

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, které bylo použito 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 grafy průměrných denních teplot, teplotních extrémů a teplotních amplitud. Z vypočítaných průměrných denních teplot byly pomocí bodové metody vytvořeny mapy rozložení teplot na malém území.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezdrátová sensorová síť; senzor; měření teploty; environmentální měření

Počet stran práce: 52

Počet příloh: 25 (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. Graphs of the average daily temperatures, temperature extremes and temperature amplitude were created from measured data. Temperature maps of small area were created from the average daily temperatures.

KEYWORDS

wireless sensor network; sensor; temperature measurement; environmental measurement

Number of pages: 52

Number of appendixes: 25

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

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE.....	10
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	11
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
4 TEORETICKÁ ČÁST.....	16
4.1 Bezdrátové senzorové sítě.....	16
4.2 Topologie sítí	18
4.3 Architektura bezdrátové senzorové sítě	21
4.4 Komunikační standardy bezdrátových senzorových sítí.....	23
4.5 Základní meteorologické prvky	25
4.5.1 Teplota vzduchu.....	25
4.6 Mapa rozložení teplot	27
5 PRAKTICKÁ ČÁST	28
5.1 Obecná charakteristika území.....	28
5.1.1 Klimatické poměry	28
5.2 Waspnote Plug&Sense.....	30
5.2.1 Senzory pro měření teploty vzduchu	32
5.3 Meshlium	33
5.4 Návrh a realizace bezdrátové senzorové sítě	34
5.5 Komunikační protokol.....	35
6 VÝSLEDKY	37
6.1 Podzimní měření.....	37
6.1.1 Průměrná denní teplota.....	37
6.1.2 Teplotní extrémy	38
6.1.3 Teplotní amplituda	39
6.1.4 Radiační režim počasí.....	40
6.1.5 Advekční režim počasí	42
6.2 Zimní měření	44
6.2.1 Průměrná denní teplota.....	44
6.2.2 Teplotní extrémy	45
6.2.3 Teplotní amplituda	46
6.2.4 Radiační režim počasí.....	47
6.2.5 Advekční režim počasí	49
7 DISKUZE	51
8 ZÁVĚR	52
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
3G	mobilní sítě 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 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 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 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, návržení komunikačního protokolu, nasazení osmi uzlů s teplotními senzory, ověření funkčnosti vytvořeného komunikačního protokolu a uskutečnění měření teplotních hodnot. Výstupem naměřených hodnot jsou grafy teplotních charakteristik a mapy rozložení teplot na malém území.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Použitá data

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. 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 senzorů byl nastaven na 10 minut.

Použité programy

Pro vytvoření a úpravu komunikačního protokolu byl použit program Waspnote Pro IDE - v04. Zpracování stažených dat a tvorba grafů probíhala v programu MS Excel 2010. K tvorbě mapových výstupů byl použit ArcGIS for Desktop 10.1. Textová část práce byla sepsána v programu MS Word 2010 a webové stránky byly vytvořeny v programu PSPad 4.5.6..

Postup 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. Po domluvě s pracovníky Botanické zahrady a rozária bylo potřeba vyhledat vhodná místa pro umístění uzlů a brány. Následně byla prostudována dokumentace k použitému vybavení, vytvořen komunikační protokol, zvolena topologie sítě a provedena konfigurace uzlů a brány.

Měření v terénu byla prováděna ve dvou obdobích. První měření probíhalo v období od 25. 9. do 9. 10., druhé měření probíhalo v období od 9. do 16. 12. Interval měření teplot byl nastaven na 10 minut. Všechna naměřená data byla z brány stažena ve formátu .csv a byla převedena na formát .xlsx. V programu MS Excel 2010 byly poté odebrány neúplné a poškozené záznamy, data byla roztříděna podle jednotlivých uzlů a následně byly vytvořeny výstupy ve formě grafů.

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

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době se bezdrátové sensorové sítě využívají ve velkém množství odvětví. To je umožněno proto, že bezdrátové uzly se senzory 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 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 km². 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, CO₂, NO₂, 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, O₃, SO₂ a prašné částice (PM₁₀ a PM_{2,5}). 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 CO₂, NO₂, NH₃ 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 O₃, NO₂, CO a SO₂. 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_2 , NO , NO_2 , O_3 , NH_3 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_3 , CO , NO_2 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).

4 TEORETICKÁ ČÁST

4.1 Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové 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 senzorové 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 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)

	První generace (1980 – 1990)	Druhá generace (počátkem roku 2000)	Třetí generace (po roce 2000)
Velikost	kufru	knihy	krabička od zápalek
Hmotnost	libry	unce	gramy
Protokoly	proprietární	proprietární	Wi-Fi, ZigBee
Napájení	velké baterie, nebo kabelem	AA baterie	solární napájení baterií
Životnost	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 (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 senzorové sítě se skládá z následujících komponent:

- rozhraní pro připojení senzorů,
- mikroprocesoru,
- paměti,
- komunikačního modulu,
- napájecí části uzlu.

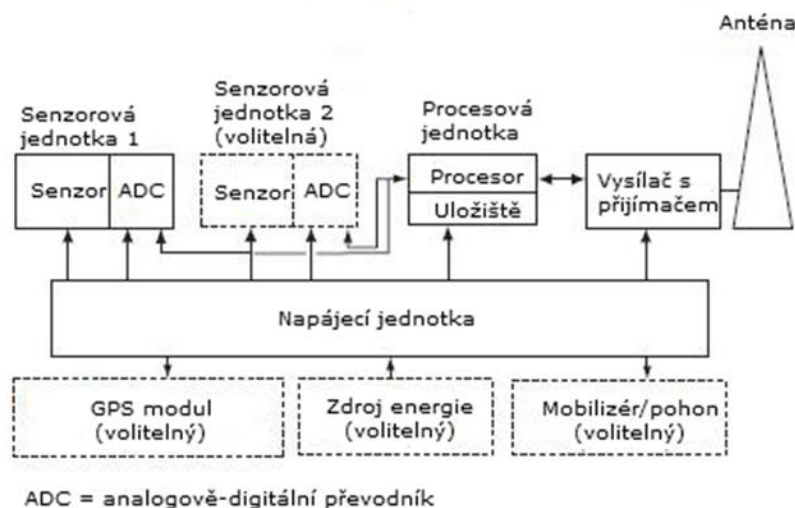
Senzorová část uzlu obsahuje senzory na snímání fyzikálních veličin nebo senzory, které reagují na chemické podněty. Senzory měří hodnoty analogově a poté je pomocí ADC převodníku převádějí na digitální záznamy. Z důvodu úspory energie senzory neměří nepřetržitě, ale přecházejí do režimu spánku. Přejít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

Mikroprocesor se kromě řízení zapnutí a vypnutí sensorů 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. 1 Schéma uzlu bezdrátové sensorové sítě (Sohraby a kol. 2007)

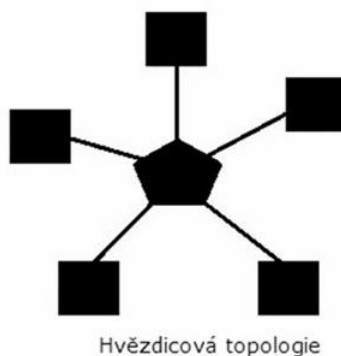
4.2 Topologie sítí

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

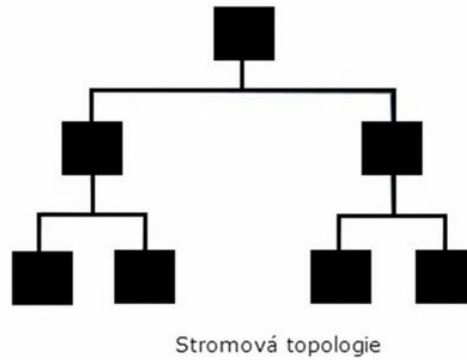
V hvězdicové topologii komunikují všechny uzly v síti přes jeden centrální komunikační bod – bránu. V této topologii nekomunikuje každý uzel s každým, ale všechny uzly posílají data přes bránu. Brána má funkci základní stanice, všechny ostatní uzly mají funkci klientů. Výhodou této topologie je její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



Obr. 2 Schéma hvězdicové topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

Stromová topologie

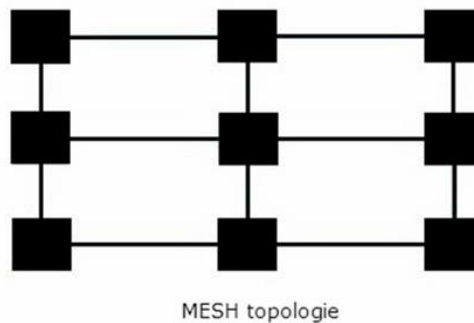
Ve stromové topologii jsou uzly rozděleny do hierarchických úrovní. Na vrcholu pyramidy se nachází brána, která přebírá informace od uzlů, které se nacházejí o úroveň pod ní. Tyto uzly předávají informace od ostatních uzlů v síti, obdobně jako v případě hvězdicové topologie. Výhodou této topologie je 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).



Obr. 3 Schéma stromové topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

MESH topologie

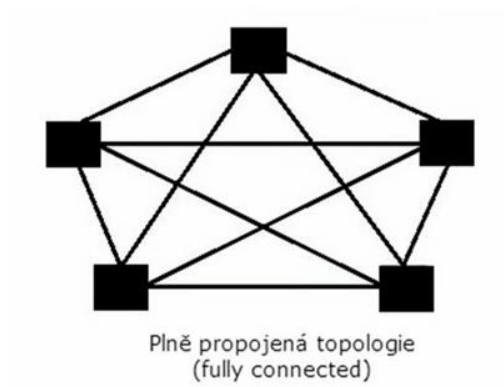
Sítě s MESH topologií umožňují komunikaci více směry pouze se sousedními uzly. MESH sítě mohou mít jak pravidelnou, tak nepravidelnou strukturu. Výhodou této topologie je, že v případě výpadku některého z uzlů je komunikace směřována přes sousední uzel a nedojde tak k přerušení komunikace. Nevýhodou 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. 4 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. 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 (Kosmerchok 2012, Mizera 2011).



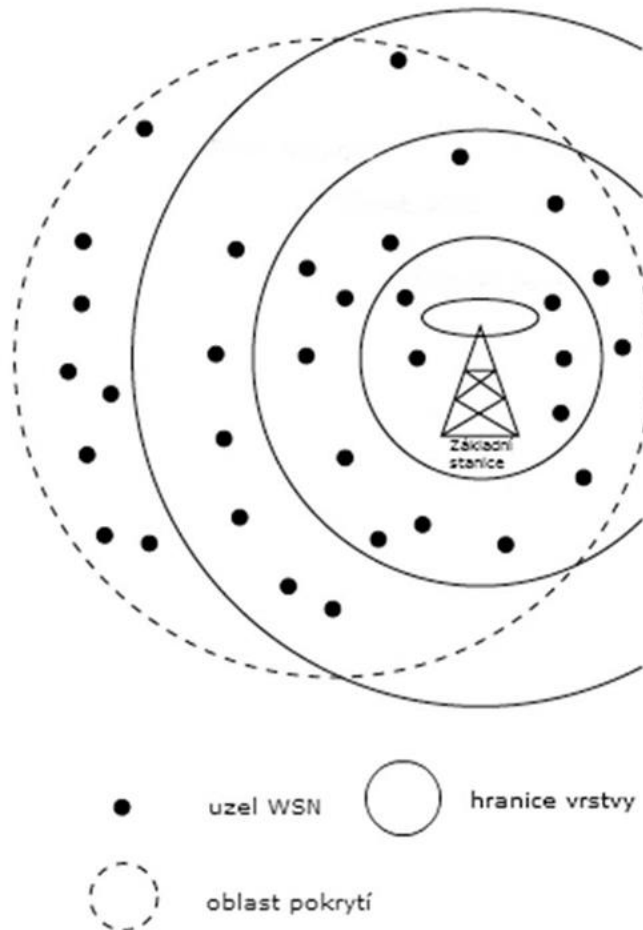
Obr. 5 Schéma plně propojené topologie (zdroj: Mizera 2011, vlastní zpracování)

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

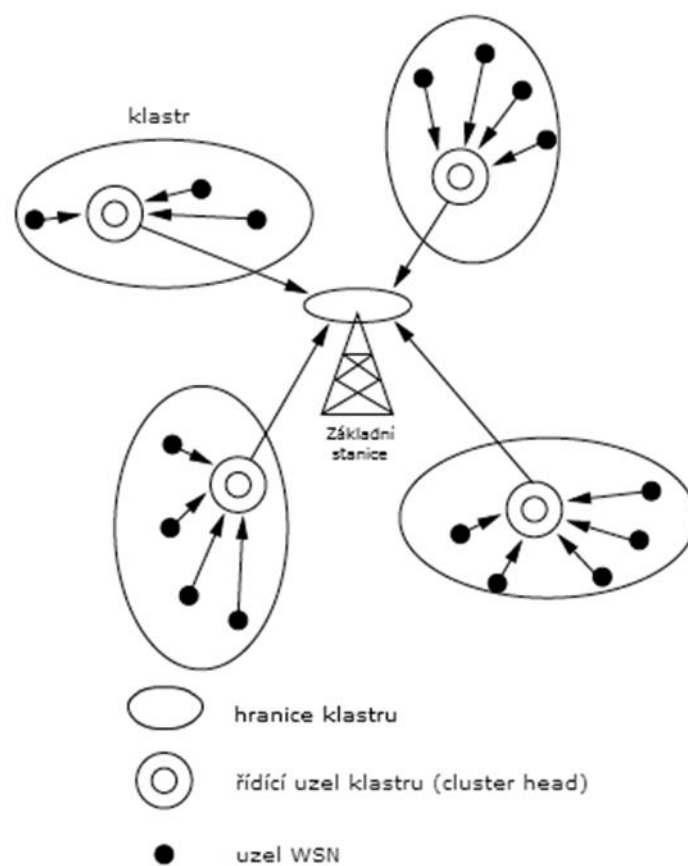
Sítě s vrstvenou архитектурou mají jednu základní stanici, kolem které jsou uzly sítě rozmístěny v koncentrických vrstvách. Data z uzlů, které se nachází ve vzdálenějších vrstvách od základnové stanice, jsou přeposílána způsobem multi-hop až do základní stanice. Multi-hop je způsob komunikace, který 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. 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. 3 Vrstvená architektura (Murthy, 2004)

Klastrová architektura

Klastrová architektura organizuje uzly senzorové 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 senzorových sítí

Vývojem komunikačních standardů pro bezdrátové senzorové 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 senzorových 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 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 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. 6 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 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 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 činitele:

- typ počasí – při radičním 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).

