



Studie

VYUŽITÍ POZEMNÍ SENZOROVÉ SÍŤE PRO KALIBRACI DRUŽICOVÝCH DAT DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU

Zpracováno v rámci řešení výzkumného úkolu Sledování energetických toků v krajině metodami dálkového průzkumu, zpracováváno v rámci plnění DKRVO CENIA

STUDIE.01.2020.11.02

Autoři: Pavel Doubrava, Iva Batrlová, Jiří Kvapil, Jana Seidlová

Praha, 2020



OBSAH

1. Vztah mezi satelitním měřením a pozemním referenčním měřením
2. Referenční bezdrátová sensorová síť (Wireless Sensor Network – WSN)
3. Pozemní měřicí síť CENIA
 - 3.1. Fáze I. – Off-line pozemní měřicí síť
 - 3.2. Fáze II. - On-line pozemní měřicí síť

1. Vztah mezi satelitním měřením a pozemním referenčním měřením

Dálkový průzkum Země je disciplína založená na fyzikálních principech. Naměřená data jsou zpracovávána matematicko-fyzikálními a matematickými metodami. Základním fyzikálním jevem, na kterém je dálkový průzkum založen, je interakce elektromagnetického záření se zkoumaným objektem. Informace o tom, jak probíhá tato interakce, nám udává energie, kterou zaznamenává detektor v přesně vymezených intervalech vlnových délek v daném prostorovém úhlu. Takto definovaná interakce je výchozí pro určování hledaných vlastností daných objektů. Každý objekt na zemském povrchu má vliv na naměřené hodnoty energie a to jak v čase, tak v prostoru. Proto je nutné, aby tato energie byla měřena prostřednictvím kvantitativních fyzikálních veličin.

Pro zjišťování charakteristik objektů na zemském povrchu (např. typ objektu, jeho stav a další) je tedy nutno pořizovat data v oddělených spektrálních intervalech (spektrálních kanálech), přičemž současná přístrojová technika satelitního dálkového průzkumu pracuje především v oblastech spektra od 400 nm (ultrafialové záření) do 10 mm (mikrovlnné záření).

Pro přesné definování typu objektu na zemském povrchu, nebo jeho stavu (u vegetace třeba zdravotního stavu), potřebujeme znát co nejpřesněji spektrální křivku odrazivosti daného objektu (v případě optických dat ve viditelné a IR oblasti spektra) nebo v případě radarových dat charakteristiku zpětného odrazu (backscatter), difuzi signálu a polarizaci signálu. V případě např. spektrální analýzy platí, čím vyšší počet spektrálních kanálů použijeme pro analýzu, tím přesnější spektrální křivku odrazivosti za daný objekt získáme. Pro každý daný objekt v daném stavu je dán průběh spektrální křivky odrazivosti. To mimo jiné znamená, že lze multispektrální (hyperspektrální) data, ale také data radarová vyhodnocovat automaticky pomocí matematických a fyzikálních analytických nástrojů (např. analýzy příznakových prostorů, klasifikační metody, radarové analýzy aj).

Z naměřených dat dálkového průzkumu získáme většinou přesné časové řady relativních hodnot, které je mnohdy nutno převést na absolutní hodnoty (např. odrazivost z hodnot od 0 do 1 na $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$). Některé přístroje na družicích DPZ již měří přímo energii prostřednictvím kvantitativních fyzikálních veličin – např. koncentrace plynů, či aerosolů v atmosféře. Tyto naměřené veličiny je nutno periodicky srovnávat s naměřenými daty z pozemního měření (in situ). Data naměřená pozemní měřicí sítí jsou potom pro data získaná metodami dálkového průzkumu daty **referenčními**.

K referenčním pozemním měřením lze využít buď off-line bezdrátové sensorové sítě, nebo on-line bezdrátové sensorové sítě (WSN – Wireless Sensor Networks). Ty mohou sloužit pro monitoring jednak jako:

- výše zmíněná referenční data pro zpřesnění výsledků zpracování dat dálkového průzkumu
- nebo mohou sloužit jako bezprostřední aktivní prvek systému pro doplňková měření.

2. Referenční bezdrátová senzorová síť (Wireless Sensor Network – WSN)

Referenční měřicí síť musí být vymezena tak, aby obsahovala všechny prvky (objekty) měřené pomocí družicových senzorů. Referenční měřicí síť musí být jednoznačně územně vymezena pomocí zeměpisných souřadnic a každý jednotlivý sensor musí být přesně zaměřen pomocí GPS. Kromě toho jednotlivé měřené veličiny musejí být definovány také zcela jednoznačně.

Pro vybudování referenční měřicí sítě se v současné době, z hlediska aplikačních možností, flexibility a v neposlední řadě příznivé ceny, jeví tzv. bezdrátová senzorová síť (wireless sensors network – WSN) a to jak v off-line verzi, tak v on-line verzi.

Senzorové sítě WSN se skládají z prostorově rozmístěných senzorů, které monitorují fyzikální parametry, jako je například teplota, zvuk, tlak, vlhkost, koncentrace plynů, prach, pohyb a mnoho dalších. Vývoj těchto sítí byl původně motivován širokými aplikacemi ve vojenské oblasti. WSN se dnes uplatňují v mnoha dalších aplikacích pro monitorování a kontrolu životního prostředí, pracovních stanovišť, zdravotnických aplikací, řízení dopravy i domácí automatizace. Kromě toho, že WSN obsahuje mnoho měřících senzorů uspořádaných v různých konfiguracích, v případě funkční on-line verze WSN je každý samostatný sensor vybaven komunikačním zařízením, malým mikro kontrolérem a zdrojem elektrické energie, většinou baterií. Každý snímač (uzel) se může od sebe lišit velikostí. Náklady na tyto senzory mohou být velice rozdílné, ceny se pohybují od desetitisíců po koruny. Cena je závislá jak na velikosti provedení, tak také na složitosti měření, paměti, spotřebě energie, výpočetní rychlosti a způsobu komunikace.

Naproti tomu off-line verze WSN je podstatně jednodušší v tom, že jejími základními prvky jsou pouze vlastní detektory s vnitřní pamětí. Data se pak v stahují z paměti jednotlivých senzorů ručně na místě pomocí speciálního čtecího zařízení. Data se pak ukládají do databáze a zpracovávají pomocí specializovaného software.

On-line senzorové sítě se skládají ze senzorových polí, která obsahují rozmístěné senzorové uzly. Takzvané základnové stanice slouží pro shromažďování informací, které pro ni získaly uzly v daném senzorovém poli. Tyto stanice slouží jako rozhraní mezi senzorovou sítí a uživatelem. Propojení s internetem není podmínkou, sdílení je realizováno většinou pro dopravu informací vzdáleným uživatelům.

Charakteristické vlastnosti sítí WSN (off-line i on-line verze):

- schopnost odolávat nepříznivým okolním podmínkám,
- mobilita uzlů – možnost snadného přemístění senzorů,
- monitorování široké škály veličin,
- bezobslužný, či semi-obslužný provoz,
- nízká spotřeba elektrické energie.

3. Pozemní měřicí síť CENIA

V rámci rozvoje referenční sítě WSN pro potřeby analytických metod dálkového průzkumu v CENIA byl stanoven harmonogram konstrukce WSN do dvou nezávislých fází.

Testovací off-line senzorové sítě pro měření teploty povrchu a vlhkosti vrchní části půdy pro kalibrování obrazových radarových dat družic Sentinel 1A a 1B (SAR) a multispektrálních dat družice Landsat 8 (OLI a TIRS). Tři testovací sítě v současné době obsahují senzory typu HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger. Součástí off-line měřících sítí je ještě set pro stahování dat na místě v terénu HOBO Optic USB Base Station a HOBOWare Pro Software pro zpracování dat. Data jsou odečítána přímo v terénu, vždy na konci měřicí kampaně.

