

## BEZDRÁTOVÁ SENZOROVÁ SÍŤ SLEDUJÍCÍ ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Vendula HEJLOVÁ

Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, UP Olomouc, 17. listopadu 50, 77146, Olomouc, Česká republika  
*venda.hejlova@gmail.com*

### Abstrakt

Bezdrátové senzorové sítě představují nové efektivní metody sběru environmentálních i socioekonomických dat. Mezi základní složky bezdrátové senzorové sítě patří uzly, které jsou vybavené senzory pro monitorování vybraných charakteristik okolí, brána sloužící jako shromaždiště naměřených dat a server, kde jsou data dlouhodobě uložena a prostřednictvím něhož k nim může být přistupováno (Murthy, 2004).

Jednou z aplikací bezdrátových senzorových sítí je sledování znečištění ovzduší. Ze získaných dat je analyzováno a modelováno znečištění způsobené polutanty v městském prostředí. Následně je poukázáno na reálnou situaci znečištění v odlišných částech města. Výhodou této technologie je přenos dat v reálném čase, a tak je možné vydat včas varování týkající se překročení zdraví ohrožujících limitů.

V Olomouci byla nainstalována experimentální bezdrátová senzorová síť kolem rušné ulice 17. listopadu, která je situovaná v centru města a obklopena areálem vysokoškolských kolejí z jedné strany a městským parkem ze strany druhé. V tomto prostředí byly rozmístěny uzly Waspnote Plug&Sense vybavené senzory pro sledování teploty vzduchu, relativní vlhkosti, NO<sub>2</sub>, srážek, směru a rychlosti větru. Na podkladě získaných hodnot byla identifikována místa, která byla v době měření při vybraných meteorologických podmínkách a provozu na silnici nejvíce zatížena oxidem dusičitým.

V budoucnosti budou uzly bezdrátové senzorové sítě vybaveny více senzory, umístěny ve venkovním prostředí dlouhodobě, a tak bude modelováno rozložení polutantů v odlišných meteorologických podmínkách, hodnoceno kdy a kde jsou polutanty více produkovány a jestli existuje závislost mezi jejich hodnotami a intenzitou dopravy na ulici 17. listopadu.

### Abstract

Wireless sensor networks represent new effective method of collecting environmental and socioeconomic data. Wireless nodes are elementary parts of every wireless sensor network. These nodes are equipped with sensors monitoring selected characteristics. The second part of wireless sensor network is a gateway which is a gathering point of measured data. Server is the last part of every wireless sensor network and it is used for a long time storage and as an access point to measured data (Murthy, 2004).

Wireless sensor networks are commonly used to monitor air pollution. Obtained data are analysed and pollution in city environment is modelled. Real situation including pollution in different parts of city is highlighted. The advantage of this technology is transmission of data in the real time so that warnings can be released immediately after limits are exceeded.

Experimental wireless sensor network was installed along busy road 17th November in the center of Olomouc City. This street is surrounded by dormitories from one side. City park is situated in the other side. Nodes Waspnote Plug&Sense were situated in this environment. These nodes were equipped with sensors for monitoring of air temperature, relative humidity and NO<sub>2</sub>, precipitation, wind speed and wind direction. Places suffering the most from pollution in selected meteorological conditions and traffic were identified.

Wireless nodes will be situated in external environment for a long time so that the distribution of pollutants by various meteorological conditions will be modelled. The evaluation of time and place distribution of air pollutants will be shown. The dependency between pollutants level and traffic intensity will be declared.

**Klíčová slova:** bezdrátová senzorová síť; monitoring; znečištění ovzduší

**Keywords:** wireless sensor network, monitoring, air pollution

## ÚVOD

Znečištění ovzduší je vážným problémem, kterému je věnována pozornost po celém světě. Nejvíce polutantů je produkováno spalováním fosilních paliv v průmyslu a dopravou, a tak překročením povolených limitů trpí zejména velká města, přístavní a letištní oblasti. Doprava je obrovský problém ve velkých městech. V rozvojových zemích jsou ohrožena i menší města, protože stoupá počet automobilů v jejich ulicích a k pohonu aut jsou používána nepřilíživá kvalitní paliva. S dopravou jsou spojeny emise NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, VOC, a tak ve velkých městech je nezbytné hodnoty těchto polutantů monitorovat a snažit se držet jejich koncentrace pod hranicí povolených limitů. Bezdrátové senzorové sítě jsou novou rozvíjející se technologií, kterou je možné nasadit pro sledování koncentrací hodnot emisí vybraných prvků (Bielsa, 2011).