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. 2).

Tab. 2 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 radiačním krytu ve výšce 2 metry nad zemí. Měření je realizováno čidly HMP, která společně měří teplotu a relativní vlhkost ovzduší (Vysoudil, 2012).

4.6 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 měřících 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 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).

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.

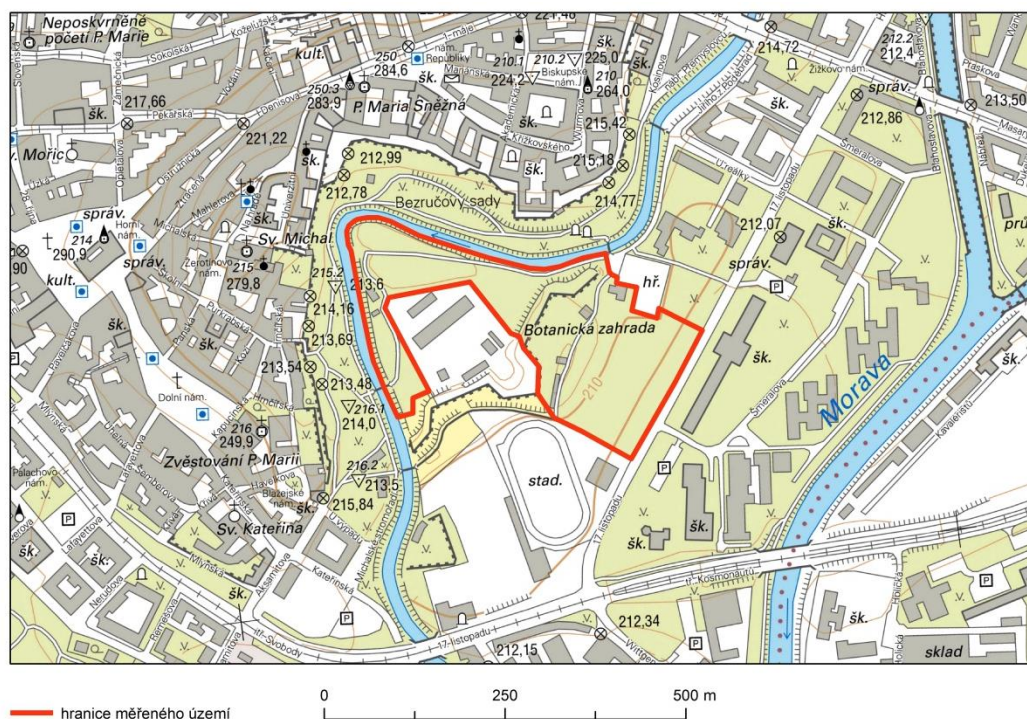
Exaktní interpolační metody zachovávají původní naměřené hodnoty teplot v bodech měření. Aproximující interpolační metody je zachovávat nemusejí.

Nelze obecně říci, která interpolační metoda je pro interpolaci 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

5.1 Obecná charakteristika území

Pro měření teploty byl vybrán areál Botanické zahrady a rozária 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://geoportál.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). 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 (Quitt, 1971).

Tab. 3 Klimatické charakteristiky oblasti W2 (zdroj: Tolasz a kol. 2007)

Charakteristiky	Klimatická oblast W2
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 Waspnote Plug&Sense

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 modelů:

- 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.

Pro vytvoření bezdrátové sensorové sítě v rámci bakalářské práce byly použity modely Smart Environment, Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO. Pro všechny zařízení z řady Plug&Sense je typická odolnost vůči vnějším okolním vlivům, snadná instalace přístroje a rychlá výměna sensorových sond. Veškerá elektronika je uschována v robustním těle, které disponuje stupněm krytí proti vniknutí vody pevných částic IP 65. Přístroje je možné velmi snadno nainstalovat na sloup veřejného osvětlení nebo na kmen stromu pomocí kovových pásků, 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 GPS modulem pro přesné určení jeho polohy.

Napájení je zajištěno pomocí baterie, která může být dobíjena solárním panelem. Ten může být umístěn buďto přímo na čelní straně přístroje, nebo na speciálních kovových držadlech pod úhlem 45° pro lepší zisk sluneční energie.

Model Smart Environment 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, které umožňují měřit:

- teplotu vzduchu,
 - vlhkost vzduchu,
 - atmosférický tlak,
 - látky znečišťující ovzduší (C₄H₁₀, CH₃CH₂OH, H₂, CO, CH₄, C₆H₅CH₃, H₂S, NH₃)
- (Plug & Sense! - Product Overview, 2014).



Obr. 10 Libelium Plug&Sense Smart Environment

Model Smart Agriculture je 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 sensorových sond. Tento model nachází využití v precizním zemědělství, zavlažovacích systémech, sklenících nebo meteorologických stanicích. Následující tabulka ukazuje, které prvky je možné pomocí variant Normal a PRO měřit. (Plug & Sense! - Product Overview, 2014).

Tab. 4 Prvky měřené pomocí modelu Smart Agriculture zdroj: (Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

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

5.2.1 Senzory pro měření teploty vzduchu

Pro měření teploty vzduchu byly u uzlů Smart Environment použity teplotní senzory 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 (Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015).



Obr. 11 Senzorová sonda se senzorem Microchip MCP9700A (Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide, 2015)

U uzlů Smart Agriculture a Smart Agriculture PRO byly použity senzory SHT75 od společnosti Sensirion, které 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).



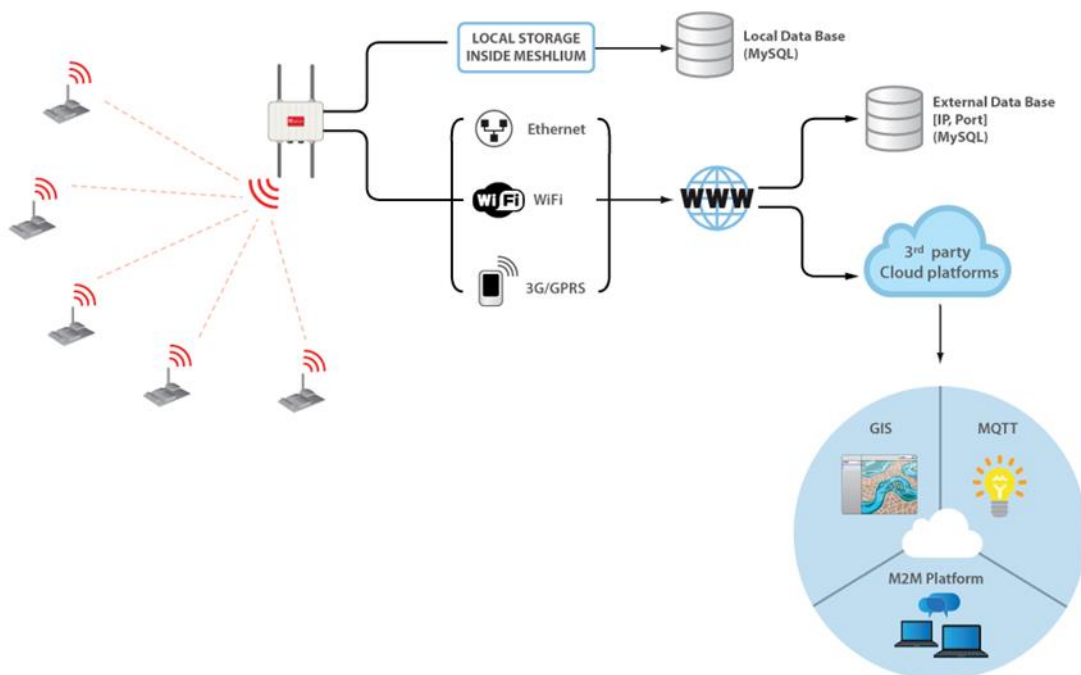
Obr. 12 Senzorová sonda se senzorem SHT75

5.3 Meshlium

Meshlium je linuxový router, který slouží jako brána (gateway) u bezdrátových sensorových sítí tvořených přístroji Waspnote 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 použít GPS modul. Napájení je zajištěno baterií, která může být napájena ze solárního panelu (Documentation Libelium, 2014).

Data naměřená uzly bezdrátové sensorové sítě jsou odesílána do brány Meshlium, kde jsou uložena v lokální MySQL databázi o velikosti 5,5 GB. Meshlium disponuje pevným diskem o kapacitě 8 GB, ale prostor o velikosti 2,5GB 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. 13.



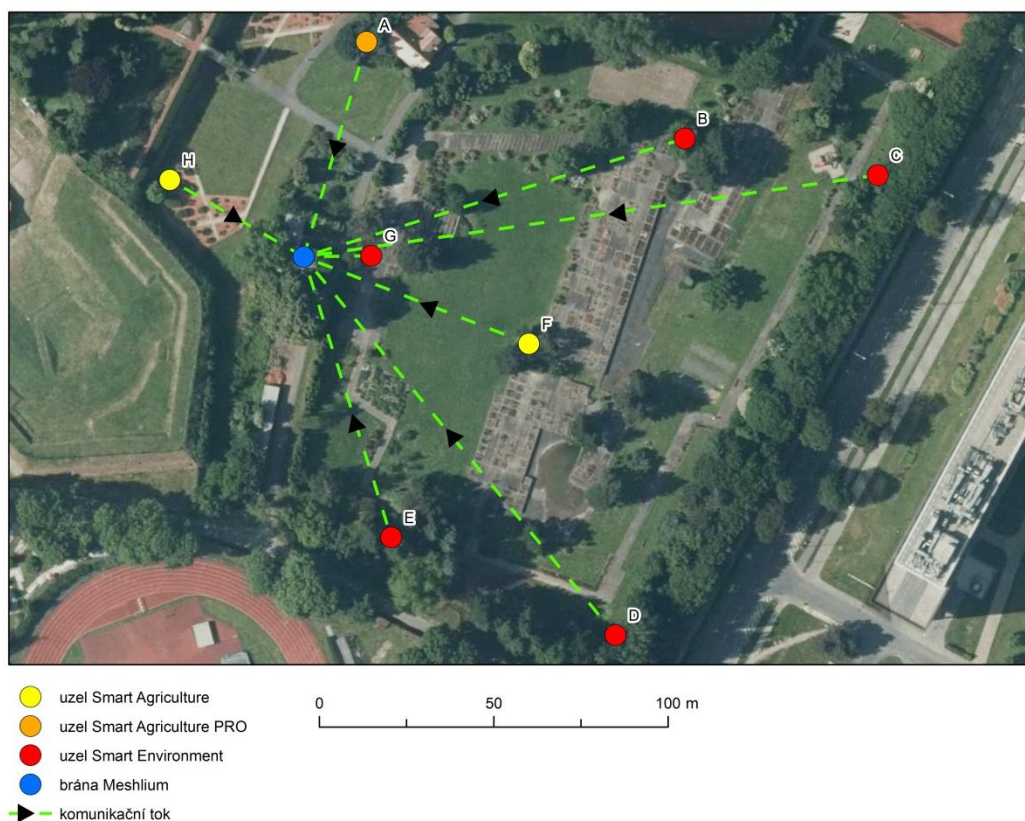
Obr. 13 Schéma možností uložení dat (zdroj: <http://www.libelium.com/products/meshlium/wsn/>)

5.4 Návrh a realizace bezdrátové sensorové sítě

Všechny sensorové uzly byly připevněny ke kmenům stromů pomocí kovových pásek, 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.

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.

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 do středu hvězdicové topologie. Vzhledem k tomu, že bezdrátová sensorová síť byla tvořena osmi 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. 14 Topologie nasazené sítě (zdroj: WMS poskytované ČUZK, dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, vlastní zpracování)

5.5 Komunikační protokol

Komunikační protokol je založen na standardu IEEE 802.15.4, který funguje na frekvenci 2,4 GHz. Zdrojový kód pro měření teplot byl vygenerován pomocí generátoru kódů dostupným na webových stránkách výrobce a následně upraven dle požadavků na aplikaci v programu Wasmote Pro IDE (Wasmote - Plug & Sense! - Code Generator - v02, 2015).

Zdrojový kód se skládá ze dvou částí. První část zajišťuje nastavení komunikačních parametrů sítě a inicializaci připojených sensorových 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 spacího režimu. Ještě před spuštěním první části dochází k načtení knihoven a nadefinování globálních proměnných. Struktura kódu se nachází níže (Wasmote programming guide, 2015).

```
// 1. načtení knihoven
// 2. definice globálních proměnných
void setup()
{
  // 4. inicializace sensorových sond
}
void loop()
{
  // 5. měření teploty
  // 6. odesílání informací
  // 7. uspání uzlu
}
```

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

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

// nastaveni 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.

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

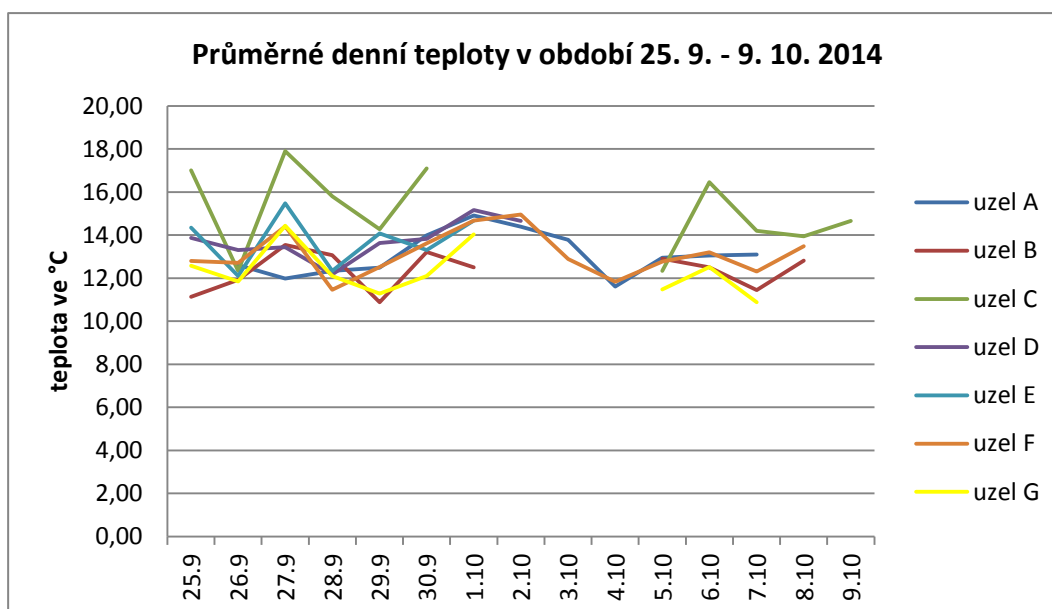
Takto upravený kod s nastaveným intervalem měření 10 minut byl pomocí rozhraní USB nahrán do všech osmi uzlů.