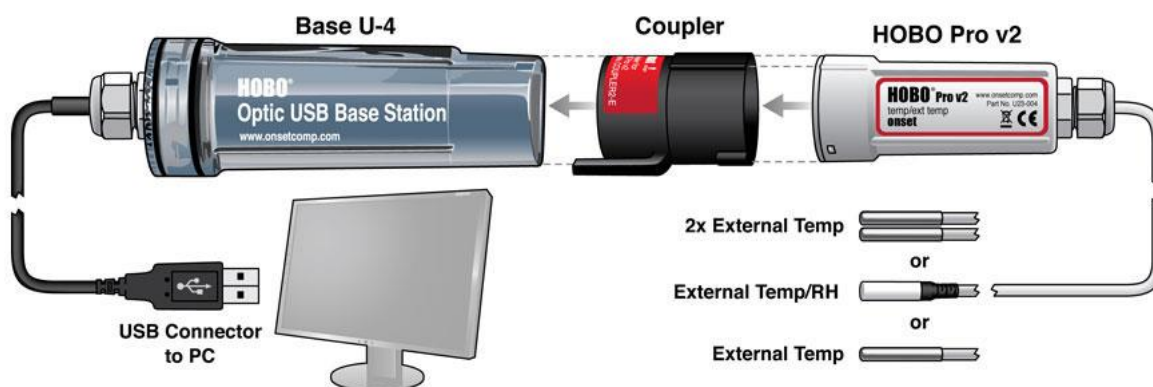
Technické parametry senzorů:

Parametr měření	Technická charakteristika
Velikost paměti	42 000 měření
Časový interval (rychlost) měření	1 sek - 18 hodin (fixní nebo nastavitelné intervaly)
Výdrž baterie	typicky 3 roky (1/2 AA lithium baterie)
Měření teploty	
Rozsah měření	-40°C až 70°C
Přesnost měření	± 0.21°C od 0° do 50°C
Rozlišení (12-bit)	± 0.02°@ 25°C
Stabilita měření	< 0.1°C za rok
Měření relativní vlhkosti	
Rozsah měření	0 až 100% RH, od -40° do 70°C
Přesnost měření	±2.5% od 10%RH do 90%RH při 25°C
Rozlišení (12-bit)	0.02°@ 25°C

Senzor HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger



Zapojení senzoru HOBO U23 Pro v2 v systému se čtečkou dat a zpracovatelským softwarem



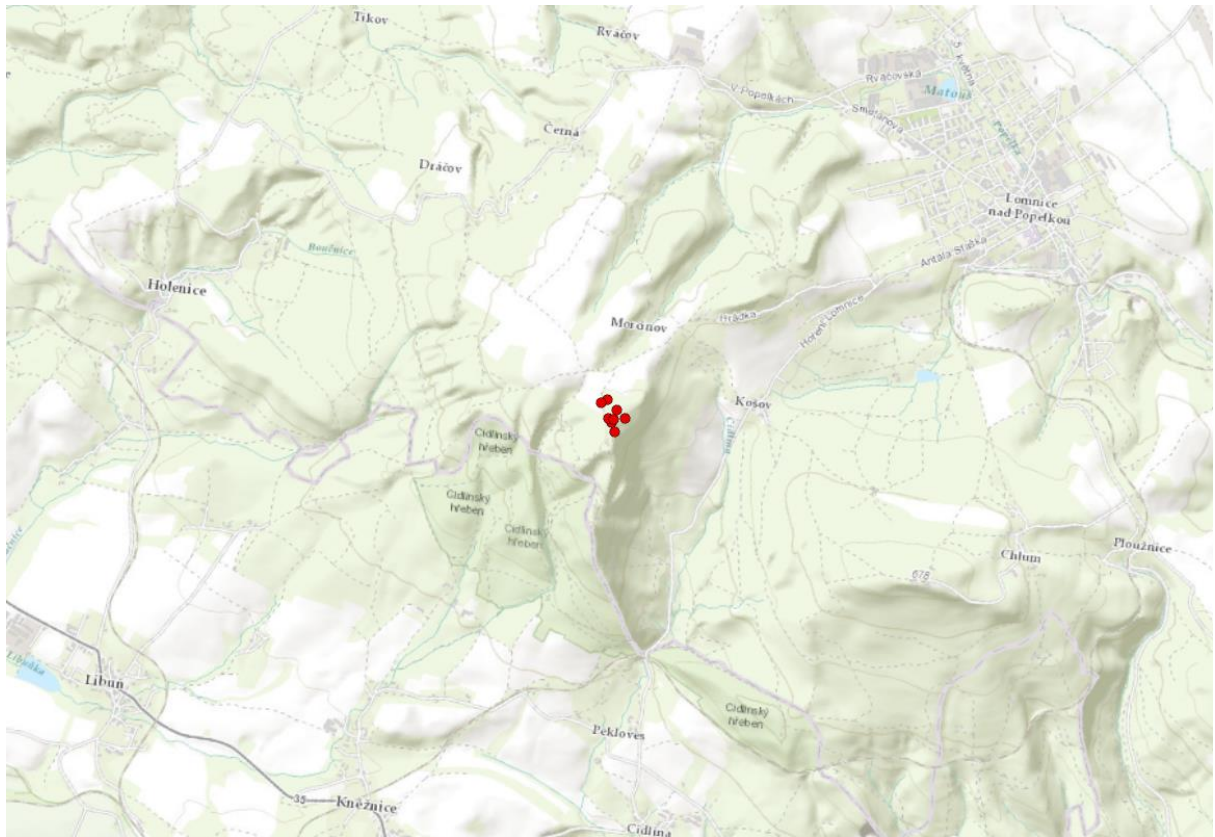
V současné době CENIA využívá data ze tří měřících sensorových sítí. Jednu provozuje CENIA sama, jednu provozuje mezinárodní sdružení Plan4all, jehož je CENIA členem a jednu provozuje ČZU, s kterou CENIA spolupracuje v rámci sdružení Plan4all:

- Pozemní měřící síť CENIA – lokalita Košov (Lomnice nad Popelkou)
- Pozemní měřící síť Plan4all – lokalita Pelhřimov
- Pozemní měřící síť ČZU – lokalita Liběšice (Litoměřice)