Tento článek řeší nasazení bezdrátové senzorové sítě pro sledování polutantů kolem silnice 17. listopadu v Olomouci. Tato silnice se nachází v centru města a je poměrně rušnou dopravní tepnou, která je obklopena parkem z jedné strany a areálem kolejí ze strany druhé. Ke sledování byly využívány uzly Waspnote Plug&Sense ze dvou řad - Smart Environment a Smart Agriculture produkované španělskou firmou Libelium. Kolem silnice bylo nasazeno pět uzlů vybavených senzory pro sledování hodnot NO<sub>2</sub>, teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Na šestý uzel nacházející se ve středu osazené oblasti byla napojena malá meteorologická stanice, která umožňovala sledovat teplotu vzduchu, relativní vlhkost, srážky, směr a rychlost větru. Směr a rychlost větru jsou významnými činiteli podílejícími se na rozptýlu polutantů v okolí silnice. Na podkladě měření byla vybrána místa, která jsou znečištěna nejvíce, ukázány meteorologické situace, které k tomuto znečištění přispívají a poukázáno na denní dobu, kdy znečištění dosáhlo svého maxima.

## BEZDRÁTOVÁ SENZOROVÁ SÍŤ

Bezdrátová senzorová síť je novou technologií sběru dat. Každá bezdrátová senzorová síť se skládá ze tří základních částí, mezi které patří: uzly, brána a server. Uzly jsou malé jednotky vybavené komunikační jednotkou, mikroprocesorem, pamětí, baterií a rozhraním pro napojení senzorů nebo senzorových desek (Büttrich, 2010, Murthy, 2004). Na uzly je možné napojit rozličné množství senzorů a rozšířit tak spektrum aplikací, kde je tato technologie použita. Uzly sbírají a posílají data na druhou část bezdrátové senzorové sítě, kterou je brána. Některé uzly shromažďují data z více na ně napojených uzlů a přeposílají je na bránu. Tyto uzly jsou označovány jako směrovací uzly (routery). Schéma komunikačního toku dat mezi uzly až k cíli, k bráně, je definováno topologií bezdrátové senzorové sítě. V bráně jsou informace dočasně uloženy, připraveny k dalšímu zpracování nebo jsou pomocí ethernetové komunikace posílány na server, kde jsou trvale uloženy. Komunikace v bezdrátové senzorové síti probíhá na principu rádiového vlnění, kterého využívá protokol operující ve vybraných frekvencích (Podhorský, 2012, Ma, 2008).