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. Ačkoliv byla pro zimní měření síť doplněna o další uzel, pro výsledky byla použita data z pouze sedmi uzlů. Kvůli velmi častým komunikačním výpadkům a velkému množství chybějících dat nebyl uzel s označením D do výsledků zahrnut. Pro každé období byly vytvořeny grafy průměrných denních teplot, teplotních extrémů, teplotní amplitudy a vývoje teplot pro jednotlivé dny. Z vypočtených průměrných denních teplot byly pomocí bodové metody vytvořeny mapové výstupy. Z obou měřených období byl vybrán jeden reprezentativní den s radičním režimem počasí a jeden den s advekčním režimem počasí. Tyto dny byly podrobněji okomentovány.

6.1 Podzimní měření

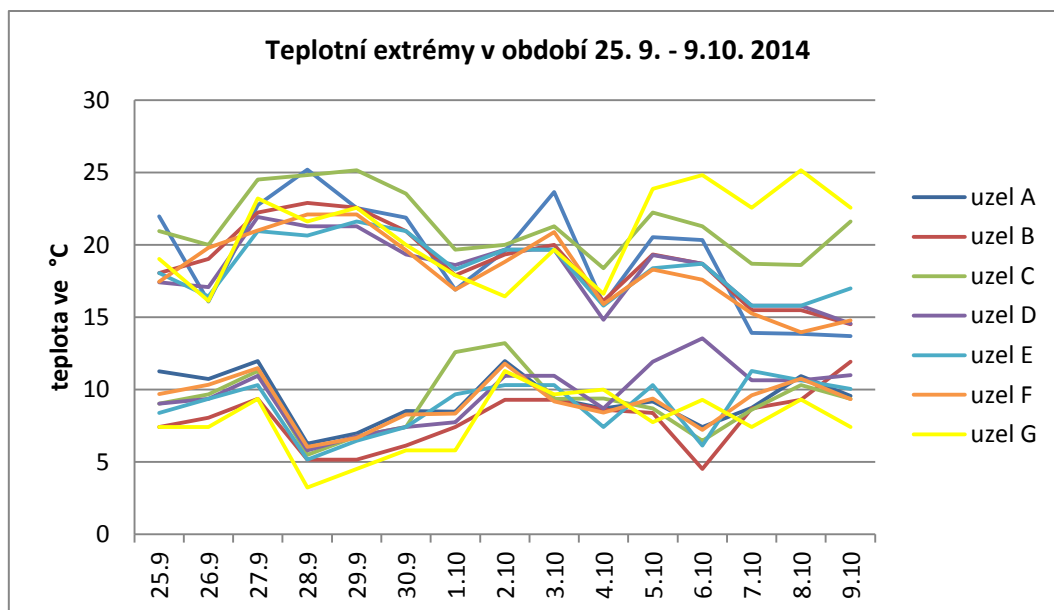
6.1.1 Průměrná denní teplota



Graf 1: Průměrné denní teploty v období 25. 9 – 9. 10. 2014

Průměrné denní teploty se v podzimním období pohybovaly u většiny uzlů v rozpětí 11 až 15 °C. Nejvyšší průměrné denní teploty byly zaznamenávány 27. 9. a 1. 10. Nejnižší průměrné teploty se objevovaly 28. a 29. 9. a také 7. 10. Výrazněji vybočující hodnoty byly zaznamenány uzlem C a nelze je tedy považovat za zcela odpovídající reálnému stavu. U všech uzlů jsou patrné vynechané hodnoty, které vznikly v důsledku chybějících teplotních hodnot v časech, ze kterých jsou následně vypočítány průměrné denní teploty. Tyto výpadky jsou způsobeny problémy vyskytujícími se v bezdrátové komunikaci mezi uzly a bránou.

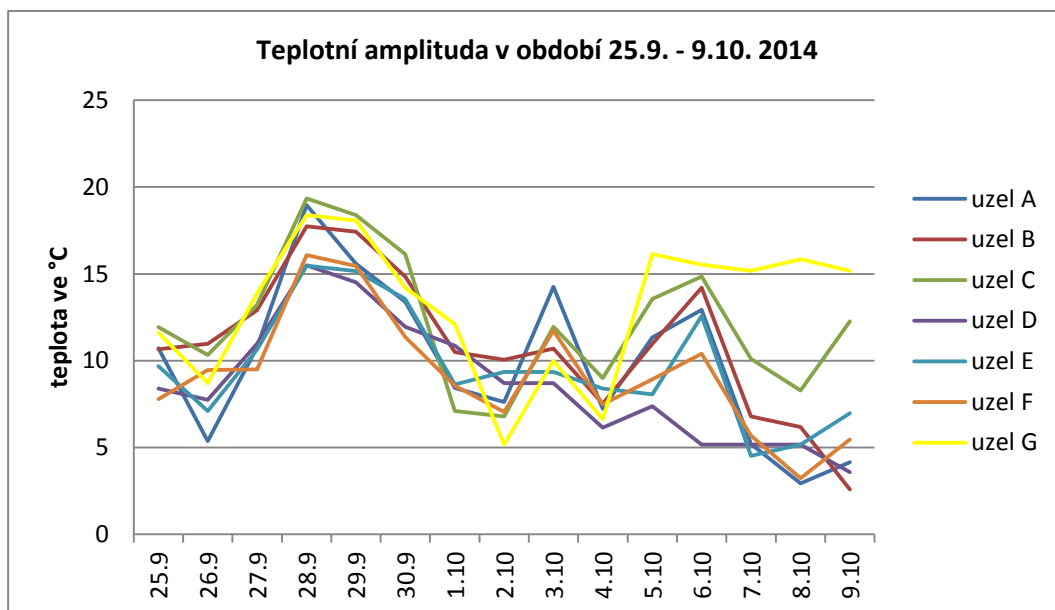
6.1.2 Teplotní extrémý



Graf 2: Teplotní extrémý v období 25. 9. – 9. 10. 2014

Maximální a minimální teploty byly na podzim zaznamenány v rozpětí 3 až 25 °C. Nejvyšší hodnoty teplotních maxim se objevovaly v období 27. až 29. 9. Nejnižší hodnoty teplotních maxim bylo možné pozorovat 4. 10. a také v období 7. až 9. 10. Teplotní maxima se nejčastěji objevovala od 13 do 15 hodin. Nejvyšší hodnoty teplotních minim se objevovaly 27. 9., naopak nejnižší hodnoty bylo možné sledovat 28. 9. a 6. 10. Teplotní minima se nejčastěji objevovala okolo 5. a 6. hodiny ranní. Výraznějších odchylek dosahuje u teplotních maxim uzlu G a C, u teplotních minim pak C a D.

6.1.3 Teplotní amplituda

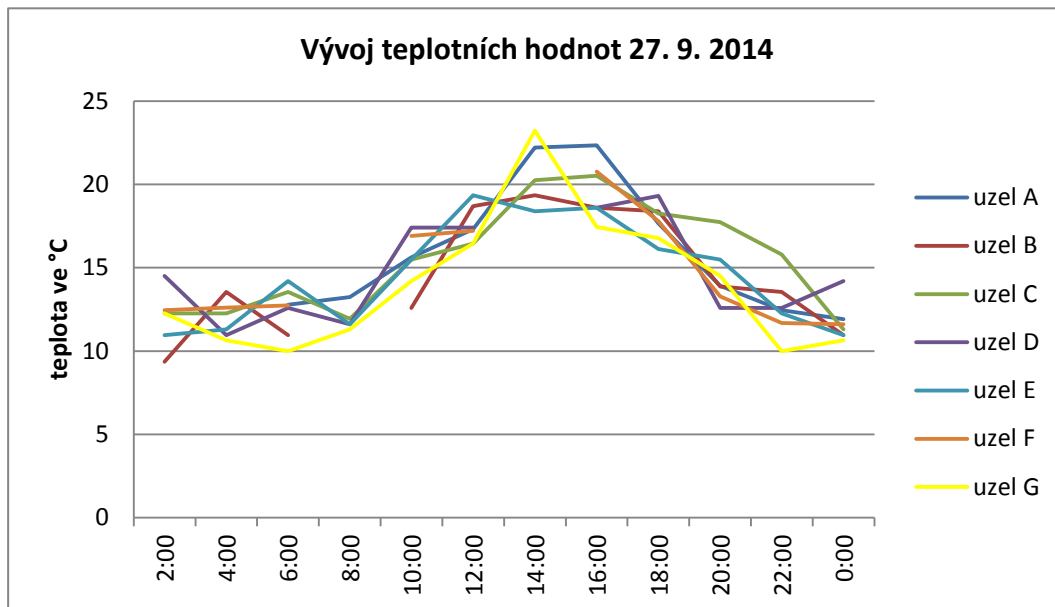


Graf 3: Teplotní amplituda v období 25. 9. – 9. 10. 2014

Teplotní amplituda v podzimním období koresponduje s maximálními a minimálními teplotami. Nejvyšší rozdíl mezi minimální a maximální teplotou během dne bylo možné pozorovat v období mezi 28. až 30. 9. Nejnižší rozdíl teplot byl pozorován 7. 10. až 9. 10. U uzlu G je v období 5. 10. až 9. 10. možné pozorovat významnou odchylku od ostatních uzlů, která je způsobena odchylkou u teplotních maxim v tomto období.

6.1.4 Radiační režim počasí

V podzimním období byl nejvýrazněji pozorovatelný radiační chod počasí dne 27. 9. V tento den se průměrná denní teplota pohybovala kolem 15 °C, což bylo nejvíce během sledovaného období. Teplotní amplituda se v tento den pohybovala na jednotlivých uzlech od 10 do 13 °C.

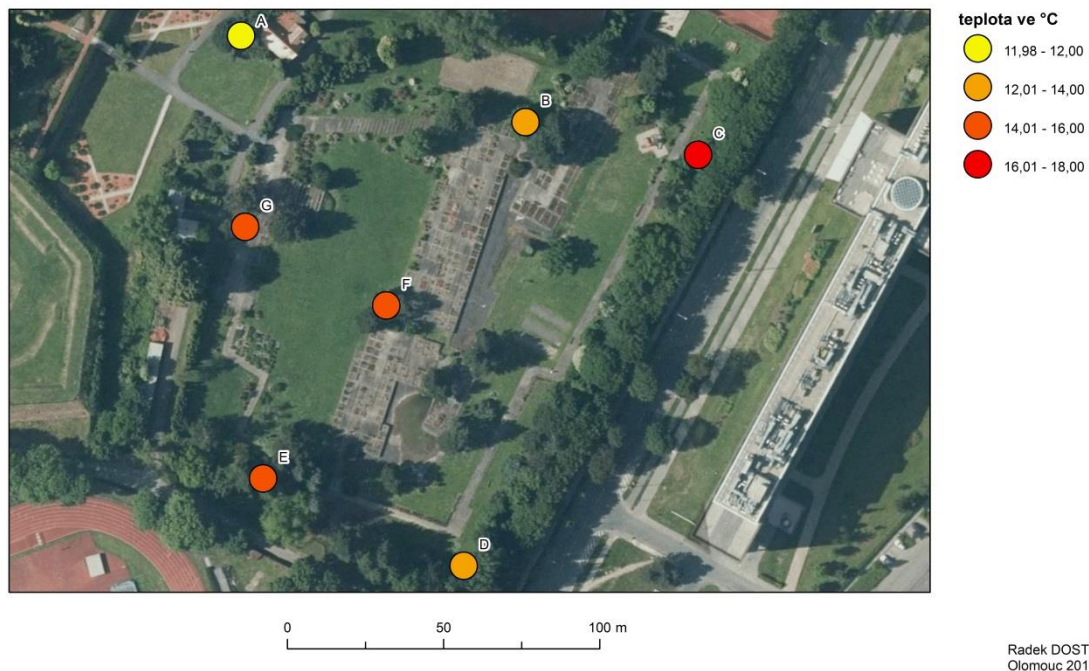


Graf 4: Vývoj teplot 27. 9. 2014

Z grafu vývoje teplot je patrné, že nejvyšší teploty byly zaznamenány v době od 14 do 16 hodin. Maximální teplota vystoupala ve 14 hodin na uzlu G na hodnotu 23, 22 °C. Podobné hodnoty byly v tuto dobu zaznamenány také uzlem A, konkrétně teploty kolem 22 °C. Nejnižší denní teploty byly naměřeny o půlnoci, kdy se teplotní hodnoty pohybovaly okolo 10 °C na všech uzlech kromě uzlu D, který vykazoval hodnoty vyšší. U uzlu B a F jsou patrné výpadky, které jsou způsobeny chybou v komunikaci.