3.1. Pozemní měřicí síť CENIA – lokalita Košov (Lomnice nad Popelkou)

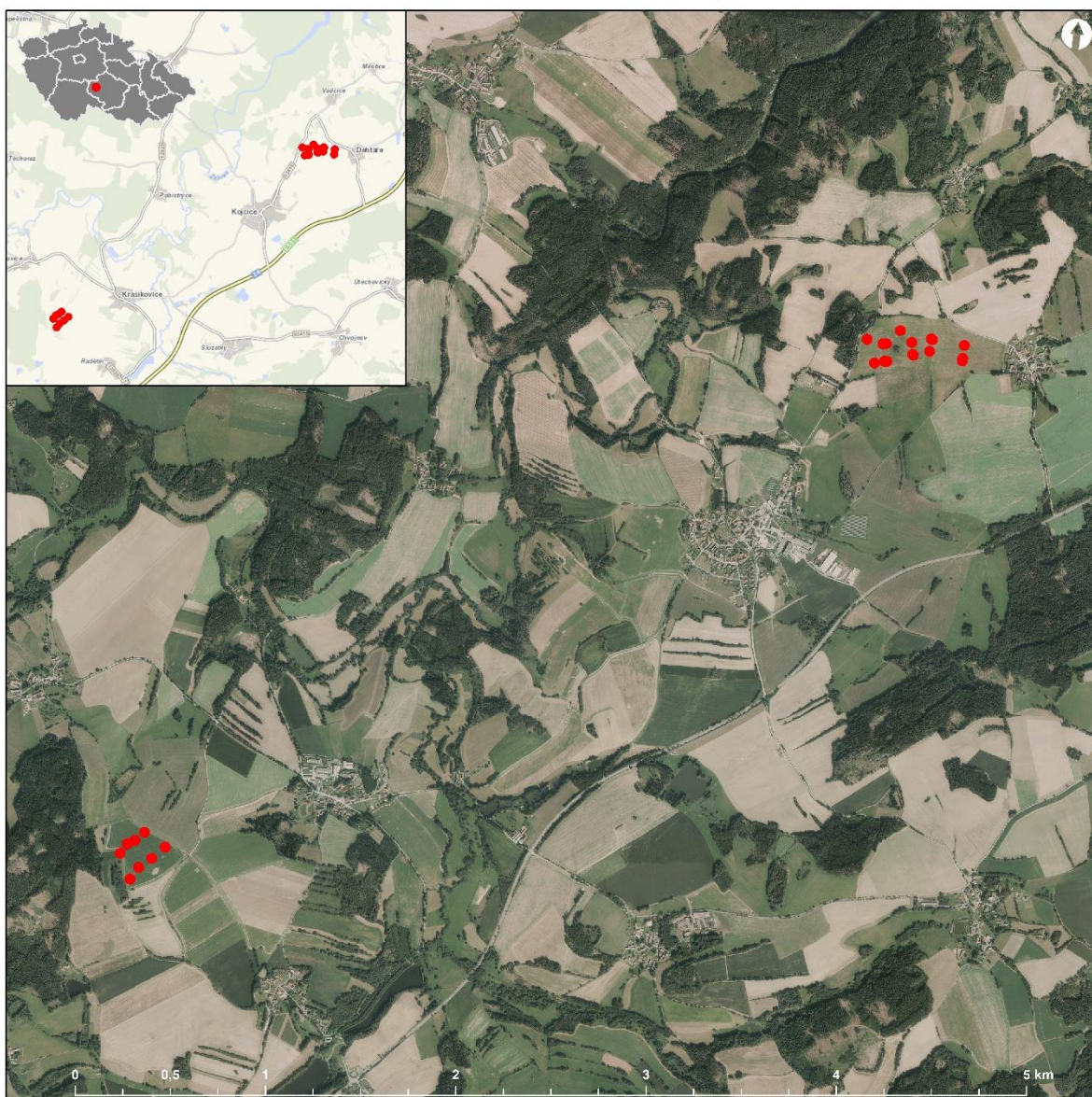
Na přiloženém leteckém snímku a schematické mapě je vidět přesné umístění jednotlivých senzorů v lokalitě Košov. Všechny senzory jsou přesně zaměřeny pomocí GPS. V této síti je v současné době 7 senzorů, koncem roku 2020 se rozroste na 10 měřících senzorů. Po ukončení této fáze měření se celá síť přemístí na jinou lokalitu v katastru Košov pro získání další sady měření.

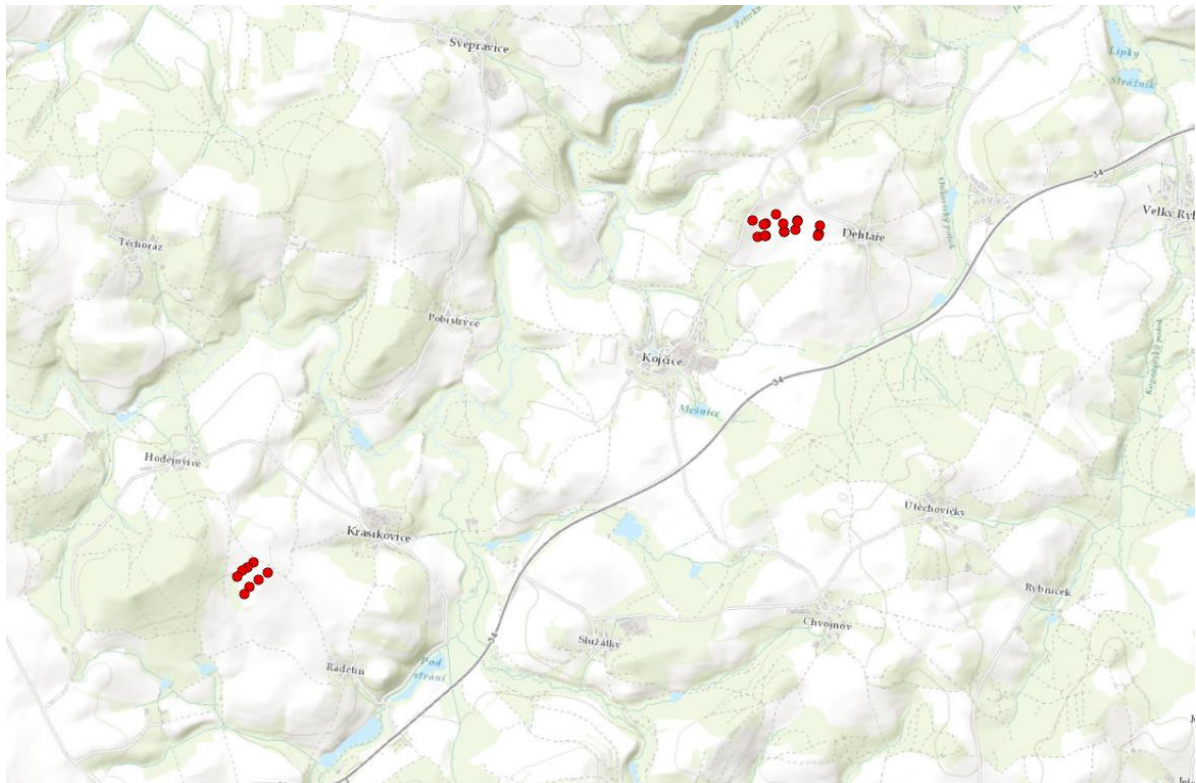




3.2. Pozemní měřicí síť Plan4all Pelhřimov

Na přiloženém leteckém snímku a schematické mapě je vidět přesné umístění jednotlivých senzorů v lokalitě Pelhřimov, kterou provozuje sdružení Plan4all, jehož je CENIA členem. Data z této sítě CENIA také rutinně využívá. V měřicí síti je 12 senzorů přesně zaměřených pomocí GPS, které se po roční měřicí kampani přesunuly na jiné lokality v regionu, takže je k dispozici celkem 24 naměřených bodů z let 2016 – 2018.

