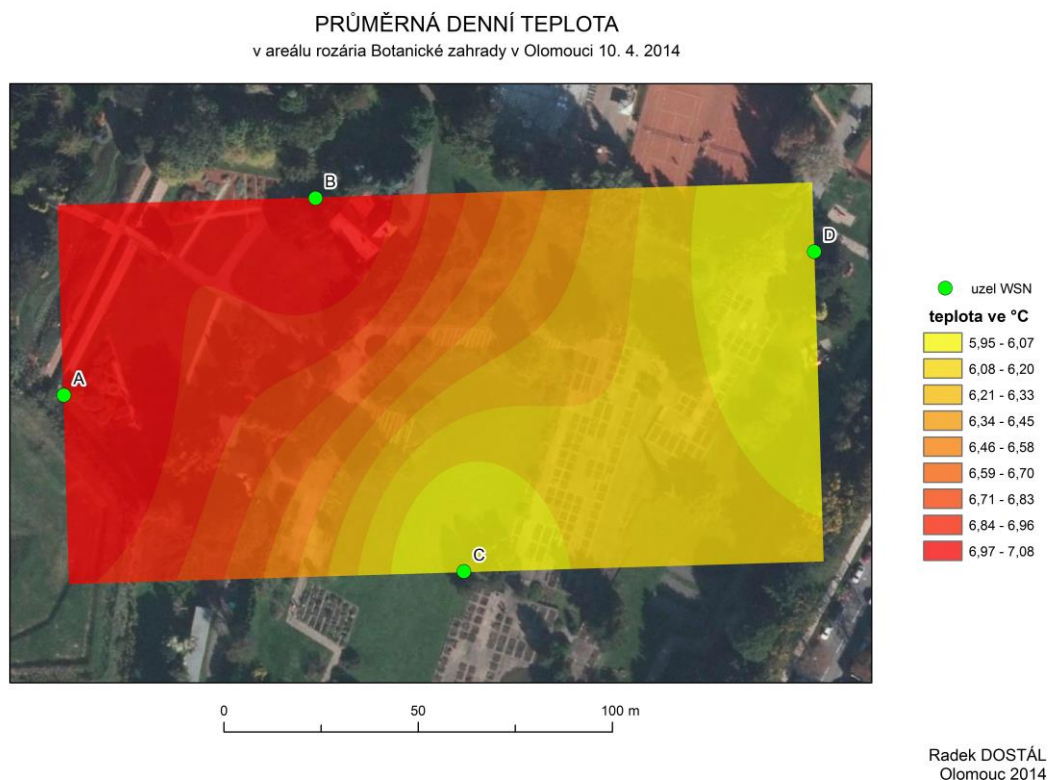
Radek DOSTÁL  
Olomouc 2014

Obr. 17 Vývoj teplot 9. 4. 2014



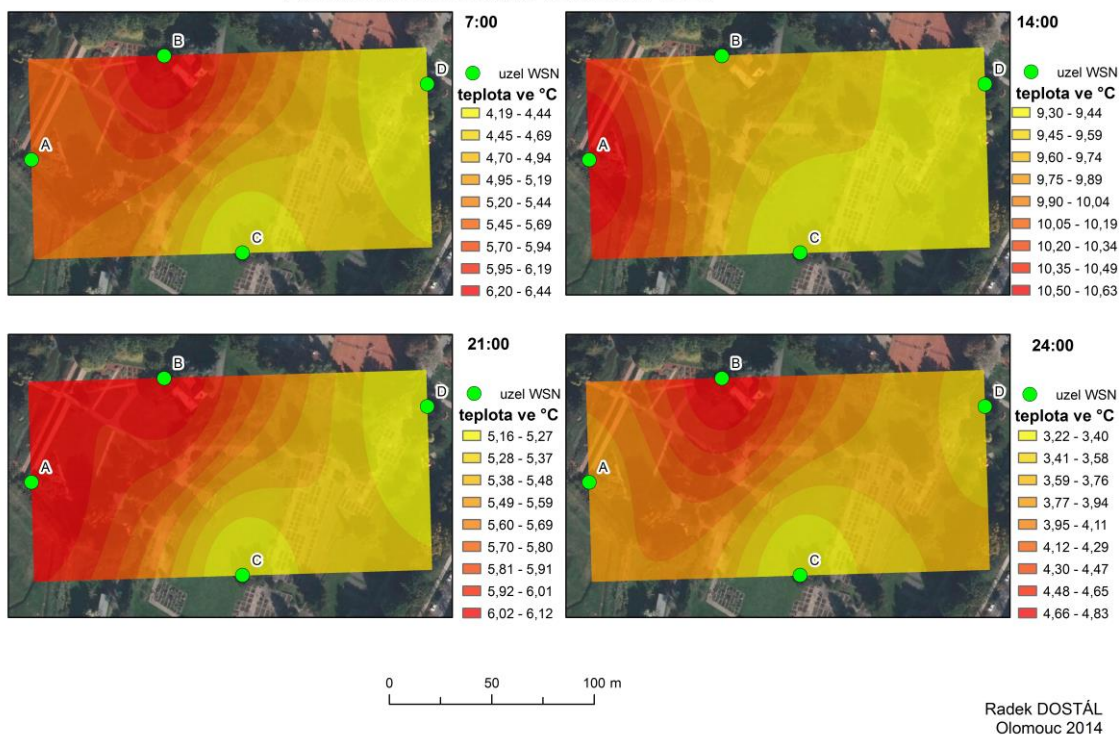
Graf 1: Vývoj teplot 9. 4. 2014

Z mapy průměrných denních teplot pro 10. 4. 2014 (obr. 18) je patrné, že nejvyšší teploty se soustředí v místech kolem uzlů A, B. Mapa vývoje teplot (obr. 19) ukazuje, že nejvyšší teploty se v průběhu dne nacházely v okolí uzlů A, B a nejnižší v okolí uzlů C, D. Graf 2 znázorňuje vývoj teplot dne 10. 4. 2014. Nejvyšší teplota vystoupala na 12 °C a byla zaznamenána po 13. hodině uzlem A. Nejnižší teplota, která v tento den činila 2,9 °C, byla dosažena v brzkých ranních hodinách. Tyto hodnoty byly naměřeny jak uzlem C po 2. hodině, tak uzlem D ve 3 hodiny ráno.