## OBLAST ZÁJMU

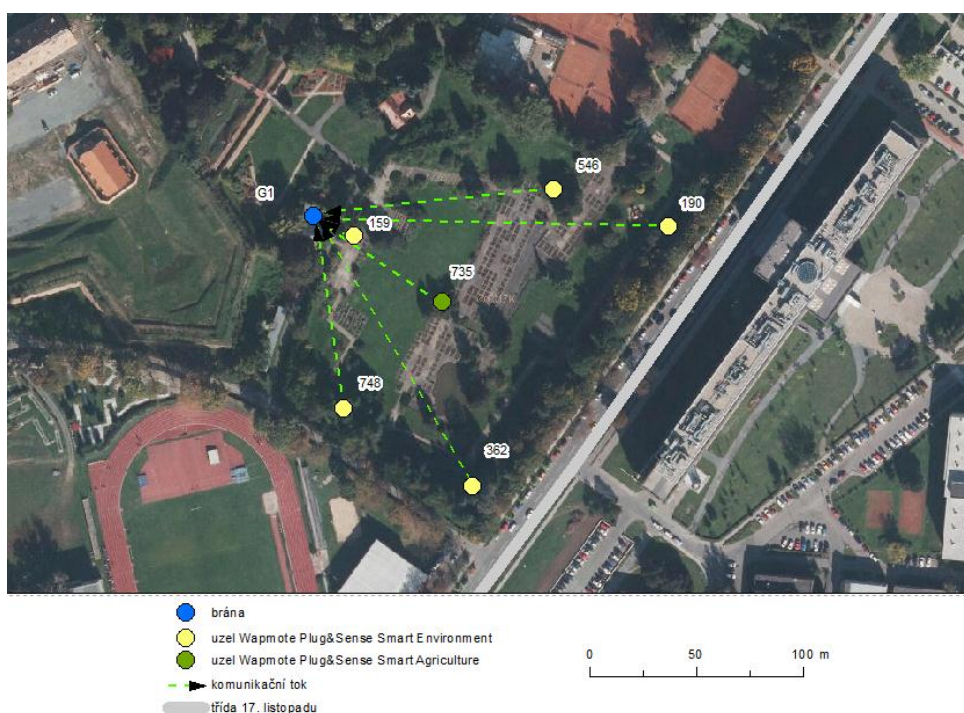
Uzly se senzory byly rozmístěny v centru města Olomouc. Zájmovou oblastí je okolí rušné silnice 17. listopadu. Tato silnice je 802 metrů dlouhá a spojuje třídu Svobody s Masarykovou třídou. Silnice je obklopena rozsáhlým parkem z jedné strany a z druhé strany se nachází areál vysokoškolských kolejí Univerzity Palackého v Olomouci. V této studii byly uzly umístěny do Botanické zahrady a rozária nacházející se u třídy 17. listopadu. Uzly byly rozmístěny v blízkosti silnice a dále od ní, aby mohlo být sledováno, jestli se hodnoty polutantů se vzdávající vzdáleností od silnice významně snižují nebo jsou jejich hodnoty stejné. Míra poklesu hodnot polutantů se vzdáleností od silnice závisí primárně na směru, rychlosti větru a využití země. Tyto souvislosti byly ověřeny i ve studiích (Idso, 2002, George, 2008, Baling a Gober, 2006), které poukazovaly na rozdíly v koncentraci oxidu uhličitého (jako skleníkového plynu) v městské zástavbě i mimo ni a jeho rozptýlení nad rozdílnými funkčními plochami.

## POUŽITÉ UZLY

Uzly, které byly použity k monitoringu, se nazývají Wasmote Plug&Sense. Tato komponenta je produkována španělskou společností Libelium. Uzly Wasmote Plug&Sense jsou vyráběny v několika řadách a ke každé řadě je možné připojit jiné senzory. Používané uzly, na které je možné napojit senzory pro monitorování vzdušných polutantů, pocházejí z řady Wasmote Plug&Sense Smart Environment a Wasmote Plug&Sense Smart Agriculture. Na uzly z řady Smart Environment je možné napojit senzory sledující polutanty produkované dopravou (CO<sub>2</sub>, VOC, NO<sub>2</sub>) a vybrané meteorologické prvky (teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu). Uzly z řady Smart Agriculture umožňují napojit malou meteorologickou stanici sledující srážky, směr a rychlost větru a senzory monitorující teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu. Komunikace mezi uzly byla uskutečňována v pásmu 3,4 GHz a využívala protokolu 802.15.4. Každý uzel i brána má svou MAC adresu a jednoznačné ID, aby došlo při komunikaci k jednoznačné identifikaci jednotlivých uzlů a brány. Všechny řady Wasmote Plug&Sense jsou již zapouzdřeny, a tak jsou vhodné k přímému venkovnímu použití. Data z uzlů vybavených senzory jsou zasílána na bránu – Meshlium, která je od stejného výrobce. Tato brána je také určena do venkovních podmínek, je schopna uložit až 2 GB naměřených hodnot v lokální MySQL databázi a komunikovat se vzdáleným serverovým úložištěm (Wasmote Plug&Sense, 2013).