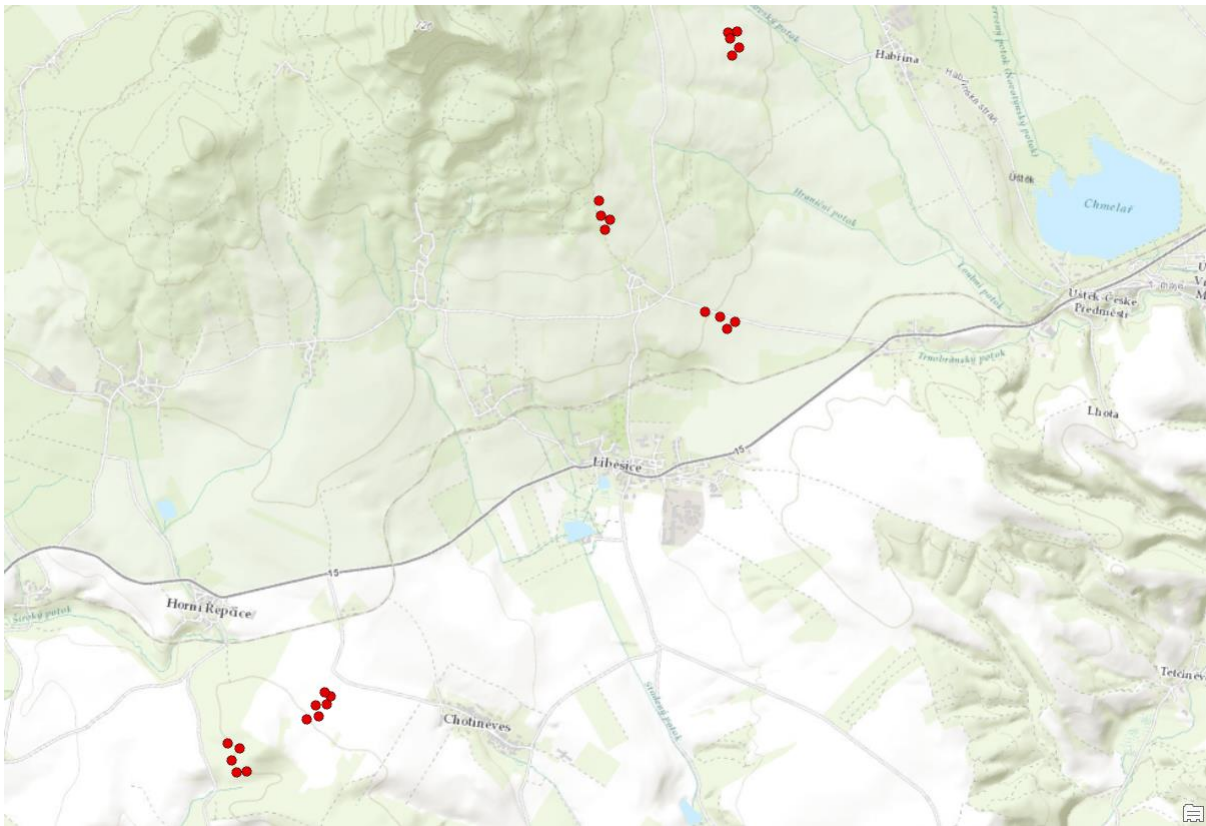




3.3. Pozemní měřicí síť Liběšice

Na přiloženém leteckém snímku a schematické mapě je vidět přesné umístění jednotlivých senzorů v lokalitě Liběšice v okrese Litoměřice. Tuto senzorovou měřicí síť provozuje Česká zemědělská univerzita, která je také spolu s CENIA členem sdružení Plan4all. Data z této sítě CENIIA také rutinně využívá. Síť je sestavena z 12 senzorů, opět přesně lokalizovaných pomocí GPS. Dvě měřicí kampaně proběhly v roce 2018, takže k dispozici je celkem 24 naměřených bodů z této lokality.





3.4. Prezentace výstupů z off-line měřících sítí CENIA

Data stažená ze všech měřících senzorů se zpracovávají v softwaru HOBOWare Pro Software. Tento software umožňuje rychlé a snadné nastavení a odečítání dat pomocí jednoduchých a intuitivních nástrojů. Pomocí grafických a analytických nástrojů lze vykreslit, analyzovat a extrahovat klíčová data naměřená všemi senzory v síti. Mimo to také lze snadno vytvářet vysoce kvalitní vizuální prezentace dat. V rámci analýz naměřených dat se jednoduše nastavuje odečítání z pamětí jednotlivých senzorů, včetně škálování a výběru grafické prezentace. Data se mohou snadno exportovat do textového nebo excelového formátu.

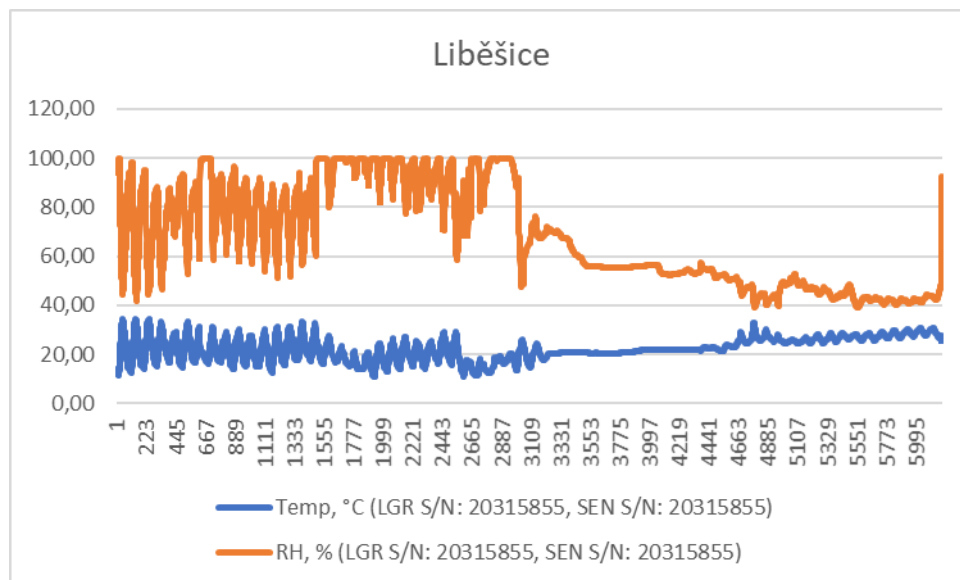
Všechny senzory ve všech třech měřících sítích CENIA měří vlhkost a teplotu povrchové vrstvy půdy s intervalem 15 minut. To na jedné straně má výhodu v přesnosti průběhu měření, na druhé straně je nutno zpracovat kolem 1,2 milionu měření za rok. V současné době Laboratoř dálkového průzkumu CENIA zpracovává naměřená data z pěti ročních měřících kampaní, což je kolem 6 milionů naměřených hodnot teploty a stejný počet hodnot změřené vlhkosti půdy.

Tato data se musejí zpracovat tak, aby se dala použít k dalším analýzám satelitních dat radarů se syntetickou aperturou družice Sentinel 1 a multispektrálních a tepelných dat družice Landsat 8 (OLI a TIRS). Následující tabulky a grafy ukazují možnou formu zpracování dat a výstupů z jednotlivých měření z konkrétních lokalit měřících sítí.

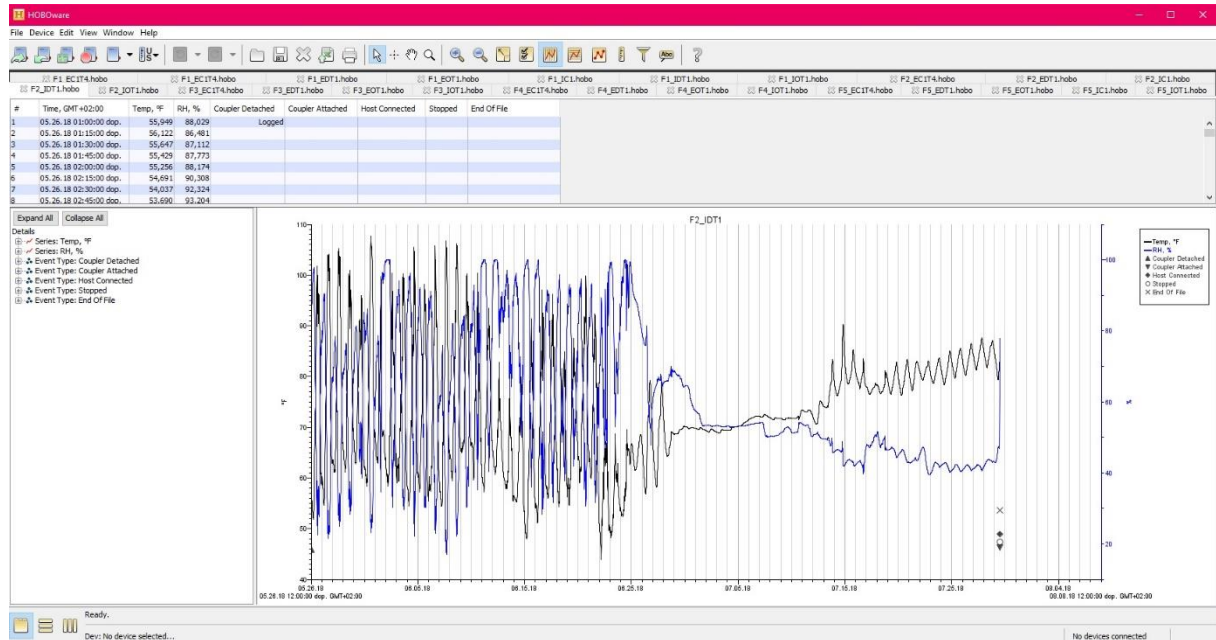
Lokality Liběšice a Košov (Senzory HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger) *Ukázka tabulky naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti z jednoho senzoru*