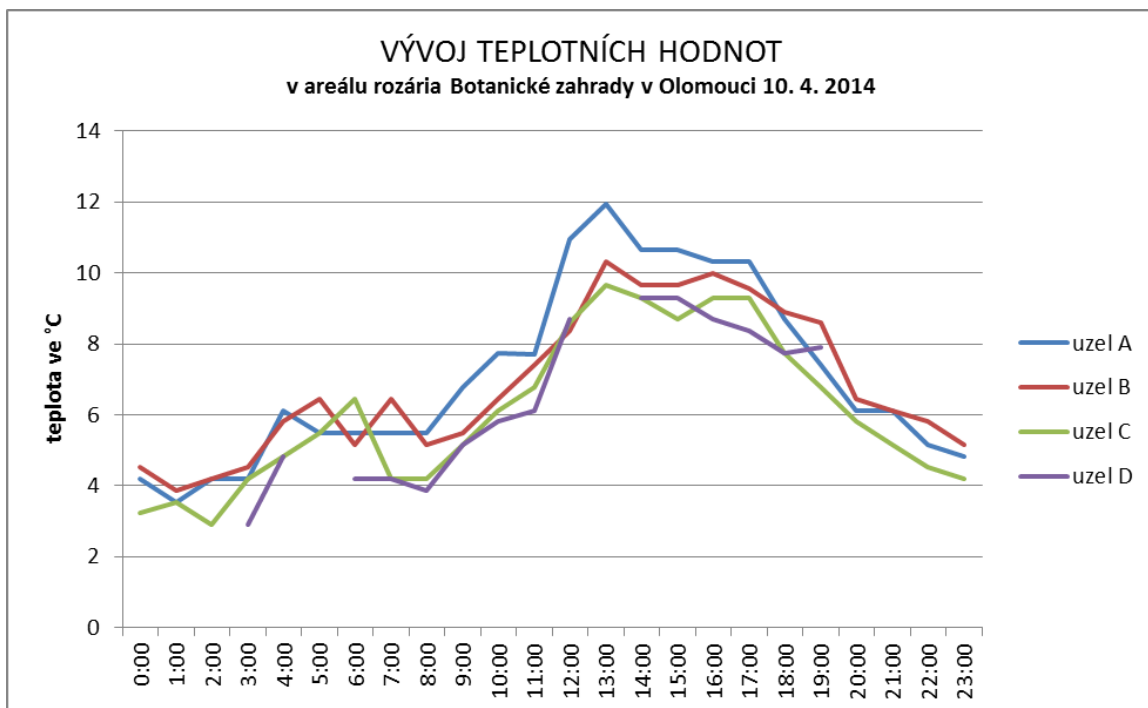


Obr. 18 Průměrná denní teplota 10. 4. 2014

VÝVOJ TEPLOTNÍCH HODNOT  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 10. 4. 2014