## PARAMETRY SÍTĚ

V okolí silnice 17. listopadu bylo rozmístěno celkem šest uzlů. Jeden uzel z řady Smart Agriculture a pět z řady Smart Environment (obr. 1). Nejdůležitější faktory, které hrály roli v rozmístování uzlů, byly: komunikační dosah, který určuje oblast pokrytí, a jestli je uzel umístěn v bezpečné oblasti. Bezpečnou oblast nelze jednoznačně definovat, a tak je za ni považováno území, které je oplocené nebo pod dohledem kamerového systému. Bezpečnostní hledisko je jedním z klíčových při rozmístování uzlů ve venkovním prostředí, přestože v ideálním případě by s ním nemělo být vůbec počítáno. Z důvodu bezpečnosti uzlů byly všechny umístěny na malém prostoru, který nabízí Botanická zahrada a rozárium. Jeden uzel měřící polutanty byl situován do jižní a druhý do severovýchodní části zahrady v blízkosti silnice. Uzly byly ve vzdálenosti 152 metrů od sebe. Další dva byly umístěny 72 metrů od těchto uzlů u hlavní silnice směrem do zahrady, aby mohlo být sledováno, jestli se snižuje hodnota polutantů se vzdáleností od dopravní tepny. Uprostřed sledované oblasti byla umístěna malá meteorologická stanice a nejdále od silnice byl situován



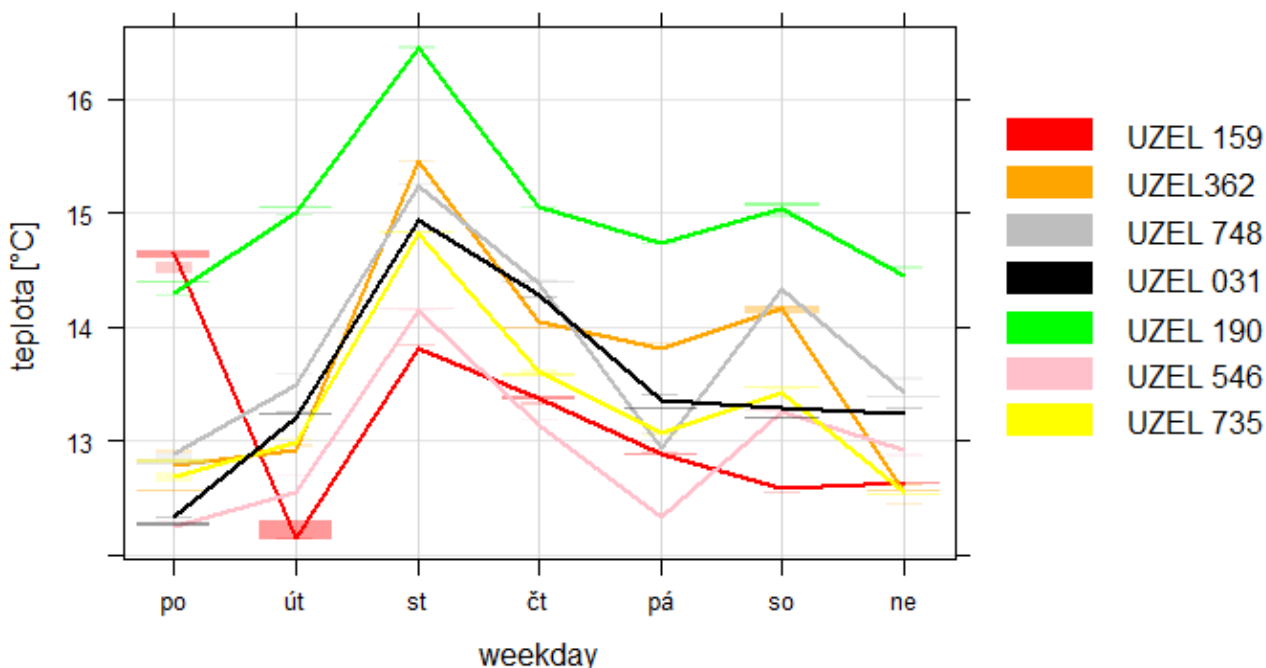
**Obr. 1.** Topologie bezdrátové sensorové sítě