#	Date Time, GMT+02:00	Temp, °C (LGR S/N: 20315855, SEN S/N: 20315855)	RH, % (LGR S/N: 20315855, SEN S/N: 20315855)
1	05.26.18 01:00:00 dop.	13.978	94.297
2	05.26.18 01:15:00 dop.	13.642	94.880
3	05.26.18 01:30:00 dop.	13.209	94.458
4	05.26.18 01:45:00 dop.	12.992	94.606
5	05.26.18 02:00:00 dop.	12.823	95.280
6	05.26.18 02:15:00 dop.	12.727	95.842
7	05.26.18 02:30:00 dop.	12.582	96.134
8	05.26.18 02:45:00 dop.	12.461	96.153
9	05.26.18 03:00:00 dop.	12.292	96.564
10	05.26.18 03:15:00 dop.	12.147	95.967
11	05.26.18 03:30:00 dop.	11.953	96.625
12	05.26.18 03:45:00 dop.	11.759	96.497
13	05.26.18 04:00:00 dop.	11.710	96.712
14	05.26.18 04:15:00 dop.	11.565	96.672
15	05.26.18 04:30:00 dop.	11.589	96.957
16	05.26.18 04:45:00 dop.	11.370	96.670
17	05.26.18 05:00:00 dop.	11.321	96.909
18	05.26.18 05:15:00 dop.	11.224	97.638
19	05.26.18 05:30:00 dop.	11.419	97.439
20	05.26.18 05:45:00 dop.	11.565	98.132

Ukázka grafu naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti z jednoho senzoru



Lokalita Pelhřimov (Senzory HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger)
Ukázka zpracování a grafické prezentace naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti z jednoho senzoru



unit_id	description	sensor_id	sensor_type	sensor_name	first_obs	last_obs	phenomenon_name	unit
104400001	P3L3	340230003	soil temp	MPS6_3_temp	2016-05-04 17:00:01+02	2016-07-29 16:00:32+02	Soil temperature	C
104400001	P3L3	340270001	soil temp	CS650_1_temp	2016-05-04 17:10:48+02	2016-07-28 17:00:05+02	Soil temperature	C
104400001	P3L3	570040001	conductivity	CS650_1	2016-05-09 23:21:02+02	2016-07-28 17:04:07+02	Conductivity	dS/m
104400001	P3L3	690020003	water potential	MPS6_3_wp	2016-05-04 17:10:50+02	2016-07-29 16:00:30+02	Water potential	kPa
104400001	P3L3	700030001	wvc	CS650_1_wvc	2016-05-04 17:10:46+02	2016-07-28 17:00:02+02	Volumetric water content	m3/m3
104400002	P2L2	340230003	soil temp	MPS6_3_temp	2016-05-04 17:00:10+02	2016-05-27 15:00:57+02	Soil temperature	C
104400002	P2L2	340270001	soil temp	CS650_1_temp	2016-05-04 17:00:06+02	2016-05-22 18:00:13+02	Soil temperature	C
104400002	P2L2	570040001	conductivity	CS650_1	2016-05-10 00:01:16+02	2016-05-22 18:01:16+02	Conductivity	dS/m
104400002	P2L2	690020003	water potential	MPS6_3_wp	2016-05-04 17:00:08+02	2016-05-28 17:00:43+02	Water potential	kPa
104400002	P2L2	700030001	wvc	CS650_1_wvc	2016-05-04 17:00:04+02	2016-05-22 18:00:11+02	Volumetric water content	m3/m3
104400003	P6L3	340230003	soil temp	MPS6_3_temp	2016-05-04 17:00:18+02	2016-07-31 17:02:03+02	Soil temperature	C
104400003	P6L3	340270001	soil temp	CS650_1_temp	2016-05-04 17:00:14+02	2016-07-31 17:01:59+02	Soil temperature	C
104400003	P6L3	570040001	conductivity	CS650_1	2016-05-10 00:01:18+02	2016-07-31 17:05:27+02	Conductivity	dS/m
104400003	P6L3	690020003	water potential	MPS6_3_wp	2016-05-04 17:00:16+02	2016-07-31 17:02:01+02	Water potential	kPa
104400003	P6L3	700030001	wvc	CS650_1_wvc	2016-05-04 17:00:12+02	2016-07-31 17:01:57+02	Volumetric water content	m3/m3
104400004	P2L4	340230003	soil temp	MPS6_3_temp	2016-05-05 16:02:24+02	2016-07-05 16:02:45+02	Soil temperature	C
104400004	P2L4	340270001	soil temp	CS650_1_temp	2016-05-04 20:01:35+02	2016-06-05 18:01:29+02	Soil temperature	C
104400004	P2L4	570040001	conductivity	CS650_1	2016-05-10 00:01:21+02	2016-06-05 17:03:31+02	Conductivity	dS/m



4. Možnosti rozvoje on-line pozemní měřicí sítě CENIA

V minimální verzi by mohl návrh bezdrátové on-line sensorové sítě pro měření teploty povrchu a vlhkosti vrchní části půdy pro kalibrování obrazových radarových dat družic Sentinel 1A a 1B (SAR) a multispektrálních dat družice Landsat 8 (OLI a TIRS) a také pro měření fyzikálních parametrů skládek sestávat z celkem 15 sensorů v on-line síti typu mesh, včetně základnové stanice a připojení na internet. Základem každé WSN on-line sítě je sensorový modul.

4.1. Sensorový modul

Senzorový modul je samostatná jednotka sítě schopná získávat data ze sensorů připevněných na jeho základní desce, dále tato data předzpracovat a pomocí komunikačního rozhraní je odeslat k uživateli. Sensorový modul se skládá z níže uvedených zařízení, která shromažďují a zpracovávají data a komunikují s dalšími uzly.

Senzorový modul se skládá z:

- mikrokontroleru,
- přijímače – vysílače,
- sensorů,
- zdroje energie,
- sekundárního komunikačního zařízení.

Mikrokontroler

Mikrokontroler je zařízení, které obsahuje CPU, paměť a periferní zařízení. Mikrokontroler dokáže vykonávat úkoly, zpracovávat data a navíc dohlížet na funkčnost dalších součástí v sensorovém uzlu. Mikrokontrolery mají výhodu v tom, že jsou programovatelné a tím použitelné i pro jiná zařízení. Také nejsou tak náročné na napájení, protože jejich příkon je velice nízký. Dále může být funkčnost mikrokontroleru vypnuta, ale kontrola funguje dále.

Přijímač – vysílač

Komunikace v bezdrátové síti je realizována pomocí rádiových vln, optické komunikace (laser) nebo infračerveného portu. Laser nemá vysoké nároky na napájení, ale funguje jen na přímou viditelnost. Dále je citlivý na povětrnostní podmínky. Laser nepotřebuje žádnou vysílací anténu, ale jeho vysílací kapacita je omezena. WSN sítě používají komunikační frekvenci mezi 433 MHz a 2,4 GHz. Funkce vysílače i přijímače je kombinovaná do jednoho zařízení, nazývaného transceiver. Může se nacházet v režimech: přenos, příjem, nečinný, spánek.