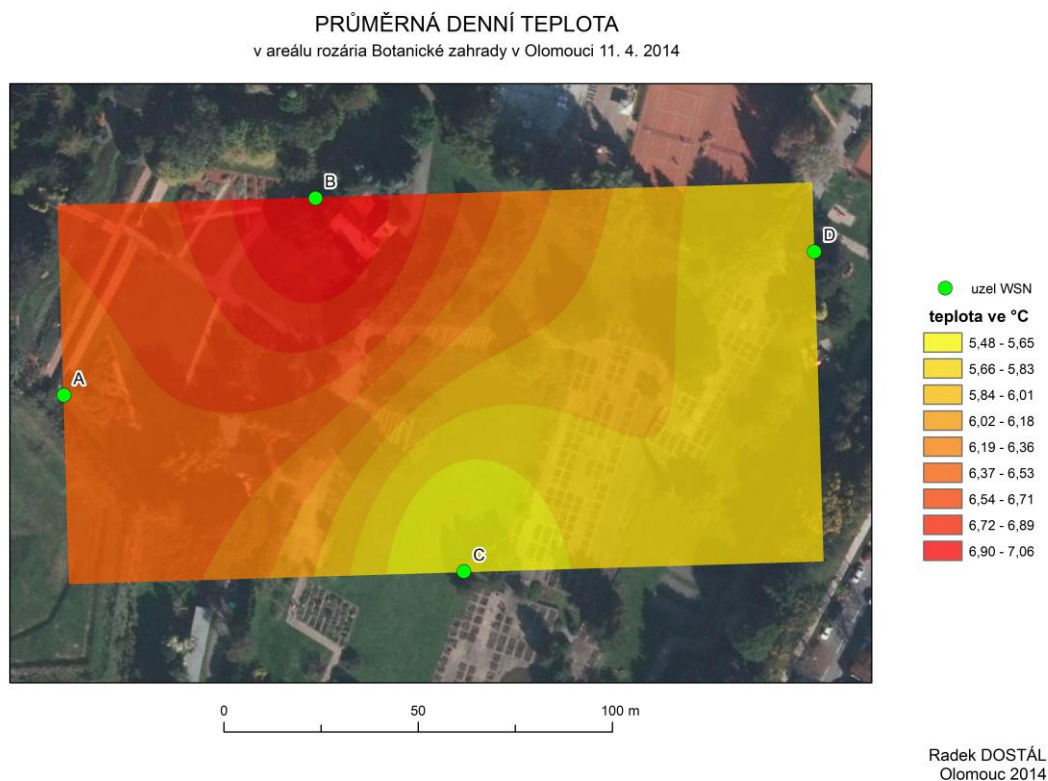
Obr. 19 Vývoj teplot 10. 4. 2014



Graf 2: Vývoj teplot 10.4. 2014

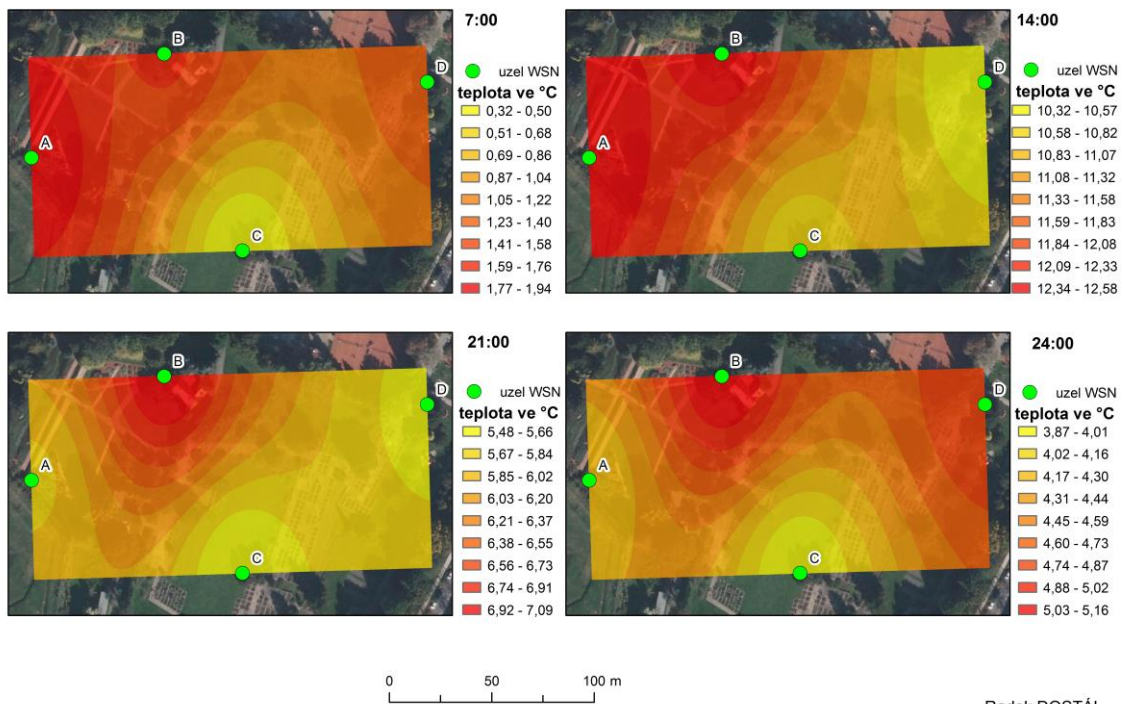


Mapa průměrných denních teplot pro 11. 4. 2014 (obr. 20) ukazuje, že nejvyšší průměrná teplota se nachází okolo uzlu B a nejnižší průměrná teplota se nachází v okolí uzlu C. Mapa vývoje teplot (obr. 21) ukazuje v 7 a 14 hodin výskyt nejvyšší teploty v okolí uzlu A, B a nejnižší v okolí uzlu C, D. Ve 21 a 24 hodin dochází k poklesu teploty v okolí uzlu A. Na grafu 3 je zaznamenán vývoj teplot pro 11. 4. 2014. V tento den byla nejvyšší teplota 19,67 °C a byla naměřena v 15:00 hodin. Tuto teplotu zaznamenal uzel B. Nejnižší teploty v tento den, tedy 0,0 °C, bylo dosaženo po 6. hodině. Tato hodnota byla naměřena uzlem C.