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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

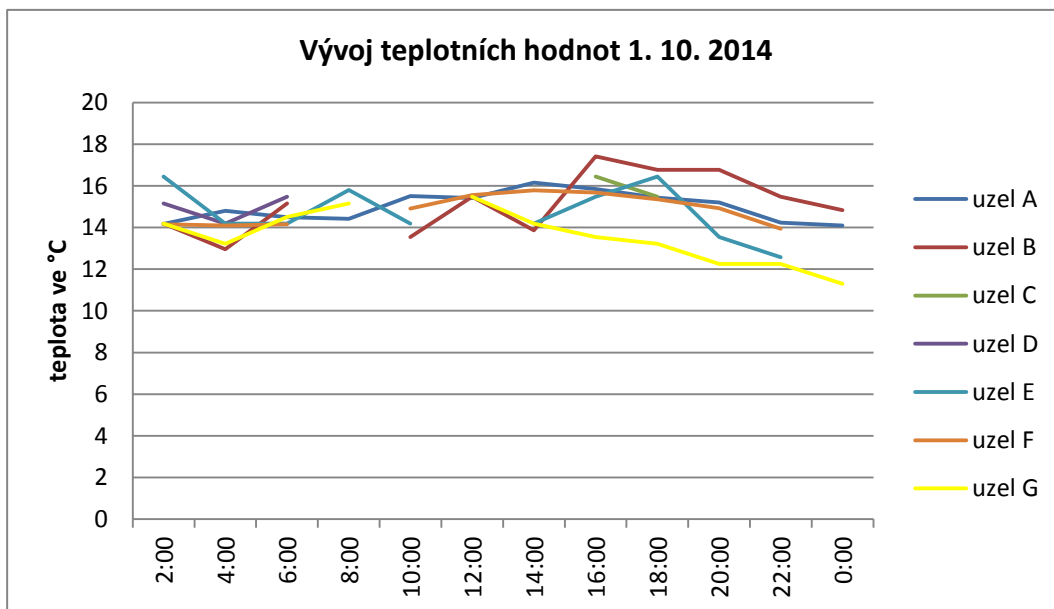


Obr. 15 Průměrné denní teploty 27. 9. 2014

Rozložení průměrných denních teplot ukazuje, že nejvyšší průměrnou denní teplotu bylo možné sledovat v okolí uzlu C. Teplejší oblasti se vyskytují také kolem uzlů G, F a E. Nejchladnějším místem v tento den bylo okolí uzlu A, kde se průměrná denní teplota pohybovala kolem 12 °C. Za chladnější lze také označit okolí uzlů B a D. Z mapy lze pozorovat, že kromě uzlu C se vyšší teplotní hodnoty nacházely v jihozápadní části měřeného území.

6.1.5 Advekční režim počasí

Advekční režim počasí se během podzimního měření nejvýrazněji projevoval 1. 10. Graf vývoje teplot není pro tento den zcela kompletní, jelikož se objevily komunikační problémy především u uzlu C, který zaznamenával hodnoty velmi nepravidelně. Mimo to, kromě uzlů A a E se vyskytovaly v dopoledních hodinách komplikace na většině uzlů. Průměrná denní teplota se pohybovala na hodnotě 15 °C.

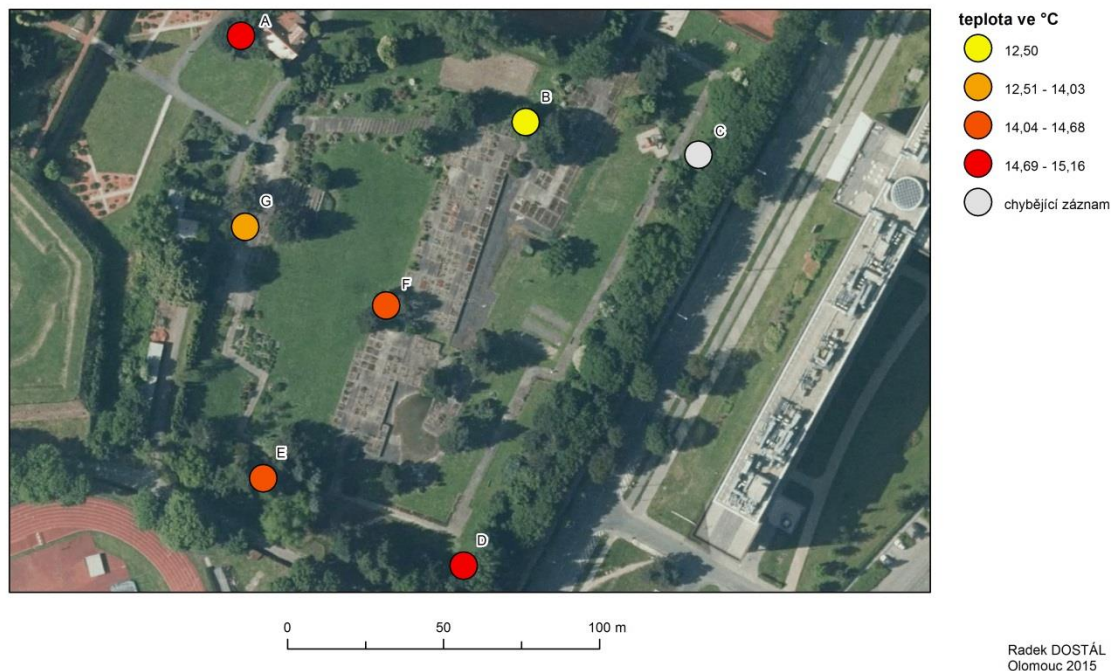


Graf 5: Vývoj teplot 1. 10. 2014

Nejvyšší teploty byly pozorovány od 16 do 20 hodin u uzlu B. Teplota v tuto dobu dosahovala hodnoty 17 °C. Nejnižší teplota byla zaznamenána o půlnoci uzlem G. Teplota v tuto dobu poklesla na 11, 3 °C.

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 1. 10. 2014

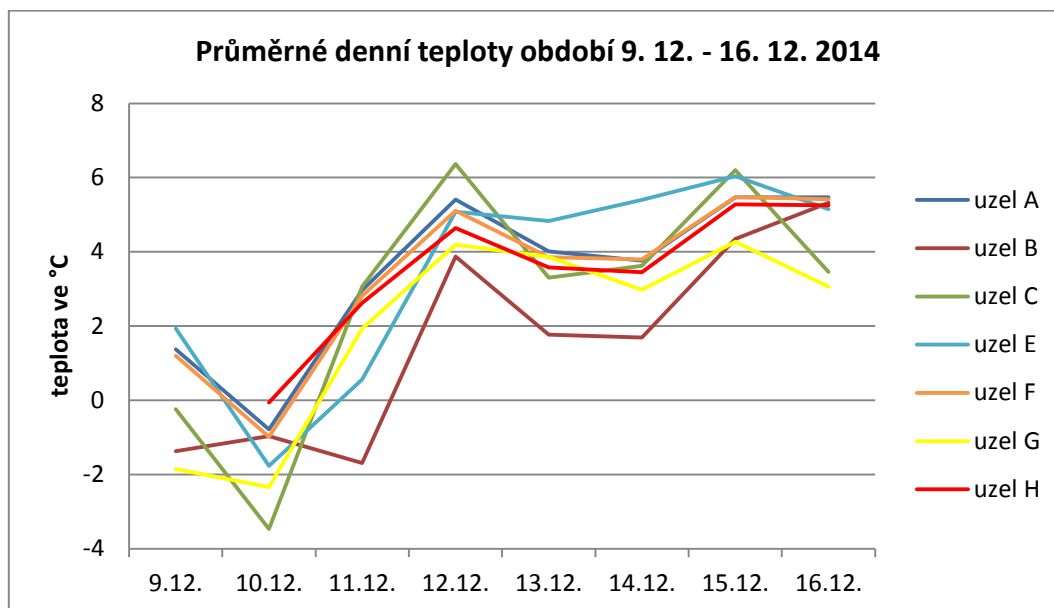


Obr. 16 Průměrné denní teploty 1. 10. 2014

Dne 1. 10. se nejvyšší teploty vyskytovaly v okolí uzlů A a D. Teplejší oblast se opět nacházela v jihozápadní části sledovaného území. Nejnižší průměrná denní teplota byla zaznamenána uzlem B. Pro uzel C nebyla vzhledem k nedostatku naměřených teplotních hodnot průměrná denní teplota vypočítána.

6.2 Zimní měření

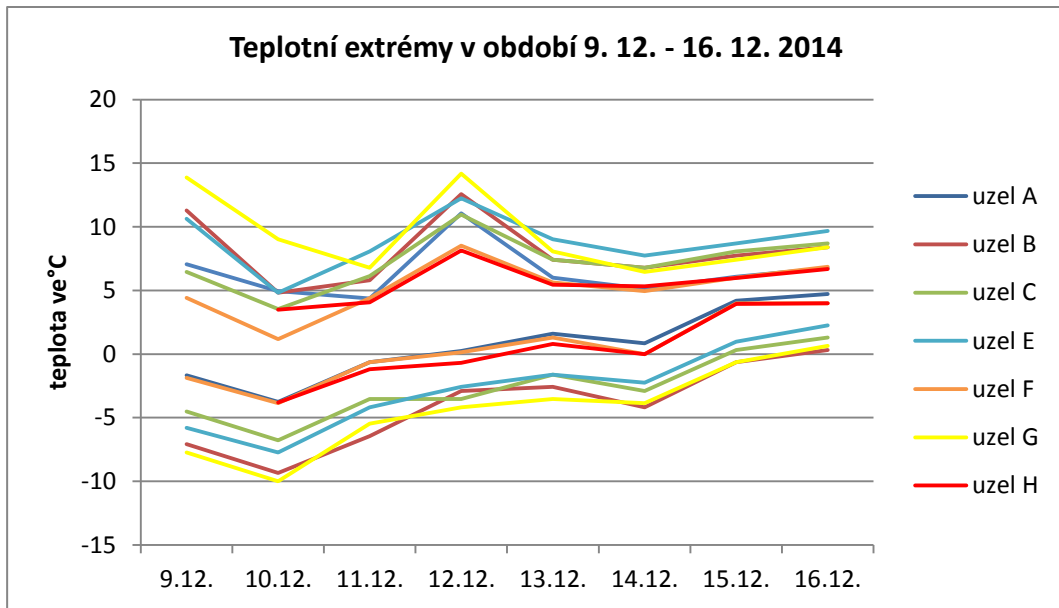
6.2.1 Průměrná denní teplota



Graf 6: Průměrné denní teploty v období 9. 12. – 16. 12. 2014

Průměrné denní teploty se během zimních měření pohybovaly od -2 do 6 °C. Nejnižší teploty se vyskytovaly z počátku měřeného období, konkrétně 10. 12. V tento den se průměrná teplota pohybovala od -3,47 do 0 °C. Nejvyšší denní teploty bylo možné pozorovat 12. 12. a také 15. 12., kdy se průměrné denní teploty pohybovaly v rozmezí 4 až 6 °C. Hodnota přesahující 6 °C byla opětovně zaznamenána uzlem C. Po většinu měřeného období byly na uzlu B zaznamenávány nižší hodnoty, než u ostatních uzlů.

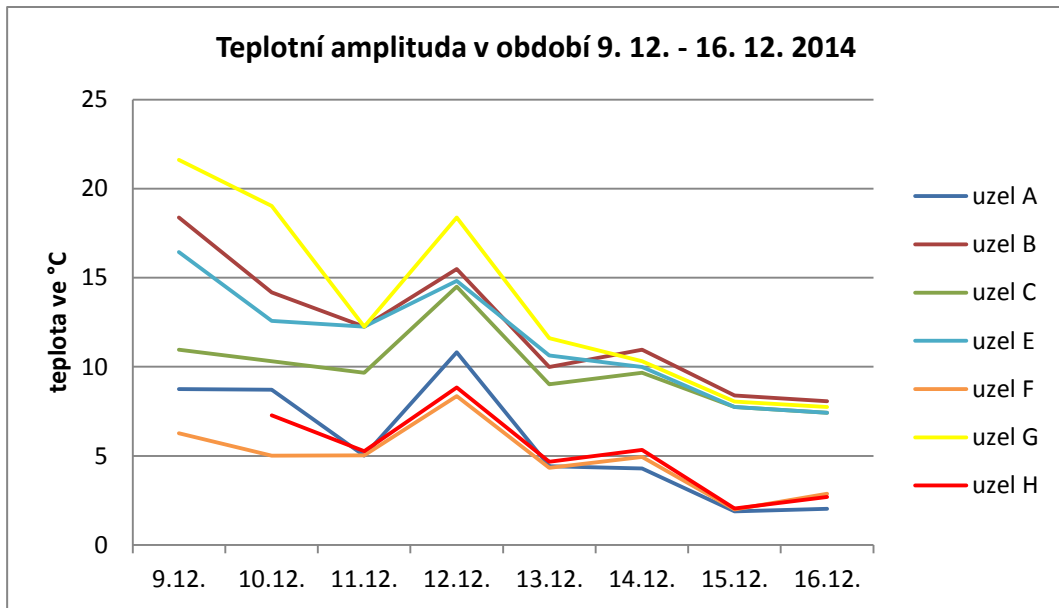
6.2.2 Teplotní extrémy



Graf 7: Teplotní extrémy v období 9. 12. – 16. 12. 2014

Nejnižší minimální teploty byly v zimním období naměřeny všemi uzly 10. 12. Byly zaznamenány v rozpětí -10 až -4 °C. Nejnižší teplota -10 °C byla naměřena uzlem G. Nejvyšší denní teploty byly zjištěny 12. 12. a pohybovaly se v rozmezí 7 až 14 °C. Nejvyšší hodnota 14 °C byla naměřena uzlem G. V zimním období se teplotní minima objevovala nejčastěji kolem 7. hodiny, teplotní maxima pak od 13. do 14. hodiny. U uzlu H byly pro malé množství dat teplotní extrémy zjišťovány až od 10. 12. Hodnoty teplotních minim a maxim mají během celého období u všech uzlů obdobný průběh.

6.2.3 Teplotní amplituda

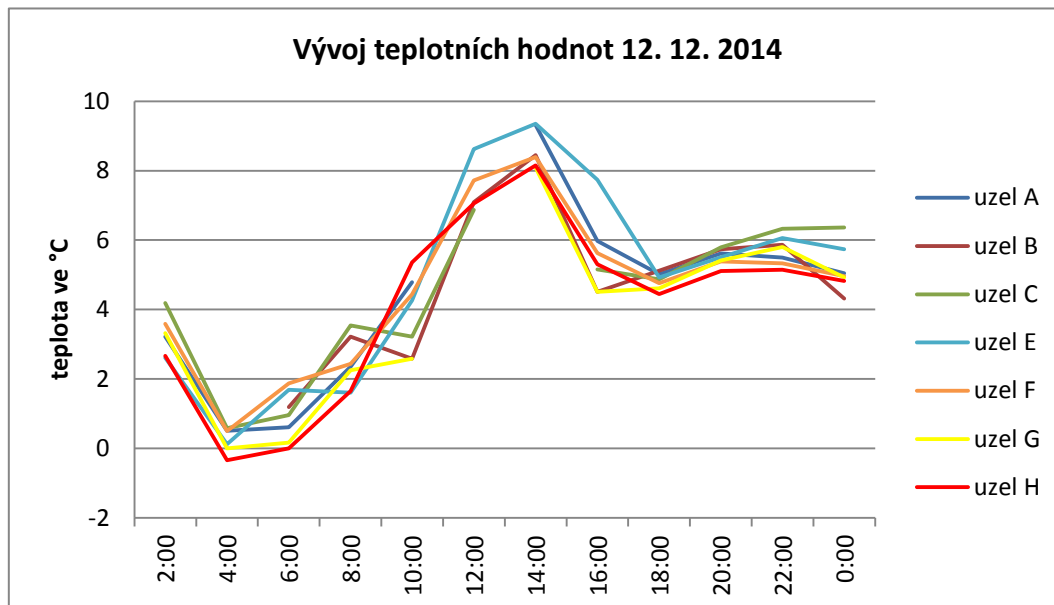


Graf 8: Teplotní amplituda v období 9. 12. – 16. 12. 2014

Největší rozdíly mezi maximální a minimální denní teplotou byly pozorovány 9. 12. Teplotní amplituda v tento den přesahovala na uzlu G a činila 20 °C. Ve zbývajících dnech zimního období docházelo kromě dne 12. 12. k postupnému poklesu hodnoty teplotní amplitudy. Nejnižších hodnot dosahovala teplotní amplituda 15. a 16. 12., kdy se teplotní amplituda na uzlech A a H pohybovala u hodnoty 2 °C. Po celou dobu zimních měření jsou patrné poměrně značné rozdíly mezi hodnotami některých uzlů. Uzly G, B, E a C vykazují vyšší hodnoty než uzly A, F a H, v extrémním případě kolem 15 °C.