Externí paměť

Z hlediska napájení existují tyto druhy pamětí: čipové paměti a flash paměti. RAM paměti nemají ve WSN velké uplatnění. Flash paměti se používají kvůli dobrým cenám a velkým kapacitám pamětí.

Zdroje energie (napájecí zdroje)

Senzorové uzly pro svoji správnou funkci potřebují napájecí zdroje, které jsou důležité pro snímání, komunikaci a zpracování dat. Nejvíce energeticky náročná bývá často komunikace, ale v některých případech je k snímání nutno po delší dobu senzoru dodávat energii. Energie je uložena v bateriích nebo kapacitorech. AA baterie jsou hlavním zdrojem energie pro senzorové uzly. Používají se baterie dobíjecí a nedobíjecí. Dále se rozdělují podle toho z jakého materiálu jsou vyrobeny elektrody. Dnes se už také vyskytují tzv. samodobíjecí (samopoháněné) senzory, které umí dobíjet energii ze slunečního záření nebo například vibracemi. Dvě významnější jsou DPM (Dynamic Power Management) a DVS (Dynamic Voltage Scaling). DPM se stará o klesající úroveň energie v senzorovém uzlu, který není v dané době využívaný nebo aktivní. DVS mění úroveň energie závislé na pracovním zatížení. Proměnlivým napětím spolu s frekvencí je možné získat kvadratické zmenšení spotřeby energie.

Senzory

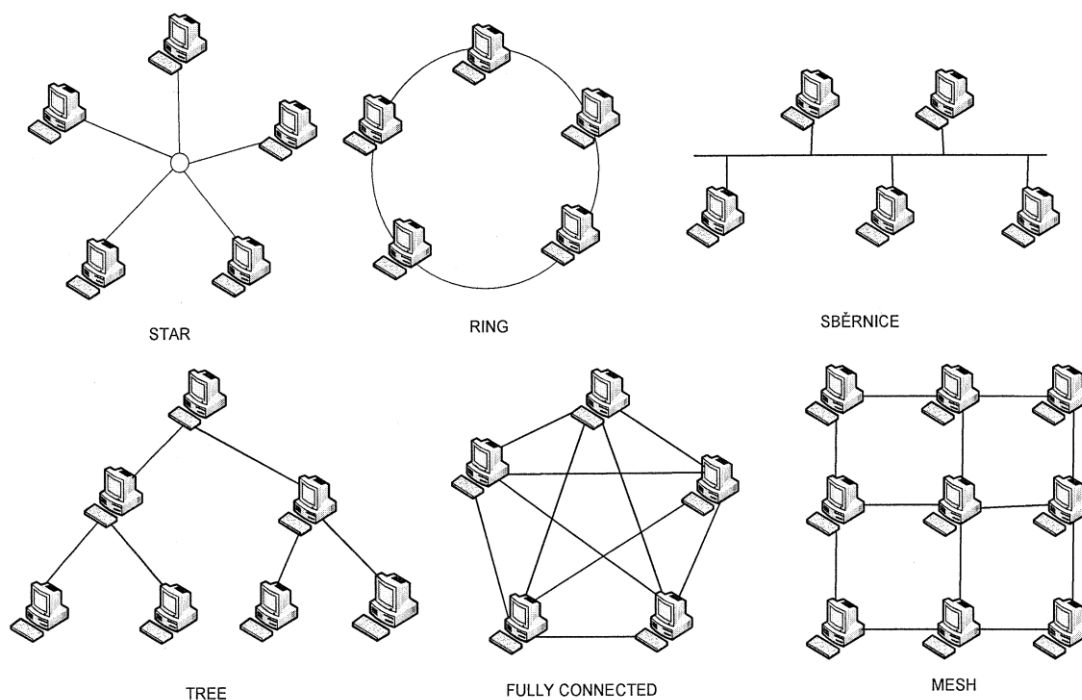
Senzor je zařízení, které dokáže zachytit nebo změřit fyzikální veličiny ze sledovaného prostoru. Zachytí spojitý analogový signál a provede digitalizaci pomocí A/D převodníku a digitální signál pošle kontroleru pro další zpracování. Požadavky na senzorové uzly jsou: malá velikost, extrémně nízká spotřeba energie, práce bez obsluhy, přizpůsobivost prostředí. Bezdrátové senzorové uzly jsou mikroelektronická senzorová zařízení, která mohou být vybavena omezeným zdrojem napětí 0.5Ah a 1.2V.

4.2. Topologie bezdrátových on-line senzorových sítí

Základním problémem v komunikačních sítích je přenos zpráv s dosaženou předepsanou propustností a kvalitou služeb. Kvalita služeb může být definována podmínkami jako např. zpoždění zprávy, bitová chybovost, ztráta paketů, náklady na vysílání, spotřeba energie apod. Na základě kvality služeb, finančních možností a typu aplikace se navrhne konfigurace celé sítě – tj. její topologie. Sensorová síť se skládá z uzlů, z nichž každý má schopnost měřit a může přijímat a odesílat zprávy přes bezdrátové komunikační spojení. Jedna komunikační síť se může skládat z několika podsítí s různou topologií.

Základní typy topologií bezdrátových sítí jsou uvedeny na **obrázku x.x**. Jsou to: star (hvězdicová), ring (kruhová), bus (sběrníková topologie), tree (strom), fully connected (plně propojená topologie) a mesh (mřížka). Nejčastěji využívanými typy topologií pro bezdrátové senzorové sítě jsou fully connected a mesh.

Obr.x.x. Typy topologií bezdrátových senzorových sítí (zdroj: Libelium. [Online] <http://www.libelium.com/waspmote>)



Topologie fully connected (plně propojená síť)

Plně propojená síť je komunikační síť, ve které je každý modul propojen se všemi ostatními. Tato síť nepotřebuje používat směrování nebo přepínání. Nicméně největší nevýhodou plně propojené topologie je, že počet spojení kvadraticky roste s nárůstem počtu modulů. Tato vlastnost je nepraktická pro rozsáhlé sítě. Prakticky i síť jen se dvěma moduly je plně propojená síť.

Topologie mesh (typ mřížka)

Sítě typu mřížka jsou distribuované sítě, které zpravidla umožňují komunikaci pouze se sousedícími moduly. Moduly používané v těchto sítích jsou většinou stejného druhu, takže sítě typu mesh jsou někdy označovány jako sítě typu peer-to-peer. Mřížkové sítě jsou dobré pro projekty velkého rozsahu co do rozlohy pokrytého území, či množství měřících bodů. Jsou to sítě pro aplikace např. v oblastech sledování osob, požárů, zemětřesení atd. Na obrázku 2. 1. je topologie mřížky znázorněna s pravidelnou strukturou, síť ovšem nemusí mít moduly takto pravidelně rozloženy. Mřížkové sítě jsou rozloženy tak, aby byla možná komunikace více směry mezi moduly, aby mohly jednotlivé moduly komunikovat i v případě výpadku jednoho z nich. Výhodou těchto sítí je, že i když jsou všechny moduly totožné, je možné některé z nich stanovit jako tzv. vedoucí moduly a přidat jim některé další konkrétní funkce. Pokud vedoucí modul přestane plnit svoji funkci (částečně, nebo úplně), tak jeho funkce převezme některý z vedlejších modulů.



Tato topologie je nejméně náročná na spotřebu elektrické energie a je nejspolehlivější v oblasti bezdrátových sensorových sítí. V porovnání například s topologií plně propojených sítí komunikuje pouze s moduly v jejím okolí a ne se všemi. Dále je tato topologie spolehlivá v případě výpadku některého z modulů. Při takovémto výpadku se u topologie mřížky nalezne jiná cesta, kterou je možno posílat data od modulu k centrální stanici. Pokud by k takovému výpadku došlo například u stromové topologie, tak by celá jedna větev, která je pod vyřazeným modulem, nemohla komunikovat a zasílat naměřená data do centrální stanice. U topologie mřížky je každý modul propojen s několika dalšími moduly v jeho okolí a tím pádem může být zvoleno více přenosových cest, což u jiných topologií není možné.