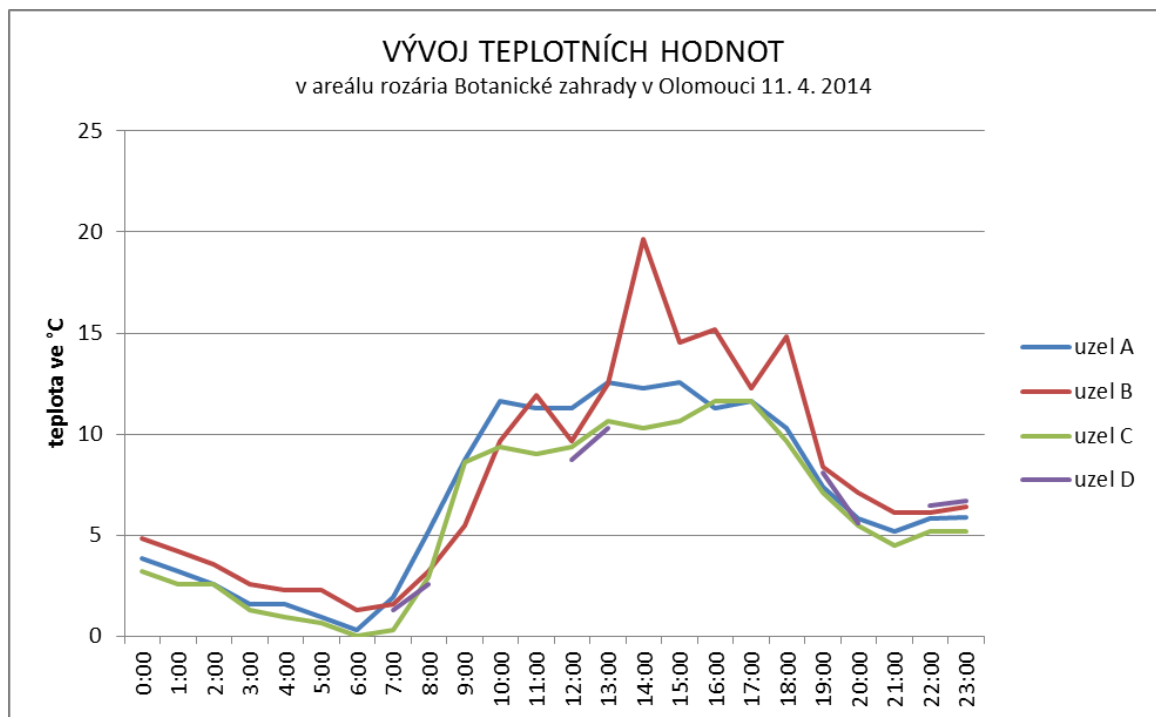


Obr. 20 Průměrná denní teplota 11. 4. 2014

VÝVOJ TEPLOTNÍCH HODNOT  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 11. 4. 2014