uzel 159 sledující polutanty. Všechny uzly byly upevněny na kmeny jehličnatých stromů – uzly 190, 362, 749 a 546 byly na okraji jehličnatého porostu a uzly 159 a 735 byly na volném prostranství v malé skupině tří jehličnatých stromů. Všechny uzly byly umístěny na travnaté ploše. Uzly byly zavěšeny ve výšce 2 metry nad zemským povrchem, orientovány na jihozápad a interval záznamu byl stanoven na 10 minut. Brána byla lokalizována v Botanické zahradě v jedné ze zemědělských budov. Data byla ukládána do MySQL databáze přímo v bráně, z této databáze byla data stažena ve formátu .csv a dále zpracována. Hvězdicová topologie byla zvolena, protože oblast pokrytí byla malá, a tak nebylo třeba využívat směrovacích uzlů a rychleji vyčerpávat baterii v těchto uzlech. Pro komunikaci mezi uzly a bránou byl využit protokol 802.15.4.

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ

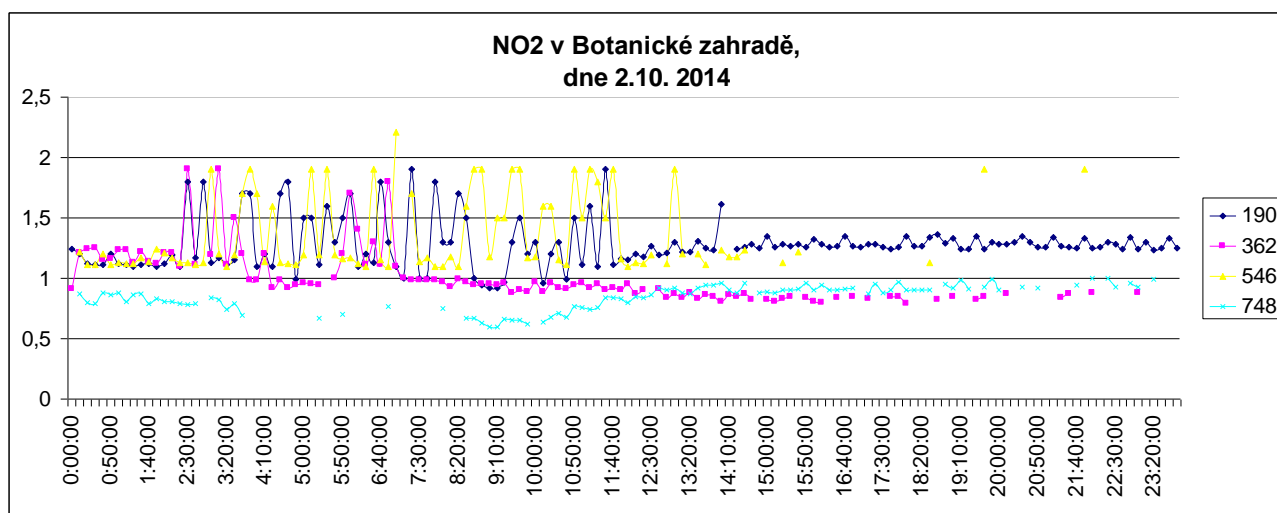
Měření v Botanické zahradě a rozáriu v Olomouci probíhalo od 25.9. 2014 do 7.10. 2014 tj. od čtvrtka do úterý tak, aby byl v měření zahrnut alespoň jeden celý týden od pondělí (29.9. 2014) do neděle (5.10. 2014), aby mohly být sledovány rozdíly v měřeních během týdne. Toto je pilotní studie, a tak další porovnávací měření probíhala po konfiguraci uzlů a senzorů v prosinci a jsou zpracovávána. Během pilotního měření byla získána data o teplotě, relativní vlhkosti vzduchu, směru větru, srážkách, NO<sub>2</sub>. Rychlost větru nebyla z důvodu poruchy senzoru naměřena. Naměřená meteorologická data byla zobrazena po jednotlivých dnech, aby mohlo být konstatováno, který den se vyskytovaly nejvyšší hodnoty a následně byl sledován průběh naměřených hodnot během dne, aby mohl být vyzdvížen čas s nejvyšší a nejnižší hodnotou měřeného prvku. Průběh oxidu dusičitého během dne byl sledován na všech uzlech.