6.2.4 Radiační režim počasí

V zimním období byl nejvýrazněji pozorován radiační chod počasí dne 12. 12. Průměrná denní teplota se v tento den pohybovala od 4 do 6 °C.

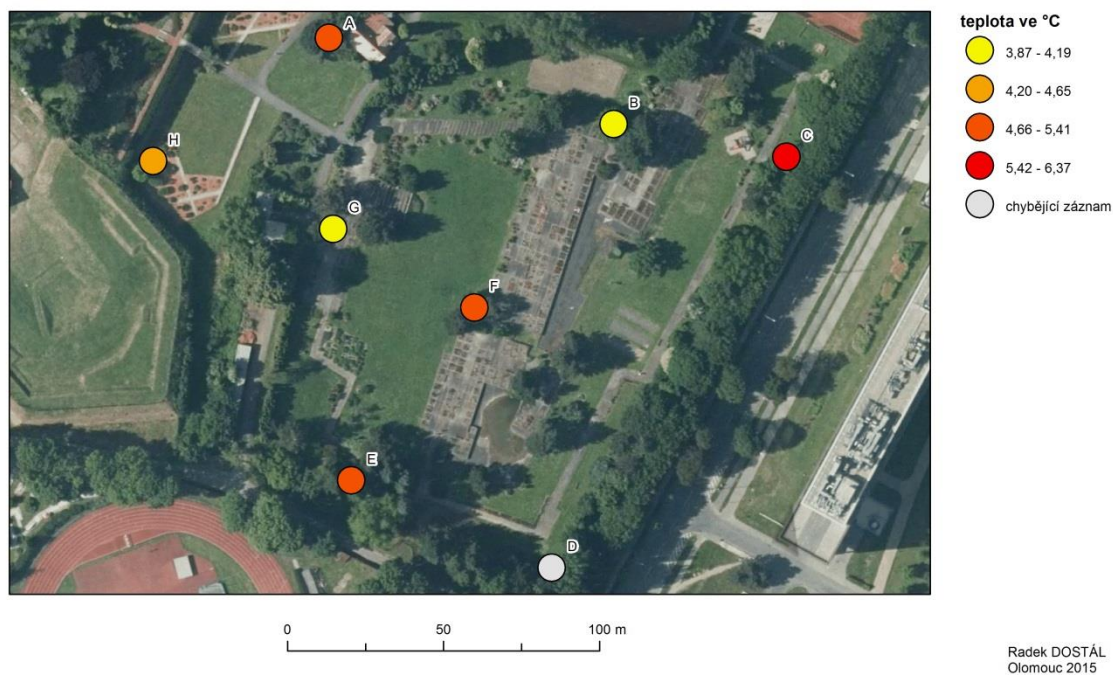


Graf 9: Vývoj teplot 12.12. 2014

V tento den měly teplotní hodnoty na všech uzlech velmi podobný průběh, s výjimkou malých odchylek uzlu B a C v ranních a dopoledních hodinách a také uzlu E v době od 12 do 16 hodin. Nejvyšší teplota byla pozorována na uzlu A a E ve 14 hodin. Teplota v tuto dobu dosahovala hodnoty 9,3 °C. Nejnižší hodnota byla zaznamenána uzlem H ve 4 hodiny ráno. Teplota se v tuto dobu pohybovala v rozmezí od -0,3 °C do 0,5 °C.

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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

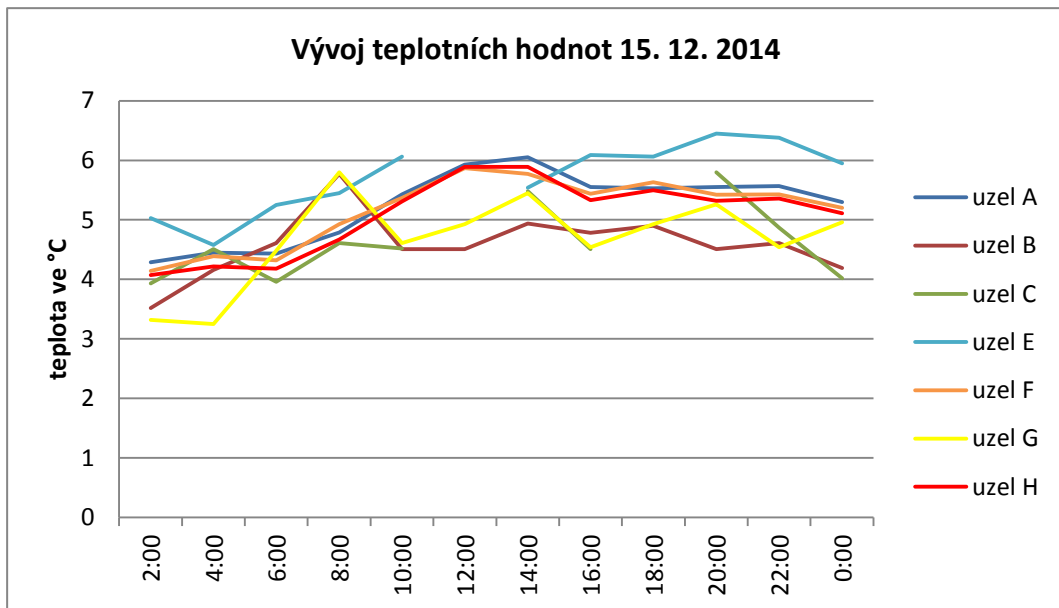


Obr. 17 Průměrné denní teploty 12. 12. 2014

Dne 12. 12. bylo možné pozorovat nejvyšší průměrnou denní teplotu v okolí uzlu C. Nejnižší průměrné denní teploty se vyskytovaly okolo uzlů B a G. Přestože chybí hodnota průměrné denní teploty naměřené uzlem D, je patrné, že se v tento den vyskytovaly ve východní a jižní části vyšší teploty, než na zbytku území.

6.2.5 Advekční režim počasí

Advekční chod počasí bylo možné během zimního měření nejvýrazněji pozorovat 15.12. Průměrná denní teplota se v tento den u uzlů pohybovala od 4 do 6 °C.

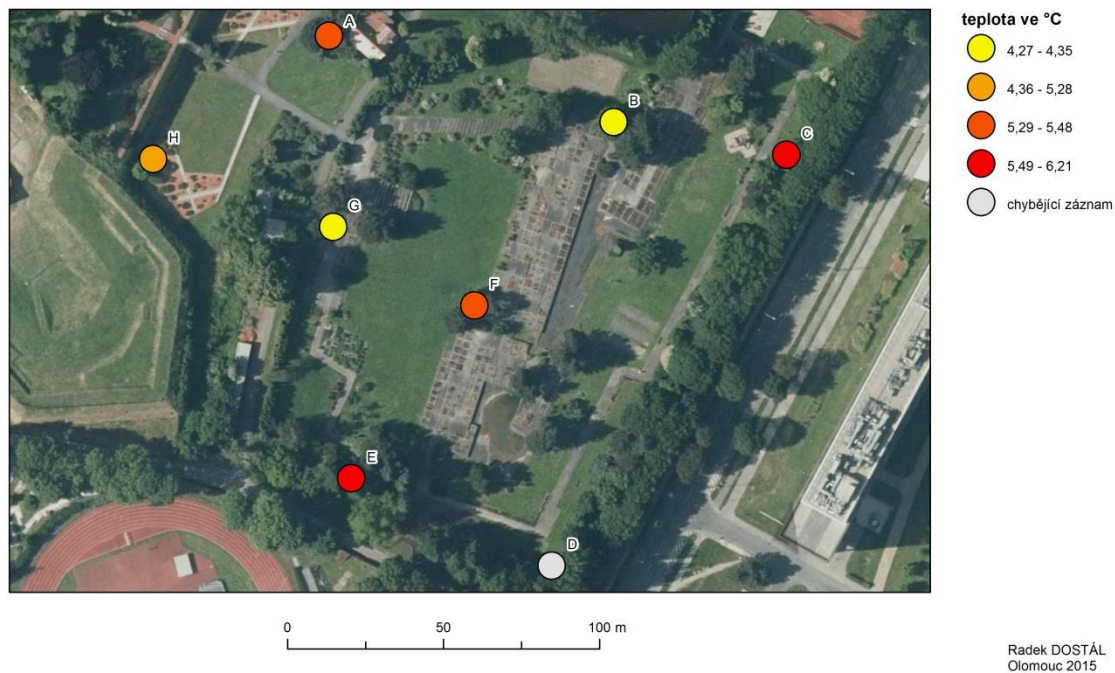


Graf 10: Vývoj teplot 15. 12. 2014

Vývoj teplot u uzlů A, F a H má velmi podobný průběh. Během dne se také objevovaly občasné komunikační výpadky, především u uzlu C a částečně u uzlu E. Nejvyšší teplota byla naměřena uzlem A ve 20 hodin. Teplota byla v tuto dobu 6,45 °C. Nejnižší teplota byla zaznamenána uzlem G ve 4 hodiny ráno. Hodnota nejnižší teploty byla 3,25 °C.

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 15. 12. 2014



Obr. 17 Průměrné denní teploty 15. 12. 2014

Dne 15. 12. byly nejvyšší teploty pozorovány okolo uzlů C a E. Nejnižší teploty byly opět pozorovány v okolí uzlů B a G. Rozložení teplot v tento den je velmi podobné rozložení dne 12. 12.

7 DISKUZE

Bezdrátové sensorové sítě jsou novou rozvíjející se technologií, která může být využita v mnoha aplikacích. Pomocí této technologie lze sledovat fyzickogeografické i socioekonomické charakteristiky. V rámci bakalářské práce byla tato technologie nasazena pro sledování teploty na osmi místech nacházejících se v Botanické zahradě v centru města Olomouce. Bezdrátová sensorová síť má tu výhodu, že uzly mohou sbírat data ve vysoké hustotě a zasílat je 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 snímacím intervalu bude nedostatečné pokrytí území daty, ale bude uspořena energie uzlu. Naměřená data je 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.

V průběhu měření byla zaznamenána nespolehlivost přenosu dat v terénním prostředí a to především u nejvzdálenějších uzlů od brány. 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 byla komunikace ovlivněna překážkami v komunikační cestě a také rušením přenosu dat okolními WiFi sítěmi fungujícími na stejné frekvenci. 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 sítě a eventuálnímu zaslání varovné SMS, by také bylo možné detekovat problémy s uzlem dříve, než při manuálním stahování a zpracování dat.

Po zanalyzování naměřených dat je možné v grafech teplotních charakteristik pozorovat teplotní výkyvy, které poukazují na chybu při měření. Tato chyba mohla být způsobena zákrytem okolí senzoru vegetací.

8 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala využitím bezdrátových sensorových sítí v environmentálních měřeních. V rámci této práce byla nasazena bezdrátová sensorová síť s osmi uzly do areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci, byl vytvořen a otestován komunikační protokol a následně byla uskutečněna měření teplotních hodnot. Nejdříve bylo nutné se s lokalitou měření seznámit a vytipovat si místa umístění uzlů a brány. Při rozmisťování uzlů bylo nutné dodržet umístění uzlů ve výšce 2 metrů nad zemí, stejnou dobu 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 v terénu a najít pro ni umístění. Pro tento účel posloužila budova s technickým zázemím pracovníků rozária Botanické zahrady, kteří zde bránu umožnili uschovat. Hodnoty naměřené jednotlivými uzly byly odesílány do brány, kde byly ukládány. Odtud byla získaná data stažena do počítače a poté analyzována. Měření probíhala během podzimu a zimy. Podzimní měření probíhala v období 25. 9. až 9. 10., zimní v období 8. až 16. 12. Z naměřených dat byly vypočteny průměrné denní teploty, zjištěny teplotní extrémy a teplotní amplituda. Ze získaných hodnot průměrných denních teplot, které byly vypočteny pro každý uzel, byly následně vytvořeny pomocí bodové metody mapy rozložení teplot. Z každého měřeného období byly vybrány dva reprezentativní dny s radiačním a advekčním režimem počasí. Pro tyto dny byly vytvořeny grafy vývoje teplot ve dvouhodinových intervalech a následně byly okomentovány.

Během obou měřených období bylo rozložení průměrných denních teplot rovnoměrné. Na měřeném území se nevyskytovaly výrazně chladnější ani teplejší oblasti. Vyšší teploty byly o něco častěji zaznamenány uzly, jejichž okolí bylo chráněno okolní vegetací. Naopak nižší teploty se objevovaly spíše u uzlů umístěných na volném prostranství. S výjimkou posledních dní podzimního období bylo možné pozorovat na všech uzlech obdobný trend vývoje teplotních extrémů. Teplotní amplituda má po většinu podzimního období podobný vývoj u všech uzlů, naopak v zimním období se u této charakteristiky projevovaly výraznější rozdíly mezi jednotlivými uzly. Nejvyšší naměřená teplota v podzimním období byla naměřena uzlem C a dosahoval hodnoty 25,16 °C. Nejnižší teplota v tomto období byla naměřena uzlem G a měla hodnotu 3,22 °C. V zimním období byla nejvyšší i nejnižší teplota naměřena uzlem G. Nejvyšší teplota měla hodnotu 14,19 °C, hodnota nejnižší teploty klesla na -10 °C.