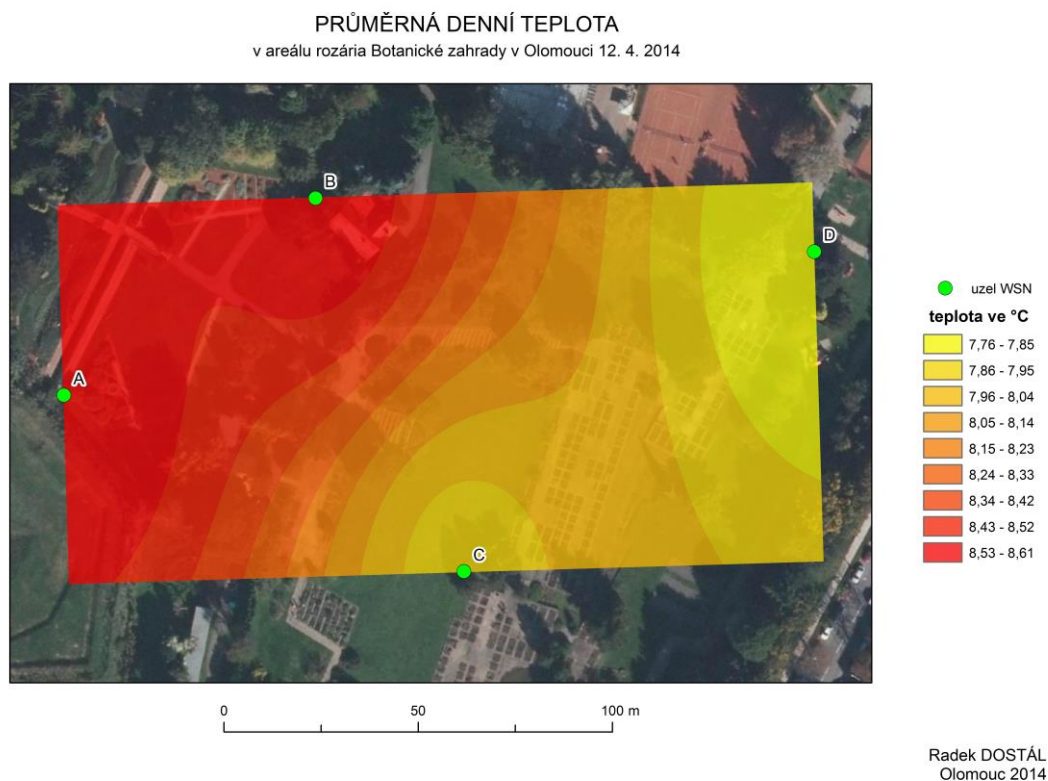
Obr. 21 Vývoj teplot 11. 4. 2014



Graf 3: Vývoj teplot 11.4. 2014

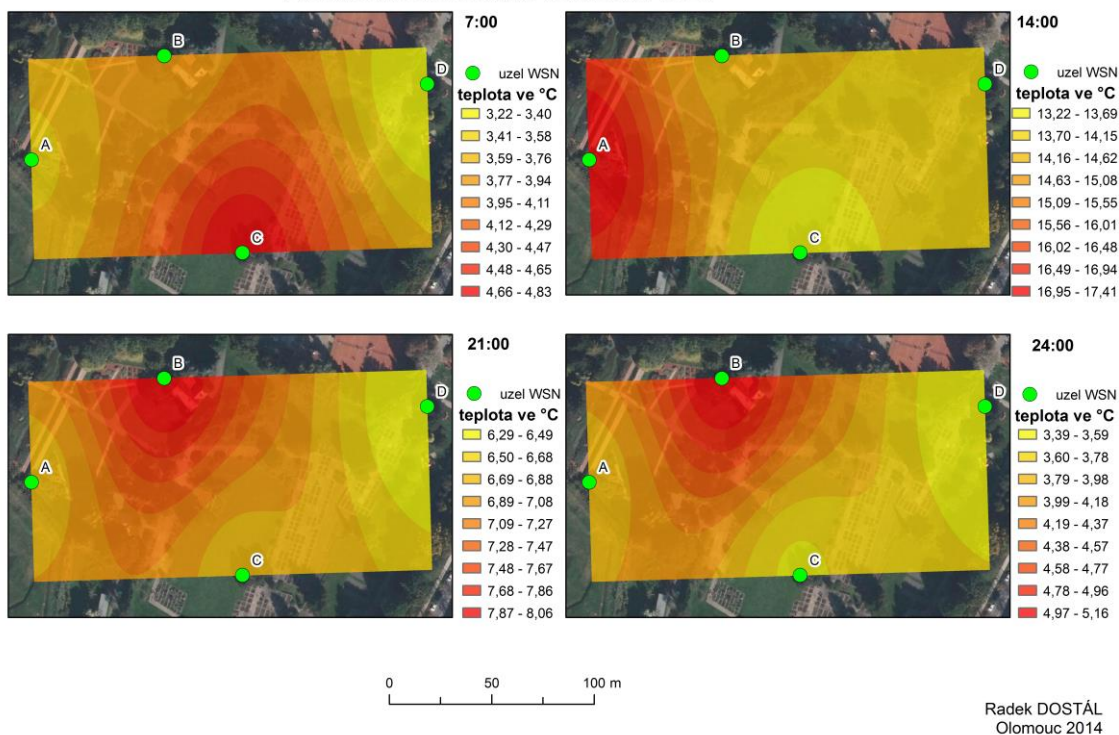


Mapa průměrných denních teplot 12. 4. 2014 (obr. 22) zaznamenává nejvyšší hodnoty v okolí uzlu A, B a nejnižší teploty jsou sledovány v okolí uzlů C, D. Mapa vývoje teplot (obr. 23) ukazuje výskyt nejvyšší teploty ve všech sledovaných časech pouze kolem jednoho uzlu a to v 7 hodin u uzlu C, ve 14 hodin u uzlu A a ve 21 a 24 hodin u uzlu B, u ostatních uzlů jsou sledované teploty nižší. Graf 4 ukazuje vývoj teplot pro 12. 4. 2014. Nejvyšší teplota (17,41 °C) byla naměřena 15:00 hodin. Tato teplota byla zaznamenána uzlem A. Uzlem C byla naopak mezi časy 4:50 až 5:10 zaznamenána nejnižší teplota, a to 1,29 °C.

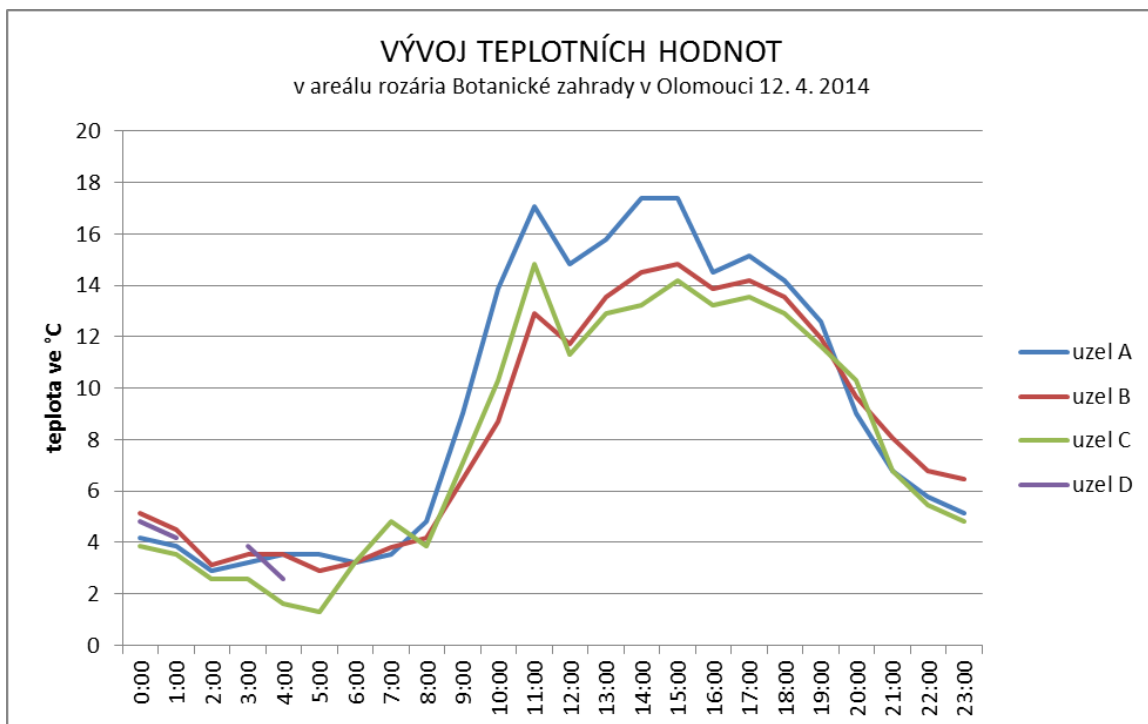


Obr. 22 Průměrná denní teplota 12. 4. 2014

VÝVOJ TEPLOTNÍCH HODNOT  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 12. 4. 2014