V době měření převládala v Olomouci v sedmi dnech advekční typ počasí. Rozdíly mezi teplotami naměřenými během dne nebyly vyšší než 8 °C. Jediným dnem s typickým radičním počasím vyznačujícím se vyšší teplotní amplitudou bylo pondělí 29.9. 2014. Průměrné denní teploty během dne s 1% intervalem spolehlivosti, které byly během pozorování zaznamenány jednotlivými uzly, jsou ukázány na obr. 2. Srážky byly zaznamenány během všech dnů, srážkově nejvýznamnější byl pátek 3.10., nejméně srážek spadlo ve středu 1.10. Během dne se nejvyšší srážková činnost objevovala po poledni. S nejvyšší četností (450) byl zaznamenán vítr vanoucí z jihu, poté z jihovýchodu (328). Tímto směrem se nacházejí uzly 362 a 748, a tak se předpokládá, že polutanty z tohoto směru budou přenášeny směrem do zahrady. Vůbec nebyl zaznamenán vítr vanoucí ze severozápadu a jihozápadu.



Obr.2. Průměrná denní teplota na všech uzlech během jednotlivých dnů v týdnu

Oxid dusičitý měl po celou dobu nejvyšší hodnoty zaznamenány uzlem 190, druhé nejvyšší hodnoty byly na uzlu 546. Uzel 159 zaznamenal výpadek měření po celou observační periodu, a tak jím nebyla získána žádná data. Nejnižší hodnoty oxidu dusičitého byly v nejvíce případech v okolí uzlu 362. Ve středu 1. 10. od 2:20 do 6:00 byl zaznamenán enormní nárůst oxidu dusičitého na tomto uzlu. V tuto dobu byl zároveň zaznamenán pokles na uzlu 748. Od 25.9. do 28.9. byl v 7:10 zaznamenán nárůst u všech uzlů. V dalších observačních dnech toto zjištěno nebylo. Nárůsty v měření se vyskytovaly i v odpoledních hodinách od 14:30 do 17:00. Dne 2.10. bylo měření na všech uzlech vyrovnané v odpoledních hodinách, v ranních hodinách poměrně výrazně fluktuovaly hodnoty na uzlech 190, 546 i 362 (obr. 3). V tento den bylo advekční počasí s maximální teplotou 19,86 °C a minimální teplotou 9,8 °C, srážkovou činností během celého dne, v dopolední době kolísání hodnot oxidu dusičitého převládal jižní až jihozápadní vítr vanoucí směrem od silnice. Od 4.10. došlo z důvodu nedostatečné kapacity baterie k výpadkům měření i na uzlech 748 a 362, a tak nemohou být provedeny podrobnější závěry. Měření ukázalo, že hodnoty NO<sub>2</sub> byly po celý den takřka vyrovnané a výraznější výkyvy se ojediněle objevovaly pouze v ranních a jen zřídka v odpoledních hodinách, v těchto časech lze předpokládat zvýšené hodnoty způsobené dopravou do zaměstnání. Pokud bude sledován oxid dusičitý během týdne, tak jeho nejvyšší hodnoty byly zaznamenány ve středu na všech uzlech kromě uzlu 190, kde byly nejvyšší hodnoty ve čtvrtek. Nejnižší hodnoty byly na všech uzlech v úterky.



Obr.3. NO<sub>2</sub> dne 2.10. 2014

## ZÁVĚR A BUDOUCÍ PRÁCE

Bezdrátová senzorová síť je novou technologií sběru dat, která přináší výhody spojené se sledováním a následným zobrazením vybraných prvků v reálném čase a možnost vydání včasného varování před blížící se krizovou situací. Další výhodou je monitoring s vysokou hustotou, usazení senzorů a získání podrobných informací o vývoji situace na malém území.