4.3. Komunikační protokoly

Pro komunikaci mezi jednotlivými sensorovými moduly sítí WSN se používají různé komunikační protokoly. Z hlediska energetické náročnosti, spolehlivosti konektivity a bezchybného přenosu naměřených dat jsou nejlépe využitelné dva typy komunikačních protokolů - ZigBee a 6LoWPAN (neboli IPv6 over Low Power Personal Area Networks).

ZigBee

Zigbee je komunikační standard pro bezdrátovou komunikaci, určený pro monitorování a řízení elektroniky, často používaný i u komunikace mezi bezdrátovými senzory. Bezdrátový standard ZigBee je postaven na standardu 802.15.4, který definuje fyzickou a linkovou vrstvu modelu OSI a standard ZigBee jej rozšiřuje o definici vrstvy síťové a transportní. ZigBee poskytuje cenově nenákladnou, nízko příkonovou bezdrátovou komunikaci pro monitorování a řízení systémů. Standard ZigBee lze použít pro jednoduchou bezdrátovou komunikaci s nízkými požadavky na samostatný hardware a napájení. Proto je nejvíce používán v aplikacích bateriového napájení, kde při výrazně nižší spotřebě energie poskytuje výrazně delší dosah komunikace v porovnání např. s jiným standardem pro bezdrátovou komunikaci Bluetooth, který by byl pro zvolenou aplikaci nevhodný. Přenosová rychlost je sice výrazně nižší, ale pro aplikace, u kterých se ZigBee využívá, je postačující. Pro řízení a ovládání spotřebičů, nebo monitorování je zbytečné využívat standardu WiFi, u kterého je zbytečně vysoká přenosová rychlost. Pro standard 802.15.4 je přiděleno několik radiových pásem:

- pásmo ISM 2,4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost $250 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$, definováno celosvětově,
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost $40 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$, definováno pro USA,
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost $20 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$, definováno pro Evropu.

Při přenosu informací dochází k probuzení koncové stanice (sensorového modulu) stanicí centrální ve vymezeném časovém intervalu, a poté jsou přeneseny veškeré potřebné informace. Interval synchronizačních sekvencí může být nastaven v rozmezí od 15 ms až přibližně 15 min (někdy lze i



několik hodin). ZigBee protokol může být použit u různých typů topologií, jako například hvězdicové topologie, stromové topologie nebo topologie mesh.

6LoWPAN (IPv6 over LowPowerPersonal Area Networks)

6LoWPAN je zkratkou od IPv6 over Low Power Personal Area Networks. Protokol 6LoWPAN je postaven na základě bezdrátových sítí 802.15.4, pracuje s frekvencemi 868 MHz, 915 MHz, 2,4GHz a poskytuje připojení bezdrátovým zařízením využívajícím síť 802.15.4. Připojení bezdrátových zařízení probíhá přes rozhraní založené na IP protokolu. Protokol 6LoWPAN byl navržen pro používání v aplikacích s nízkou spotřebou, které komunikují s ostatními zařízeními v již existující IP síti. 6LoWPAN může být zapojen nejen ve hvězdicové, point to point, stromové a mesh topologii, ale také v jejich kombinacích. 6LoWPAN má automatické tvoření trasy a její případné opravování.

Výhodou tohoto protokolu je např. bezproblémová integrace bezdrátových zařízení s nízkou spotřebou do již existujících IP sítí. Dále také spolupráce s ostatními protokoly postavenými na protokolové sadě 802.15.4 jako je například ZigBee. Další velkou výhodou je dlouholetá životnost baterií použitých v zařízeních potřebných pro danou aplikaci.

Charakteristické vlastnosti protokolové sady 6LoWPAN jsou malá velikost paketů (127B), nízká propustnost ($250 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$) a nízká spotřeba, což je důležité pro využití u bateriemi napájených zařízení. Cena zařízení je relativně nízká.

Oba popisované protokoly jsou navrženy pro využití v bezdrátových sítích s nízkou spotřebou energie. Životnost baterie senzorů bývá několik let při využití protokolu ZigBee i při využití protokolu 6LoWPAN. Každý z protokolů pracuje v pásmu 868 MHz potřebném pro komunikaci mezi zvolenými sensorovými moduly, což je dáno tím, že oba protokoly jsou postaveny na standardu 802.15.4.

5. Některá vybraná technická řešení bezdrátových senzorových sítí

V současné době se technologie bezdrátových senzorových sítí ve světě bouřlivě rozvíjejí. Pro aplikace měření teploty a vlhkosti povrchu pro sběr referenčních dat pro kalibraci satelitních dat dálkového průzkumu lze využít například některé z následujících pěti řešení. V následující části jsou stručně popsány a na závěr je provedeno jejich srovnání.

5.1. Libelium Waspote

V roce 2009 španělská firma Libelium uvedla na trh novou platformu pro monitorování životního prostředí s dosahem základnových stanic až 40 km s mimořádně nízkou spotřebou. Kombinace dlouhého dosahu a nízké spotřeby umožňuje nasazení systému pro detekování požárů, povodní, skleníkových plynů a dalších parametrů životního prostředí i ve velmi vzdálených oblastech s nepříznivými fyzicko-geografickými podmínkami. Tento systém je nazván Waspote.



Modulární platforma umožňuje uživatelům vybrat si z řady bezdrátových modulů a senzorů pro vytvoření vlastní konkrétní aplikace. Jeden z modulů 802.15.4/ZigBee umožňuje dosáhnout dosahu až 40 km. Modul pracující na 868 MHz má tak vynikající dosah prostřednictvím vysílacího výkonu 315 mW a -112dBm radiové citlivosti. Waspote je nová generace bezdrátových senzorových sítí, které mohou být umístěny ve velkých vzdálenostech od vesnic a měst. Tyto sítě mohou také komunikovat pomocí GPRS. Pokud je ovšem senzor umístěn v místě se špatnou dostupností bezdrátové (mobilní) sítě, může se do vnitřní paměti každého senzoru uložit až 21 milionů vlastních měření.

Bezdrátové senzory jsou napájeny pomocí baterií. Každý ze senzorů nabízí 4 módy – zapnuto, spánek, hluboký spánek a hibernace. Zařízení v systému Waspote vydrží více jak tři roky bez výměny baterie. Pokud ale budou použity malé solární panely pro dobíjení baterií, může systém pracovat nepřetržitě bez její výměny. Pro lokalizaci zařízení lze využít zásuvného GPS modulu.

Například pro monitorování čistoty ovzduší je nabízen modul – senzor plynů. Tento modul je schopen detekovat širokou škálu plynů: oxid uhličitý a oxid uhelnatý vznikající z lesních požárů, metan, čpavek a sirovodík z farem a odchovných zařízení, isobutan a toluen z chemických procesů atd.. Tento modul měří také atmosférický tlak, teplotu a vlhkost vzduchu.