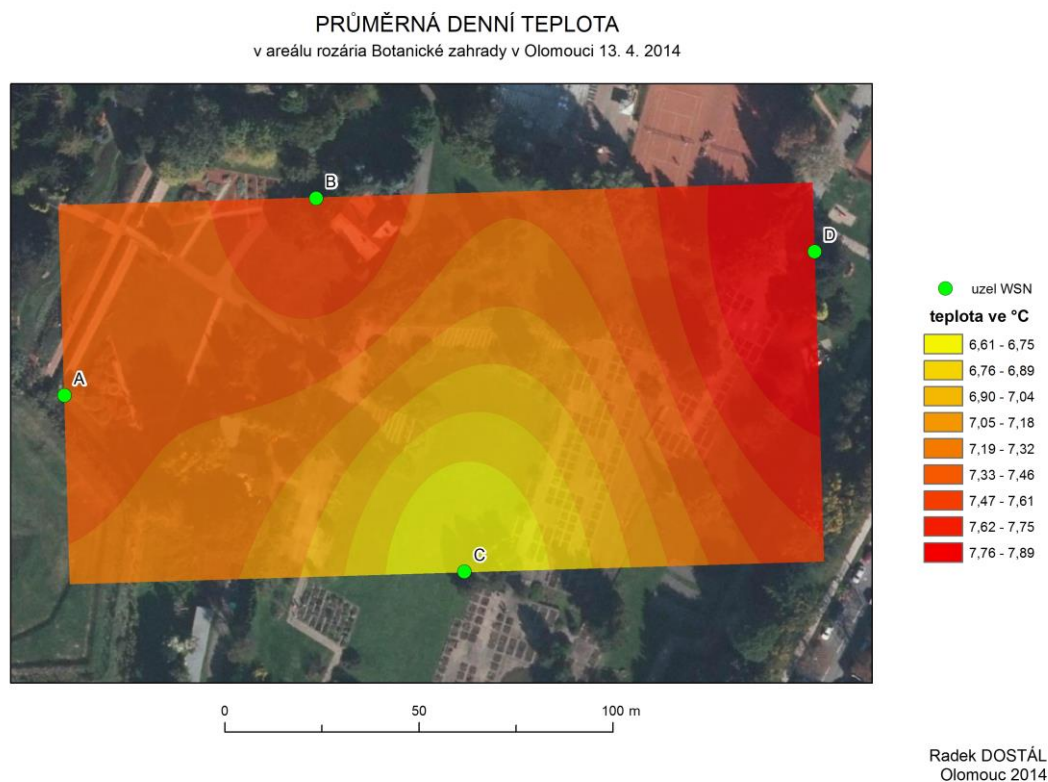


Obr. 23 Vývoj teplot 12. 4. 2014



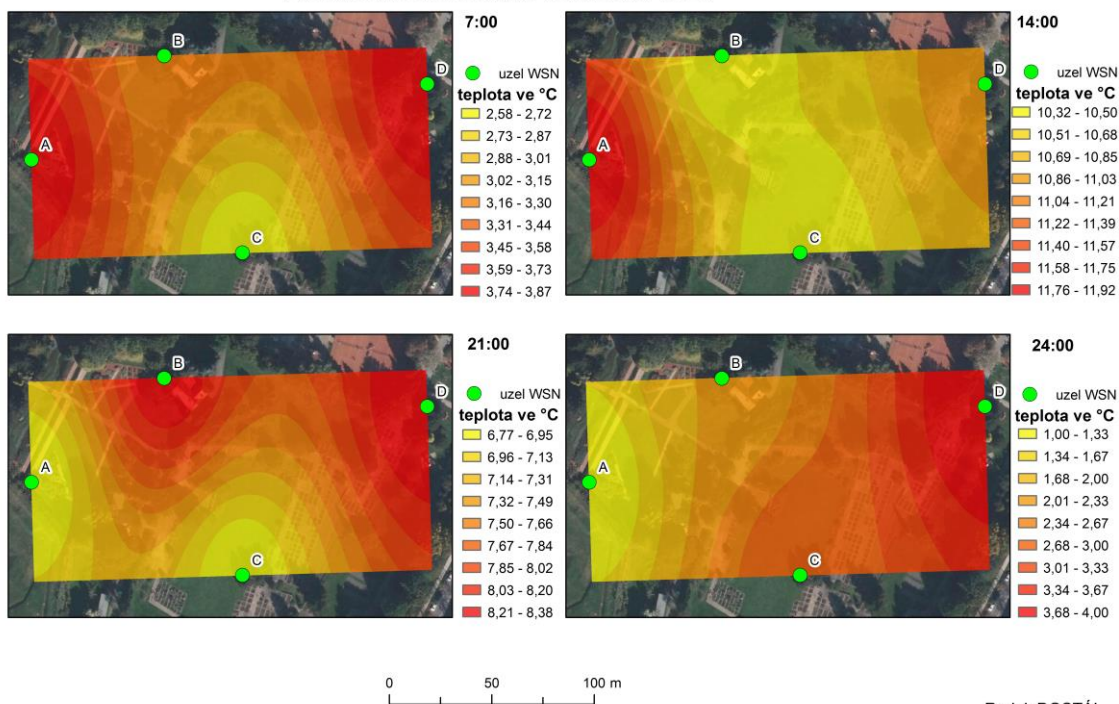
Graf 4: Vývoj teplot 12. 4. 2014

Mapa průměrných teplot pro 13. 4. 2014 (obr. 24) ukazuje nejvyšší průměrné teplotní hodnoty v okolí uzlů A, B, D, tedy v severní části sledovaného území a nejnižší v okolí uzlu C. Mapa vývoje teplotních hodnot (obr. 25) znázorňuje nejčastěji nejvyšší teplotní hodnoty v okolí výše zmíněných uzlu A, B, D, nejnižší teplotní hodnoty jsou opět sledovány v okolí uzlu C. Graf 5 znázorňuje vývoj teplot dne 13. 4. 2014. Nejvyšší teplota vystoupala na 14,51 °C a byla zaznamenána v 18:10 uzlem B. Uzlem C byla naměřena nejnižší teplota 0,32 °C. Této teploty bylo dosaženo v 5:30 hodin.