Podzimní měření byla ovlivněna častými výpadky v komunikaci. Tyto výpadky se v zimním období s výjimkou jednoho uzlu, který byl z výsledků měření odstraněn, vyskytovaly ve výrazně menší míře.

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/

BIELSA, Alberto. Smart Agriculture project in Galicia to monitor vineyards with Waspote. *Libelium - Connecting Sensors to the Cloud*. 2012. Dostupné z: http://www.libelium.com/smart_agriculture_vineyard_sensors_waspote/

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/

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

Documentation | Libelium. *Libelium - Connecting Sensors to the Cloud*[online]. 2014. Dostupné z: 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

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

HYNČICA, Ondřej. Bezdrátové sítě typu mesh. [online]. 2005. Dostupné z: 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, 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/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

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/plug-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.).

SLUITER, R. Interpolation methods for climate data. In: [online]. 2008. Dostupné z: 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

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.

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

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

Wasmote programming guide. [online]. 2014. vyd. Dostupné z:
[http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_programming_guide.p
df](http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasmote_programming_guide.pdf)

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

Příloha 1	Komunikační protokol
Příloha 2	Mapa průměrných denních teplot 25. 9. 2014
Příloha 3	Mapa průměrných denních teplot 26. 9. 2014
Příloha 4	Mapa průměrných denních teplot 27. 9. 2014
Příloha 5	Mapa průměrných denních teplot 28. 9. 2014
Příloha 6	Mapa průměrných denních teplot 29. 9. 2014
Příloha 7	Mapa průměrných denních teplot 30. 9. 2014
Příloha 8	Mapa průměrných denních teplot 1. 10. 2014
Příloha 9	Mapa průměrných denních teplot 2. 10. 2014
Příloha 10	Mapa průměrných denních teplot 3. 10. 2014
Příloha 11	Mapa průměrných denních teplot 4. 10. 2014
Příloha 12	Mapa průměrných denních teplot 5. 10. 2014
Příloha 13	Mapa průměrných denních teplot 6. 10. 2014
Příloha 14	Mapa průměrných denních teplot 7. 10. 2014
Příloha 15	Mapa průměrných denních teplot 8. 10. 2014
Příloha 16	Mapa průměrných denních teplot 9. 10. 2014
Příloha 17	Mapa průměrných denních teplot 9. 12. 2014
Příloha 18	Mapa průměrných denních teplot 10. 12. 2014
Příloha 19	Mapa průměrných denních teplot 11. 12. 2014
Příloha 20	Mapa průměrných denních teplot 12. 12. 2014
Příloha 21	Mapa průměrných denních teplot 13. 12. 2014
Příloha 22	Mapa průměrných denních teplot 14. 12. 2014
Příloha 23	Mapa průměrných denních teplot 15. 12. 2014
Příloha 24	Mapa průměrných denních teplot 16. 12. 2014

Volné přílohy

Příloha 25 DVD

Popis struktury DVD

Adresáře:

Metadata

Text_Prace

Vystupni_Data (data vzniklá na základě měření v terénu, komunikační protokol)

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>
#include <WaspFrame.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";
char CONNECTOR_B[3] = "CB";
```

```
char CONNECTOR_C[3] = "CC";
char CONNECTOR_D[3] = "CD";
char CONNECTOR_E[3] = "CE";
char CONNECTOR_F[3] = "CF";

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;
float connectorBFloatValue;
float connectorCFloatValue;
float connectorDFloatValue;
float connectorEFloatValue;
float connectorFFloatValue;

int connectorAIntValue;
int connectorBIntValue;
int connectorCIntValue;
int connectorDIntValue;
int connectorEIntValue;
int connectorFIntValue;

char connectorAString[10];
char connectorBString[10];
char connectorCString[10];
char connectorDString[10];
char connectorEString[10];
char connectorFString[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);

// skryty 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
Waspmotel59ense!\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_SOCKET3B);
  delay(10);

  SensorGasv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET2B);
  SensorGasv20.configureSensor(SENS_SOCKET2B, 1, 100);
  delay(10);

  SensorGasv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SOCKET4A);
  SensorGasv20.configureSensor(SENS_SOCKET4A, 1, 10);
  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_SOCKET3B);

SensorGasv20.setSensorMode(SENS_OFF, SENS_SOCKET2B);

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\r\n",
        nodeID ,
        sequenceNumber,
        BATTERY, batteryLevelString,
        CONNECTOR_A , connectorAString,
        CONNECTOR_B , connectorBString,
        CONNECTOR_C , connectorCString,
        CONNECTOR_D , connectorDString,
        CONNECTOR_E , connectorEString,
        CONNECTOR_F , connectorFString);