Při sledování vybraných meteorologických prvků a oxidu dusičitého v Olomouci bylo využito rozmístění uzlů s vysokou hustotou na malé ploše. Pozorování ukázalo, že na polutanty mají vliv jak meteorologické podmínky tak předpokládaný provoz na silnici 17. listopadu. Nejvyšší hodnoty oxidu dusičitého, který pochází především z dopravy, byly po celou dobu měření evidovány uzlem 190 umístěným ve střední délce zájmové silnice. Uzel 546 lokalizovaný dále od silnice, ale v její stejné části, zaznamenal druhý nejvyšší podíl oxidu dusičitého. Tato místa ve střední části silnice 17. listopadu jsou nevíce zatížena zplodinami oxidu dusičitého. Překvapivým zjištěním je, že hodnoty polutantu během dne byly poměrně vyrovnané a pouze v několika dnech vykazovaly jasné vrcholy, které poukazovaly na vyšší intenzitu dopravy na silnici v ranních a dopoledních hodinách.

V další práci budou detekovány zdroje, které způsobují znečištění ovzduší v Olomouci, rozmístěno více uzlů po delší dobu v zájmové oblasti kolem silnice 17. listopadu, data budou zaznamenána ve vyšším intervalu a chemické senzory budou opětovně nakalibrovány, aby se zvýšila přesnost měření. Výsledky budou

modelovány a porovnány s intenzitou dopravy na této silnici a bude zjišťováno, jestli existuje nějaký vztah mezi intenzitou dopravy a množstvím naměřených polutantů.

## REFERENCE

- Bielsa, A. (2011). Smart City project in Salamanca to monitor Air Quality and Urban Traffic. Libelium, Španělsko. Citováno: 8.10.2014. Dostupné z: [http://www.libelium.com/smart\\_city\\_air\\_quality\\_urban\\_traffic\\_waspmote/](http://www.libelium.com/smart_city_air_quality_urban_traffic_waspmote/)
- Büttrich, S. (2010). Wireless sensor network. IT University, Copenhagen. Citováno: 12.10.2014. Dostupné z: [https://blog.itu.dk/SPVCE2010/files/2010/11/introduction\\_to\\_wsn\\_-\\_lecture\\_slides\\_spvc2010\\_l.pdf](https://blog.itu.dk/SPVCE2010/files/2010/11/introduction_to_wsn_-_lecture_slides_spvc2010_l.pdf).
- Grilo, A. (2010). Wireless sensor networks: Single node architecture. CMU Porto. Citováno: 10.10.2014. Dostupné z: <http://comp.ist.utl.pt/ece-wsn/doc/slides/sensys-ch2-single-node.pdf>.
- Podhorský, M. (2012). Bezdrátové senzorové sítě v průmyslové praxi. Brno. Bakalářská práce. VUT Brno.
- Murthy C., S., R. and Manoj BS. (2004). Ad hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 857 p. ISBN 01-314-7023-X.
- Waspmote Plug&Sense (2013) Technical Guide, Libelium. Citováno: 10.10.2014. Dostupné z: <http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/waspmote-technical-guide/>
- Ma, Y. (2008), Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London. Sensors (8), 3601-3623.
- Balling, R., C., Gober, P. (2006), Climate Variability and Residential Water Use in the City of Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology and Climatology (46), 1130 – 1137.
- George, K. (2008), Elevated atmospheric CO2 concentration and temperature across an urban–rural transect. Atmospheric Environment (41), 7654–7665.
- Idso, C., D. (2001), An intensive two-week study of an urban CO2 dome in Phoenix, Arizona, USA. Atmospheric Environment (35), 995 – 1000.

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektů CZ.1.07/2.3.00/20.0170 (StatGIS Team) a CZ.1.07/2.2.00/28.0078 (InDOG) Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy České republiky, které jsou spolufinancovány Evropským sociálním fondem (Operační program vzdělávání pro konkurenceschopnost).