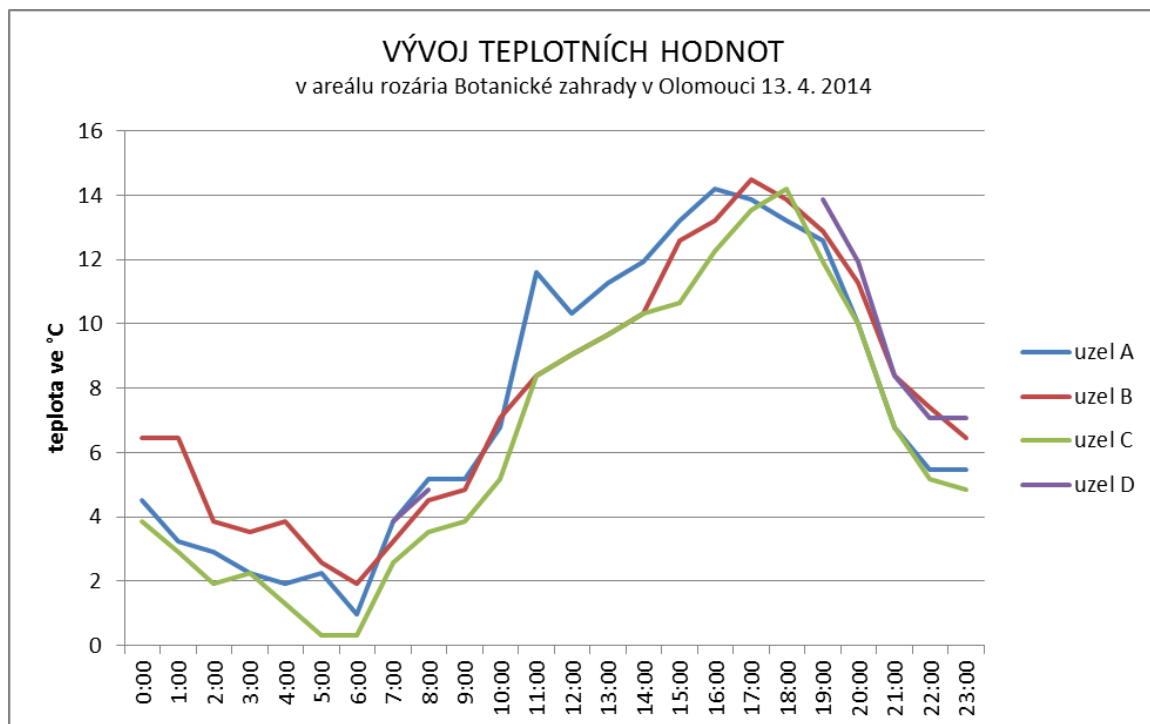


Obr. 24 Průměrná denní teplota 13.4. 2014

VÝVOJ TEPLOTNÍCH HODNOT  
v areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci 13. 4. 2014



Obr. 25 Vývoj teplot 13. 4. 2014



Graf 5: Vývoj teplot 13. 4. 2014

## 7 DISKUZE

Bezdrátové sensorové sítě jsou novou rozvíjející technologií, která může být využita v mnoha aplikacích. Touto technologií lze sledovat fyzickogeografické i socioekonomické charakteristiky. V rámci bakalářské práce byla tato technologie nasazena pro sledování teploty na čtyřech místech nacházejících se v Botanické zahradě v centru města Olomouce. Uzly bylo pokryto malé území, a tak vyvstala otázka, jestli na tak malém území má smysl zjišťovat teplotní charakteristiky nebo teploty se na tak malém území příliš nemění a jejich sledování je neefektivní. Bezdrátová sensorová síť má tu výhodu, že uzly mohou sbírat data ve vysoké hustotě a data posílat přímo na bránu, kde jsou primárně uložena. Výsledky teplotních měření ukázaly, že přestože uzly byly rozmístěny ve shodném schématu, tak naměřené teploty byly na jednotlivých místech odlišné a vypovídaly o vlivech okolního prostředí. Teploty byly snímány v desetiminutovém intervalu, tento interval se jeví jako ideální. V případě, že by byly hodnoty zaznamenávány kontinuálně, tak by mohlo docházet k redundancím v takto získaných datech. Při nízkém snímání intervalu bude nedostatečné pokrytí území daty, ale bude uspořena energetická výdrž uzlu. 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.

Přestože je možné na teplotních mapách spatřit rozložení teplotních hodnot, po konzultaci s panem doktorem Tolaszem z ČHMÚ bylo dospěno k názoru, že sledované území je pro tvorbu teplotních map poměrně malé na to, aby zde vznikala nějaká významnější teplotní závislost. Bylo by také potřebné nasadit větší množství uzlů než čtyři pro získání většího množství informací. I přes tyto skutečnosti je ale patrné, že po většinu sledovaného času vykazují uzly s označením A, B, které se nacházejí v zákrytu hradeb korunní pevnůstky vyšší teplotní hodnoty, než uzly s označením C, D, které se nachází na volném prostranství. Tento fakt dokazuje určitý vliv hradeb na rozložení teplot i na takto malém území.

V průběhu měření byla zaznamenána i nespolehlivost přenosu dat v terénním prostředí na vzdálenost delší než 100 metrů. Na komunikační vzdálenost má vliv mnoho faktorů, které musí být při rozmisťování uzlů brány v potaz, aby výpadky v měření byly eliminovány. V tomto případě byla komunikace ovlivněna překážkami v komunikační cestě a nedostatečně nabitou baterií v uzlu. Řešením tohoto problému je vytvoření sítě ve vrstvené architektuře a přidání dalšího uzlu, přes který by putovaly naměřená data mezi uzlem D a bránou způsobem multi-hop. V případě využití možnosti zasílání dat z brány uživateli pomocí 3G/GPRS sítí by také bylo možné detekovat problémy s uzlem dříve.

Po zanalyzování naměřených dat je možné v grafech vývoje teplot pozorovat teplotní výkyvy, které poukazují na chybu při měření. Pro potřeby dalších detailnějších analýz by bylo vhodné tyto chybné hodnoty odstranit, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků.



## 8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat využití bezdrátových sensorových sítí v environmentálních měřeních. Dále také nasazení čtyř uzlů bezdrátové sensorové sítě s teplotními senzory, nalezení vhodného umístění a uskutečnění měření teplotních hodnot.