// 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++;
```

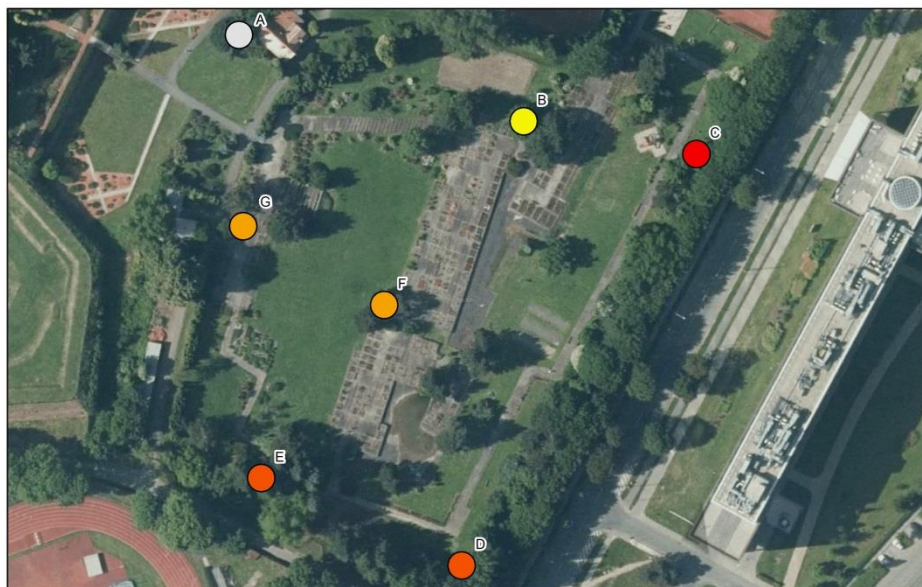
```
}
```


Příloha 2

Mapa průměrných denních teplot 25. 9. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 25. 9. 2014



teplota ve °C

- 11,13
- 11,14 - 12,79
- 12,80 - 14,35
- 14,36 - 17,01
- chybějící záznam

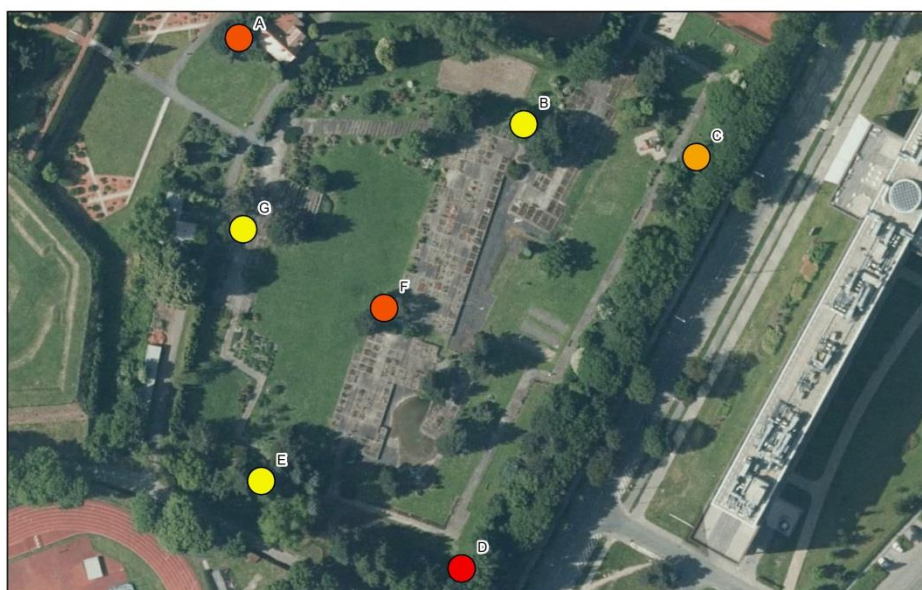
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 3

Mapa průměrných denních teplot 26. 9. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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



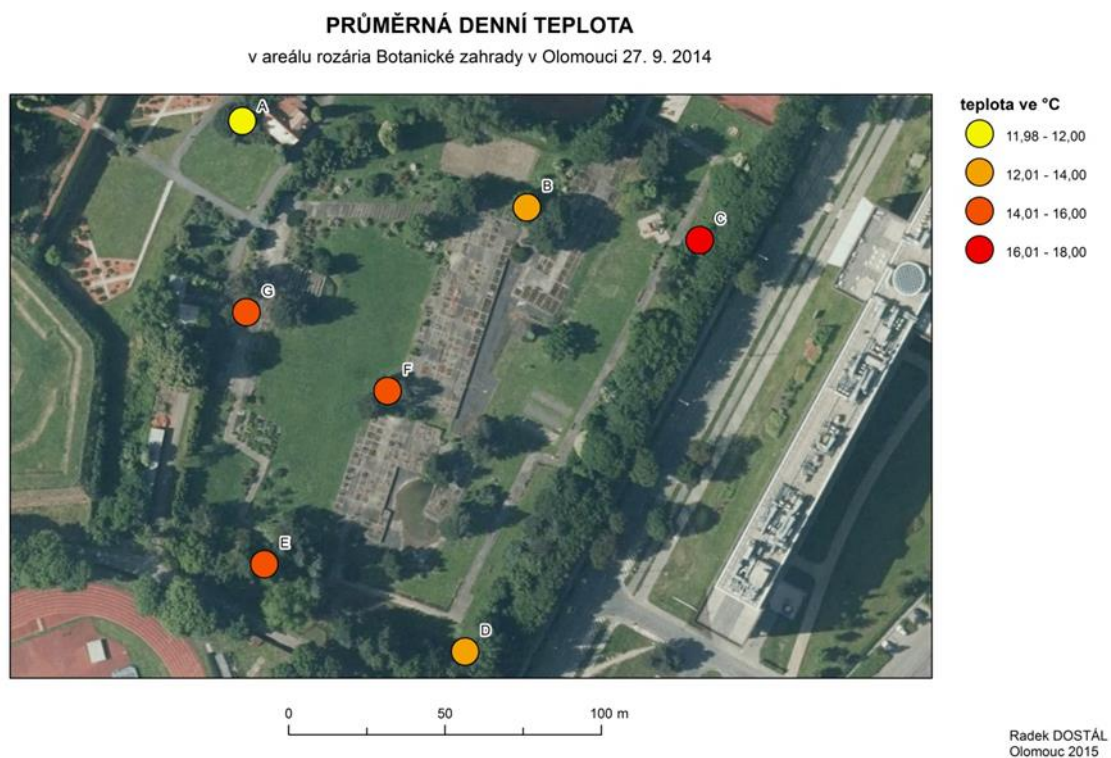
teplota ve °C

- 11,85 - 12,09
- 12,10 - 12,33
- 12,34 - 12,70
- 12,71 - 13,30

Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

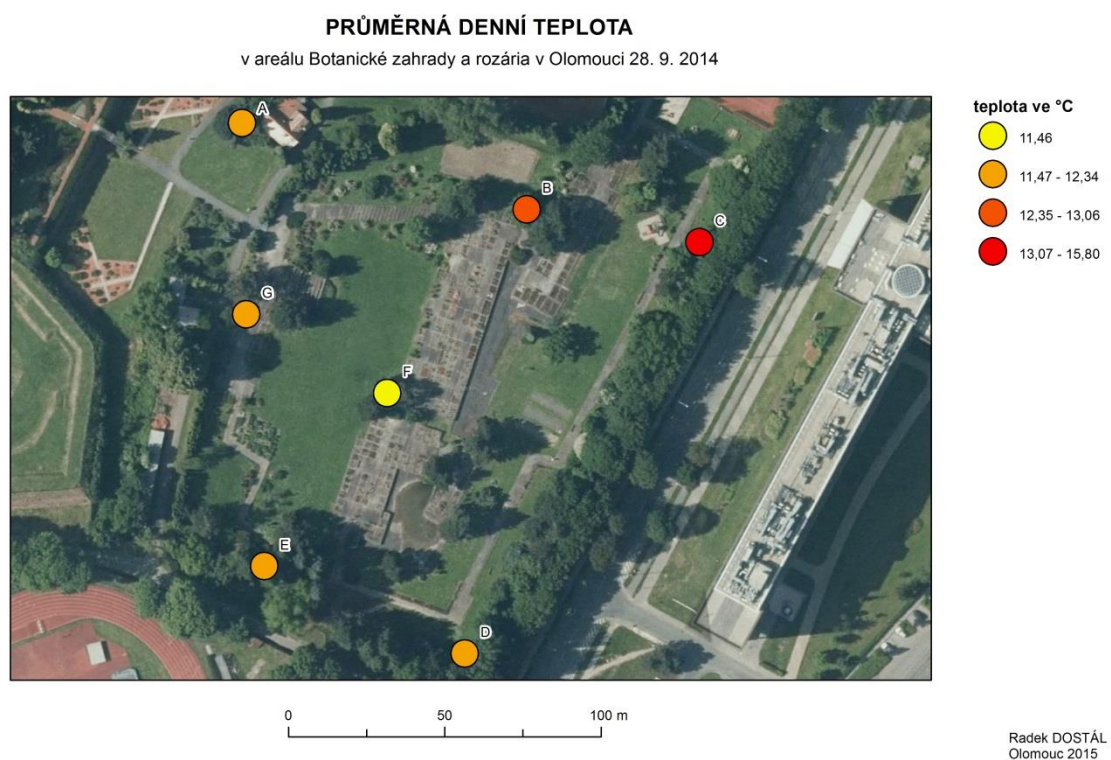
Příloha 4

Mapa průměrných denních teplot 27. 9. 2014



Příloha 5

Mapa průměrných denních teplot 28. 9. 2014

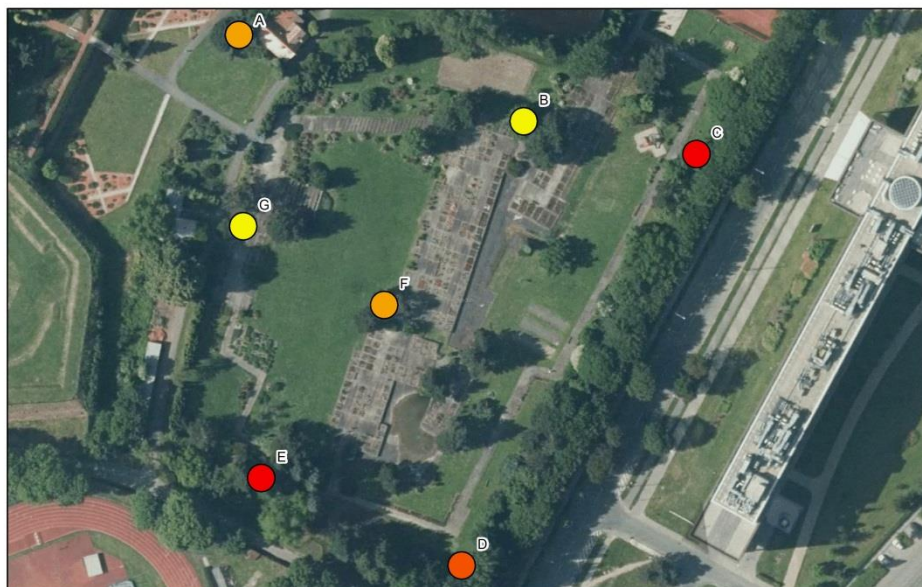


Příloha 6

Mapa průměrných denních teplot 29. 9. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 29. 9. 2014



teplota ve °C

10,88 - 11,29

11,30 - 12,52

12,53 - 13,62

13,63 - 14,27

Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 7

Mapa průměrných denních teplot 30. 9. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 30. 9. 2014



teplota ve °C

12,09

12,10 - 13,30

13,31 - 13,99

14,00 - 17,09

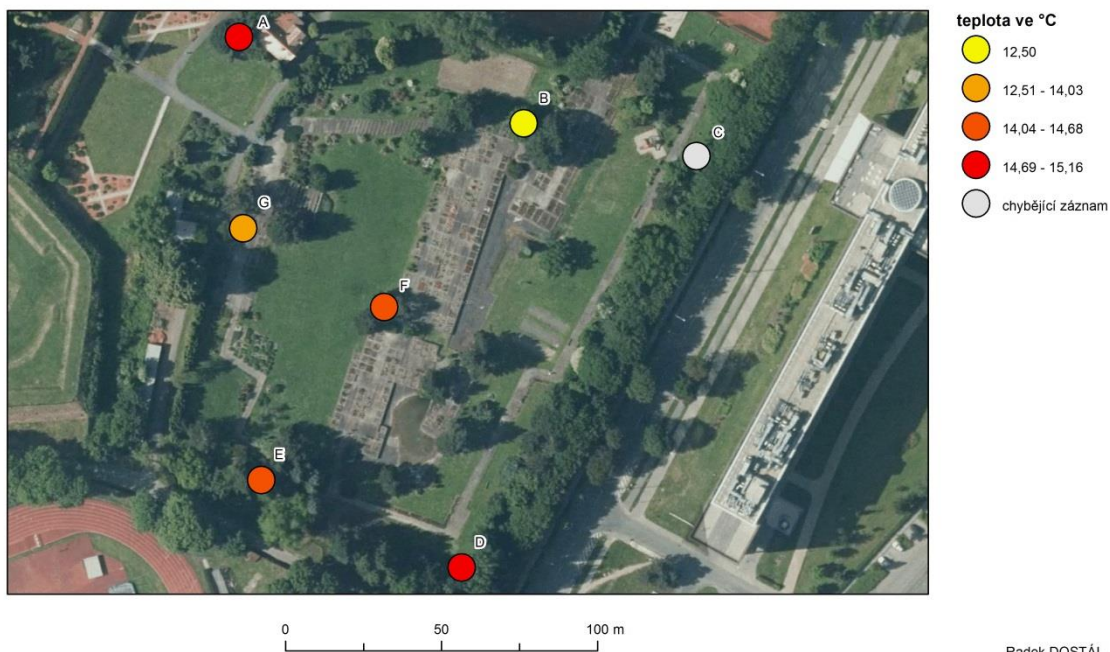
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 8

Mapa průměrných denních teplot 1. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 1. 10. 2014



Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 9

Mapa průměrných denních teplot 2. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 2. 10. 2014



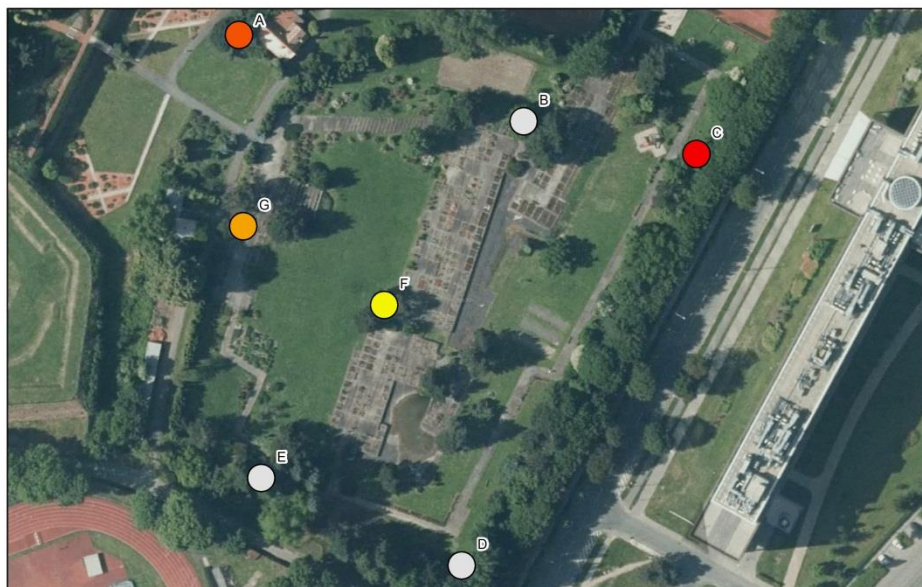
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 10


Mapa průměrných denních teplot 3. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 3. 10. 2014



teplota ve °C

-  12,89
-  13,70
-  13,78
-  15,88
-  chybějící záznam

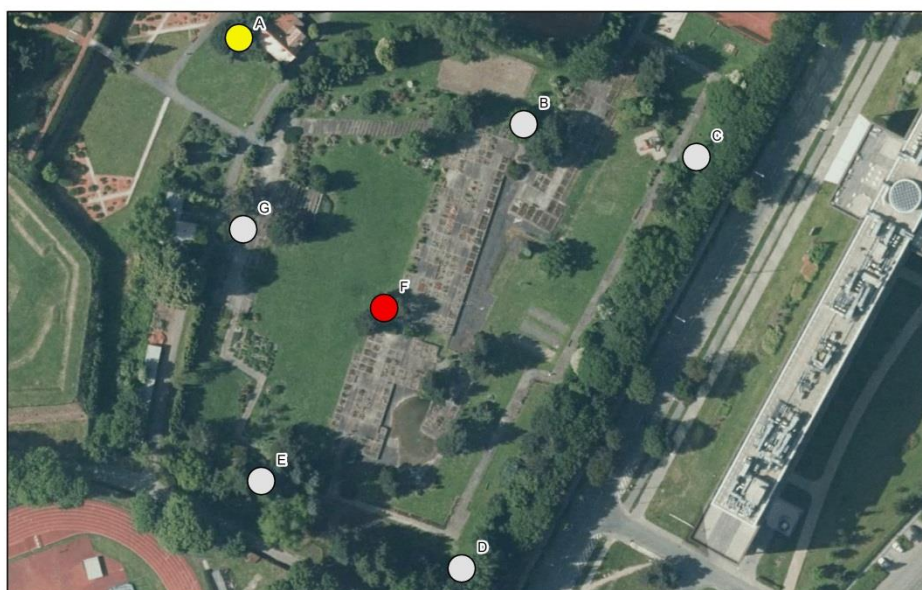
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 11

Mapa průměrných denních teplot 4. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 4. 10. 2014



teplota ve °C

-  11,61
-  11,83
-  chybějící záznam

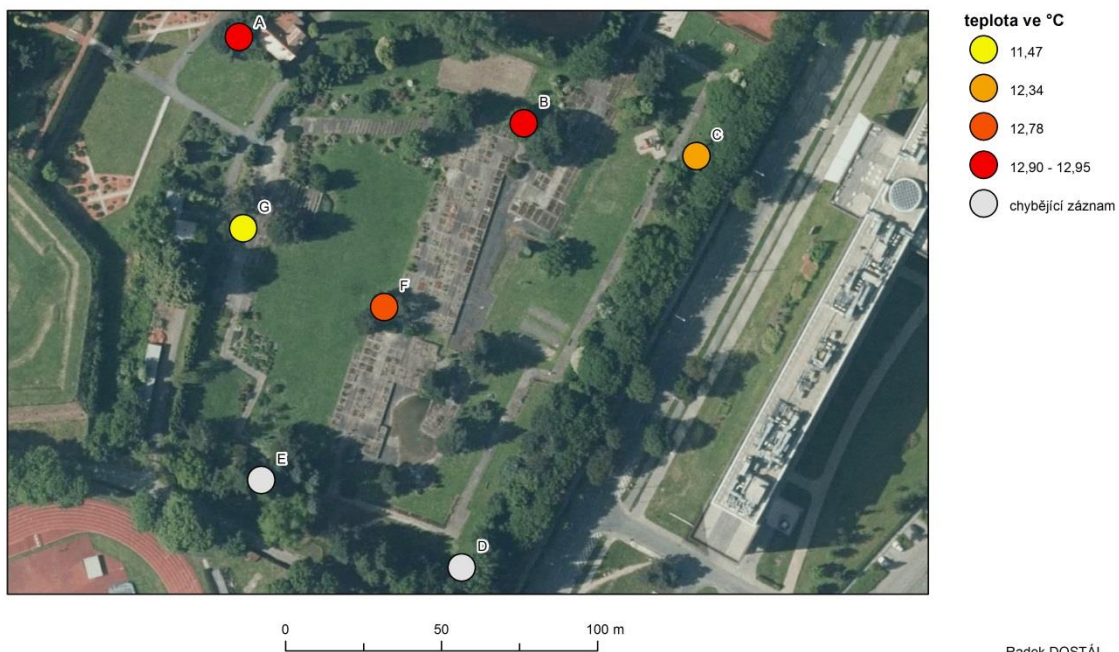
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 12

Mapa průměrných denních teplot 5. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 5. 10. 2014



Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 13

Mapa průměrných denních teplot 6. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 6. 10. 2014



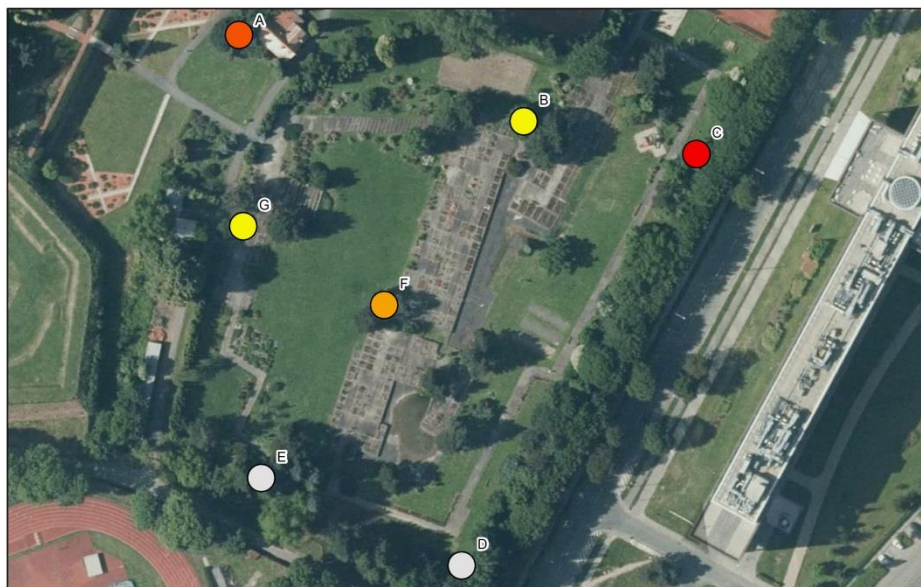