V rámci této práce byla nasazena bezdrátová sensorová síť se čtyřmi uzly do areálu rozária Botanické zahrady v Olomouci. Nejdříve bylo nutné se s lokalitou měření seznámit a vytipovat si místa a způsob umístění uzlů a brány. Při rozmístování uzlů bylo nutné dodržet umístění uzlů ve výšce 2 metrů nad zemí, orientace na stejnou světovou stranu, stejná doba snímání teploty, ale také najít stejný druhu aktivního povrchu, aby mohlo měření probíhat na všech uzlech za stejných podmínek. Uzly tedy byly připevněny ke kmenům stromů, pod nimiž se nacházel travnatý povrch. Po rozmístění uzlů bylo nutné otestovat komunikaci uzlů s bránou a najít pro ni umístění. Pro tento účel posloužila budova s technickým zázemím pracovníků Botanické zahrady, kteří zde bránu umožnili uschovat. Hodnoty naměřené jednotlivými uzly byly odesílány do brány, kde byly i ukládány. Odtud byla získaná data stažena do počítače a poté analyzována.

Získaná data byla analyzována pro časový interval 5 dnů. Z naměřených dat byly vypočteny průměrné denní teploty a zjištěny teplotní extrémy. Ze získaných hodnot průměrných denních teplot, které byly vypočteny pro každý uzel, byly následně pomocí metody IDW interpolovány mapy rozložení teplot. Pro každý den byly dále vytvořeny mapy s vývoji teplot v časových intervalech 7, 14, 21 a 24 hodin. V neposlední řadě byly zpracovány grafy vývoje teplot jednotlivých dnů, které znázorňují vývoj teplot v hodinových intervalech. Po většinu sledovaného času byly u uzlů A, B pozorovány vyšší teplotní hodnoty, než u uzlů C, D. Tuto skutečnost lze přičíst vlivu hradeb korunní pevnůstky.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

1. 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>
2. 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>
3. 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/)
4. 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/)
5. 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/)
6. Botanická zahrada a rozárium výstaviště Flora Olomouc. [online]. Dostupné z: <http://www.olomoucky-kraj.com/object.php?object=61>
7. 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)
8. 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.

9. 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)
10. 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)
11. 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/>
12. K. KHEDO, Kavi, PERSEDOSS 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/jwmn/0510ijwmn03.pdf>
13. KHEMNAR, Dnyandeo; KASAR, Amol R.; TEMBHURNIKAR, Nagesh P. WSN Based Air Pollution Monitoring System. GRIN Verlag, 2013.
14. KOSMERCHOCK, Steven. Wireless Sensor Network Topologies. Dostupné z: [http://k5systems.com/TP0001\\_v1.pdf](http://k5systems.com/TP0001_v1.pdf)
15. KŘIKAVOVÁ, Linda. Interpolace bodových dat v GIS. Praha, 2009. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
16. 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/>
17. MIZERA, J. Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48 s.



18. MURTHY, C. Ad hoc wireless networks: architectures and protocols. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2004, xxii, 857 s. ISBN 01-314-7023-X.
19. 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>
20. 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/plug-sense/technical-overview/>
21. PUCCINELLI, Daniele; HAENGGLI, Martin. Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. Circuits and Systems Magazine, IEEE, 2005, 5.3: 19-31.
22. QUITT, Evžen. Klimatické oblasti Československa. [Praha] : Academia, 1971. Studia geographica ; Sv. 16. ISBN (brož.).
23. Slovníček pojmů - Čisté nebe o.p.s. Čisté nebe o.p.s. [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu>
24. 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)
25. 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
26. 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)
27. Topology. The Florida Center for Instructional Technology [online]. Dostupné z: <http://fcit.usf.edu/Network/chap5/chap5.htm>
28. VOJTEK, D.: GIT cvičení 2 - Digitální modely reliéfu a povrchu v prostředí GIS a jejich analýzy [online]. 2013. Dostupné z: <http://gis.vsb.cz/vojtek/index.php?page=git-fast/cviceni02>

29. VYSOUDIL, Miroslav. Meteorologie a klimatologie pro geografy. 1. vyd. Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 232 s. ISBN 80-706-7773-2.
30. VYSOUDIL, Miroslav.: Meteorologie a klimatologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006, 281 s. ISBN 80-244-1455-4.
31. ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2007: Český hydrometeorologický ústav - Úsek ochrany čistoty ovzduší. Český hydrometeorologický ústav [online]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr07cz/kap2421.html>

## Summary

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

The practical part describes the equipment that was used for the measurement and data processing. Wireless sensor network was included four nodes with sensors for measuring temperature, and once the gateway to which all measured data was sent. As part of the thesis was created digital terrain model of the Botanical Garden.

From measured data were calculated by the average daily temperatures, temperature extremes and created graphs of temperature development and temperature maps. Although it is possible to observe effect of the surrounding terrain on the distribution of temperature values, after consultation with the Czech Hydrometeorological Institute was arrived to the conclusion that the monitored area is for creating temperature maps relatively small. For more accurate results would be more appropriate measurements on a larger area with a larger number of nodes for wireless sensor networks.

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

### Volné přílohy

Příloha 1 CD-ROM

### Popis struktury DVD

Adresáře:

Metadata

Text\_Prace

Vstupni\_Data (Veškerá použitá digitální data z Magistrátu města Olomouce byla poskytnuta pro zpracování bakalářské/diplomové práce. Jejich další využití je možné jen se souhlasem správce těchto dat.

Vystupni\_Data

WEB

.....

Nutné uvést upozornění, pokud existují omezení na použitá data:

Veškerá použitá digitální data (nebo data z Magistrátu města Olomouce) byla poskytnuta pro zpracování bakalářské/diplomové práce. Jejich další využití je možné jen se souhlasem správce těchto dat.