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 14

Mapa průměrných denních teplot 7. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 7. 10. 2014



teplota ve °C

10,89 - 11,72

11,73 - 12,54

12,55 - 13,36

13,37 - 14,19

chybějící záznam

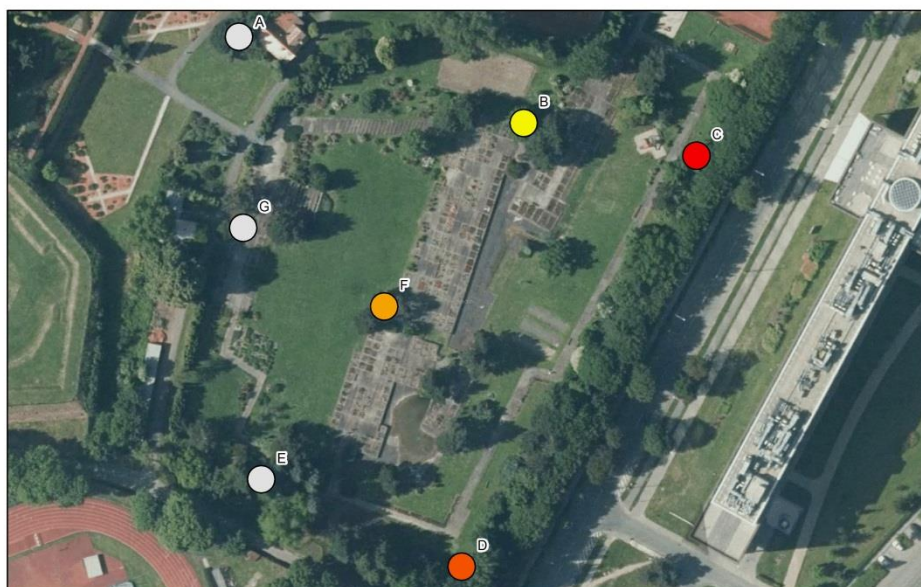
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 15

Mapa průměrných denních teplot 8. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 8. 10. 2014



teplota ve °C

12,82

12,83 - 13,48

13,49 - 13,62

13,63 - 13,95

chybějící záznam

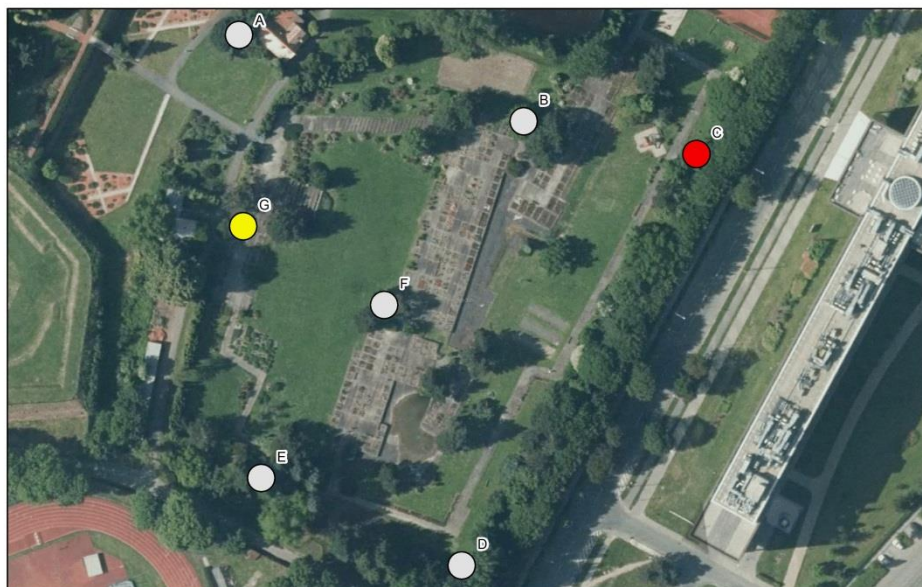
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 16

Mapa průměrných denních teplot 9. 10. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 9. 10. 2014



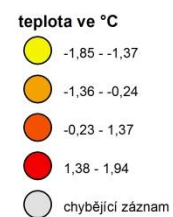
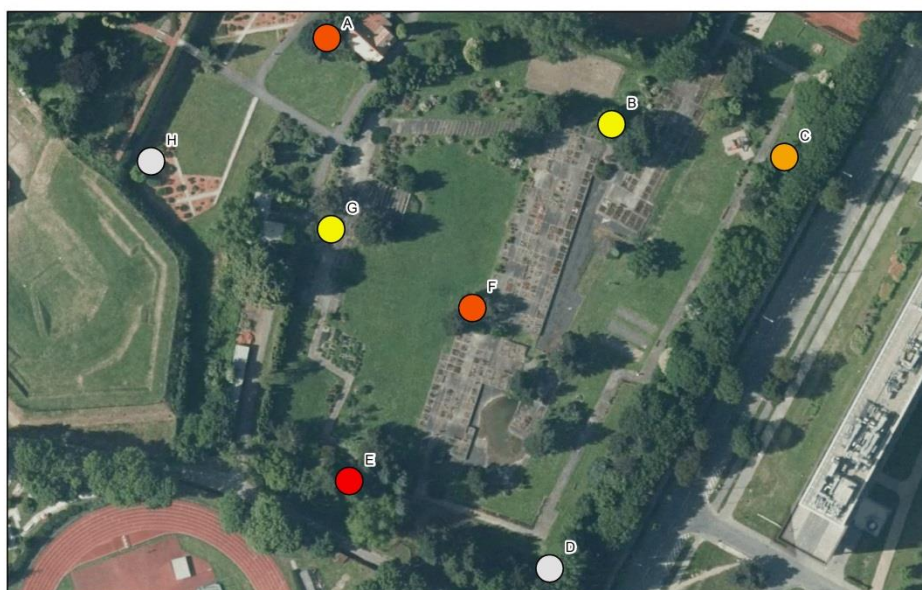
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 17

Mapa průměrných denních teplot 9. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 9. 12. 2014



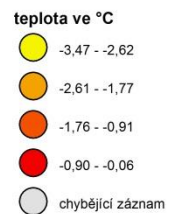
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 18

Mapa průměrných denních teplot 10. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 10. 12. 2014



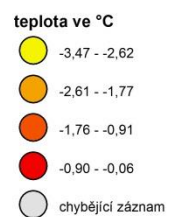
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 19

Mapa průměrných denních teplot 10. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 10. 12. 2014



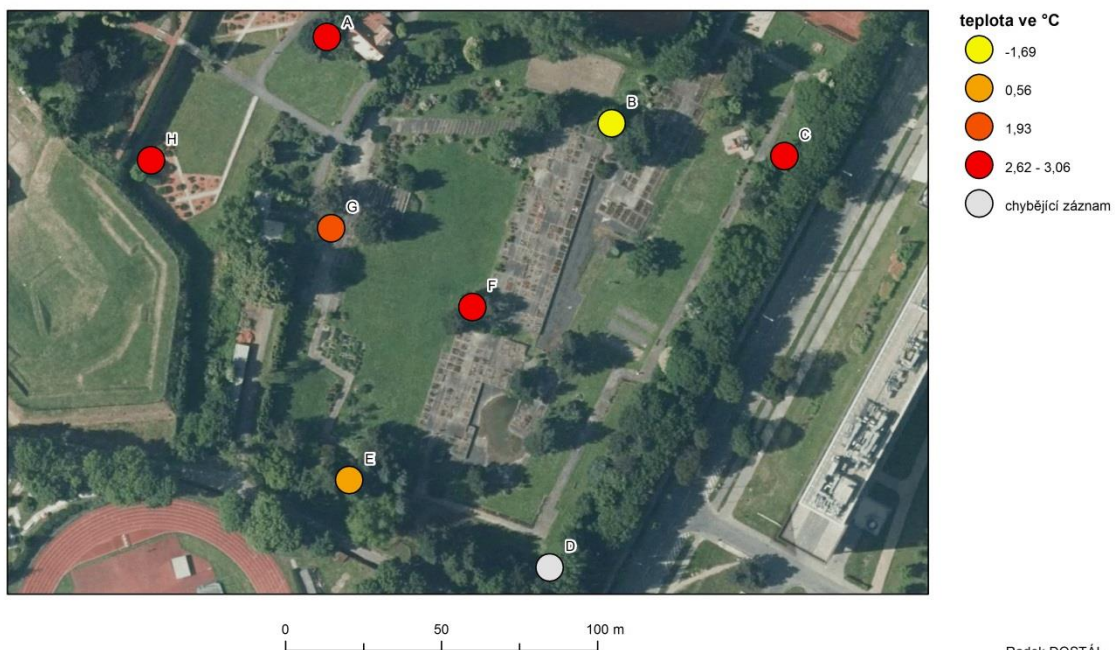
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 20

Mapa průměrných denních teplot 11. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 11. 12. 2014



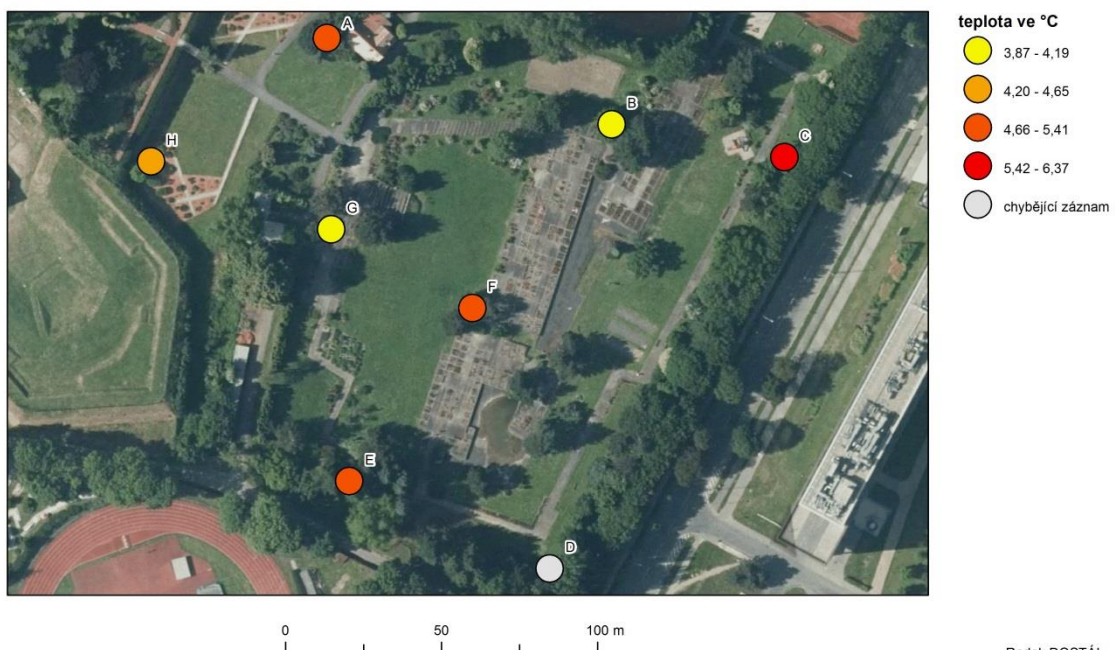
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 21

Mapa průměrných denních teplot 12. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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



Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 21

Mapa průměrných denních teplot 13. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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



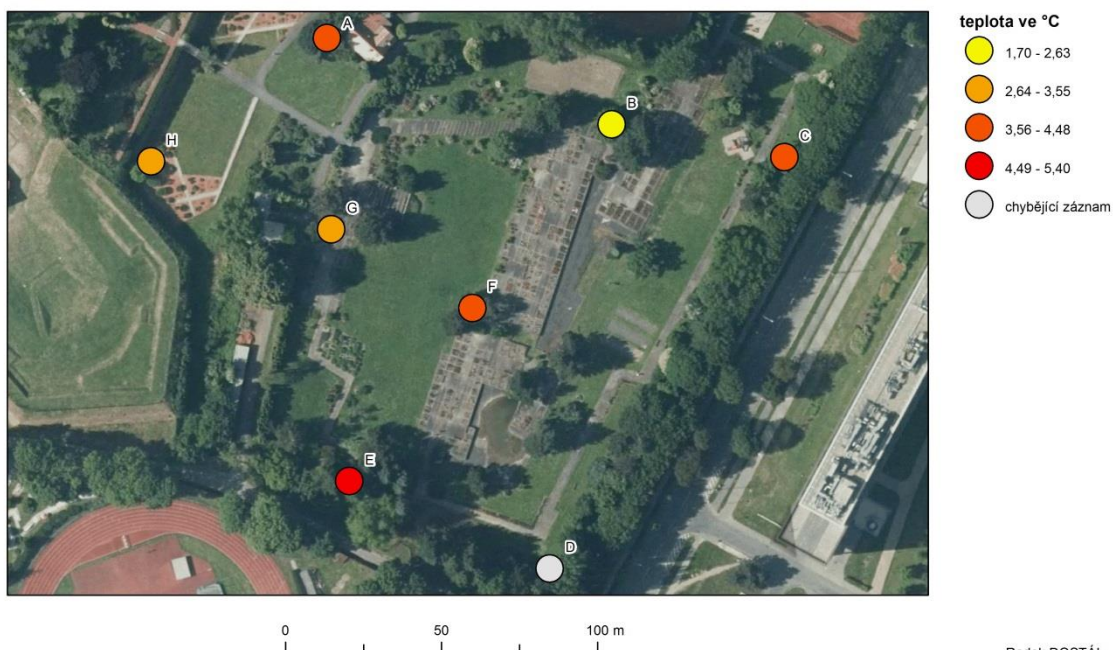
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 22

Mapa průměrných denních teplot 14. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

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



Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 23

Mapa průměrných denních teplot 15. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 15. 12. 2014



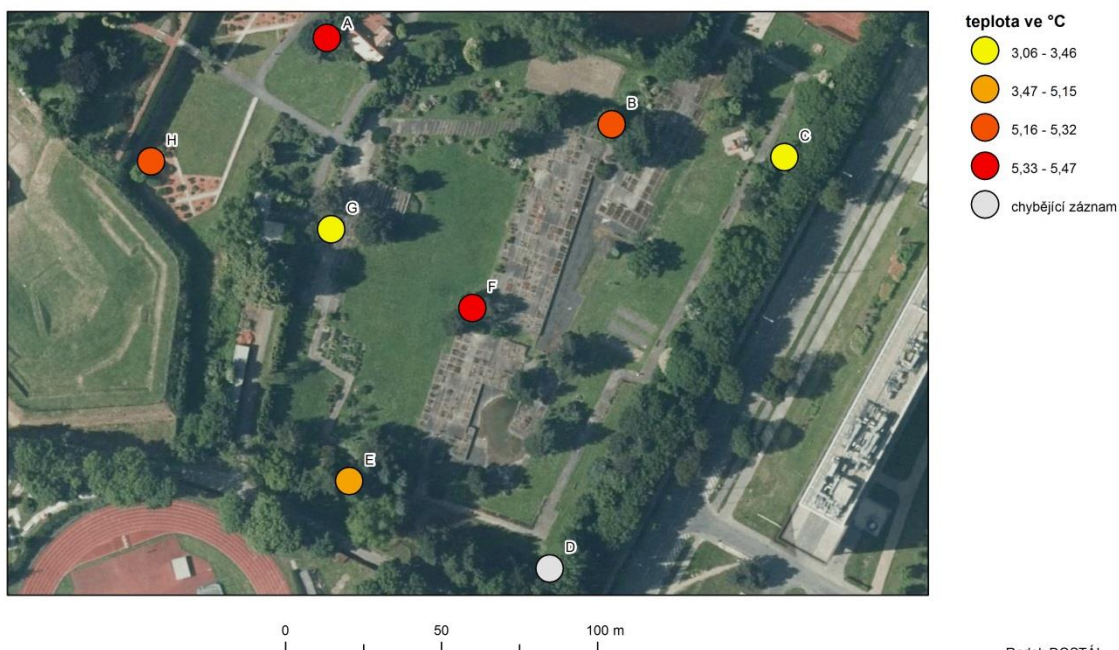
Radek DOSTÁL
Olomouc 2015

Příloha 24

Mapa průměrných denních teplot 16. 12. 2014

PRŮMĚRNÁ DENNÍ TEPLOTA

v areálu Botanické zahrady a rozária v Olomouci 16. 12. 2014



Radek DOSTÁL
Olomouc 2015