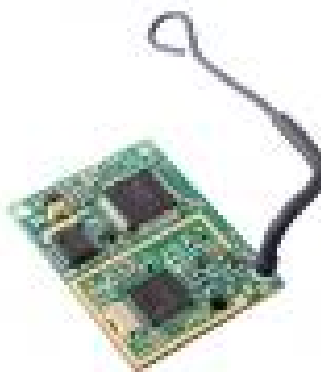
5.2. Crossbow IRIS

IRIS je 2,4 GHz modul používaný pro nízko výkonové bezdrátové sensorové sítě a je navržen převážně pro rozsáhlé územně rozložené sítě. Tento modul má dosah větší jak 500 m při přímé viditelnosti mezi dvěma moduly. IRIS pracuje na komunikačním protokolu IEEE 802.15.4 a využívá frekvencí 2.4 až 2,48 GHz, které jsou celosvětově kompatibilní. Bezdrátový přenos je odolný vůči rušení a poskytuje vlastní zabezpečení dat. Data jsou přenášena rychlostí 250 kbs^{-1} . IRIS je podporován Plug and Play s ostatními sensorovými deskami od firmy CrossBow a bránami, softwarem a deskami pro sběr dat. Crossbow IRIS podporuje Plug and Play pro připojení sensorových desek, desek pro shromažďování dat, bran a softwaru. Crossbow nabízí širokou škálu senzorů, desek pro shromáždění dat. Všechny tyto desky jsou k IRIS připojeny pomocí standardního 51 pinového konektoru. Sensory, nabízené firmou Crossbow, jsou pro snímání teploty, vlhkosti, tlaku, posuvů půdy, akustiky, magnetického pole a dalších. IRIS je možno použít pro monitorování a zabezpečení budov, a široké škále sensorových sítí, které mohou obsahovat více jak 1000 sensorových modulů.



5.3. TinyNode 584

TinyNode 584 je modul s nízkou spotřebou, umístěný v jednom pouzdře jako kompletní bezdrátový subsystém s 19 konfigurovatelnými vstupy a výstupy. Součástí těchto vstupů a výstupů je i 6 analogových vstupů a více jako dva analogové výstupy jsou sériová rozhraní. TinyNode 584 má rychlý přechod do provozního režimu z režimu spánku. Modul je schopný pracovat s frekvencemi 433 MHz, 868 MHz a 915 MHz (pásmo ISM). Přenosová rychlost naměřených dat může být vyšší i jak 153 kbit.s^{-1} . Dosah bezdrátové komunikace je více jak 2 km. Na desce je standardně zabudovaný teplotní senzor a také 30 pinový konektor pro propojení dvou desek. Firma Tiny dodává i software podporovaný tímto modulem nazvaný TinyOS.



5.4. IMOTE2

WSN – IMOTE2 poskytuje uživatelům komplexní a finančně efektivní platformu pro rozvoj bezdrátových sensorových sítí. IMOTE2 je moderní bezdrátová platforma sestavená pro nízkou spotřebu a má integrovaný modul pro bezdrátovou komunikaci pracující na frekvenci 2,4 GHz a je kompatibilní se standardem 802.15.4. IMOTE2 nabízejí nově vyvinuté základní desky (IPR2400 a IPR2410CA, které již svojí výpočetní a paměťovou kapacitou umožňují připojení přídatné sensorové desky pod názvem ITS400, která dokáže měřit teplotu, vlhkost a další veličiny. Výrobce, firma ITS, nabízí tento systém pro měření různých parametrů životního prostředí, ale i např. pro detekování vibrací půdy.

Srovnání základních technických parametrů výše popsaných základnových stanic je uvedeno v **Tab. 5.1**.

Každý z výše popsaných sensorových systémů má své klady a zápory pro využití v oblasti získávání referenčních dat pro kalibrování dat dálkového průzkumu.



Z hlediska komplexnosti, flexibility a konfigurace řešení sensorové sítě je velmi zajímavé následující řešení.

5.5. Řešení plzeňské skupiny Plan4all

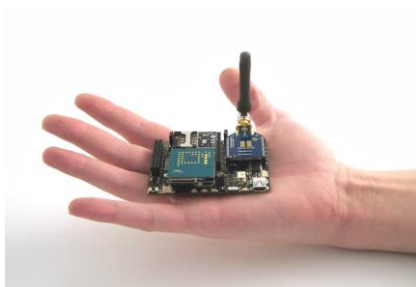
... text Jirka Kvapil....

Tab. 5.1. Srovnávací tabulka vybraných základnových stanic WSN

VÝROBEK	Libelium Wasmote	Crossbow IRIS	TinyNode 584	Imote2
frekvence	868 MHz	2,4 GHz	433, 868, 915 MHz	2,4 GHz
výdrž baterie	cca 1 rok	...	méně jak 5 let	...
dosah	500 m až 40 km	více jak 500 m	více jak 2 km	30 m a více
přenosová rychlost	...	250 kbs	1,2 - 153 kbs	250 kbs
napětí zdroje	3,3 - 4,2 V	2,7 - 3,3 V	3 V	3,2 - 4,5 V
vstupy/výstupy	7 analogových výstupů, 8 digitálních vst./výst., 1 napájení, 2x UART, 1xI2C, 1x USB	digitální vst./výst., I2C, SPI, UART	19 digitálních vst./výst., 6 analogových vst., 2 a více analogové výst.	mini USB, 3x UART, 2x SPI, I2C, SDIO, GPIO
provozní teplota (stupně C)	minus 20 až plus 65	minus 40 až plus 85	minus 40 až plus 80	0 až plus 85
rozměry (mm)	75,3 x 55 x 13	58 x 32 x 7	30 x 40	36 x 48 x 9

6. Příklad možného řešení WSN pro CENIA

Bezdrátová senzorová síť typu MESH Libelium Wasp mote se skládá z vlastních senzorů (Obr.4.1.), komunikačního rozhraní, základnové stanice (Obr.4.2.) a softwarového vybavení.

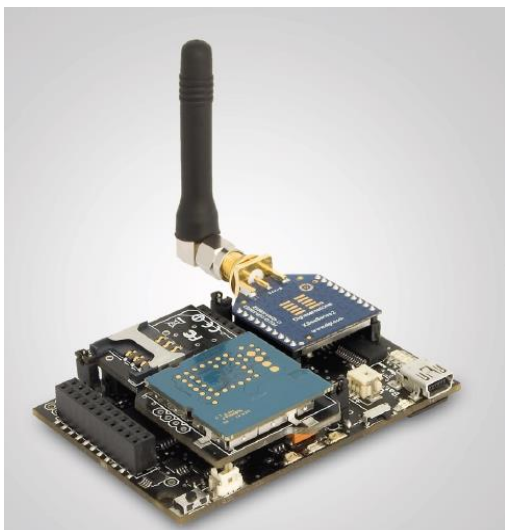


Obr.4.1. – senzor

Obr.4.2. –základnová stanice

(zdroj: <http://www.libelium.com/waspote>)

Senzor se nazývá Wasp mote a skládá ze základnové desky, komunikačního modulu a senzorového modulu (viz Obr. 4.3.). Dostupné varianty komunikačního modulu jsou uvedeny v Tab. 4.1.



Firma nabízí základní sadu osmi modulů, které integrují více jak padesát typů senzorů (Tab. 4.2):

1. Gases Board
2. Events Board
3. Smart Cities Board
4. Smart Parking Board
5. Agriculture Board
6. Radiation Board
7. Smart Metering Board
8. Prototyping Board

Ukázky jednotlivých modulů jsou na Obr. 4.4.

Obr. 4.3. – osazená deska senzoru

(zdroj: <http://www.libelium.com/waspote>)

Tab. 4.1. – dostupné komunikační moduly

Communication radio	Frequency	Use zone	Protocol	SMA ^{A)}		UFL ^{B)}		On-chip ^{C)}	
				Power	Distance ¹	Power	Distance ²	Power	Distance ³
802.15.4	2.4GHz	World Wide	802.15.4	1mW	500m	1mW	430m	1mW	100m
802.15.4 - PRO				63mW	7Km	63mW	5.95Km	63mW	360m
ZB			ZigBee - Pro	2mW	500m	2mW	430m	2mW	100m
ZB - Pro				50mW	7Km	50mW	5.95Km	50mW	360m
868	868MHz	Europe	RF	315mW	12Km	315mW	10.2Km	-	-
900	900MHz	USA & Canada		50mW	10Km	50mW	8.5Km	-	-
XSC				100mW	12Km	100mW	10.2Km	-	-
Bluetooth	2.4GHz	World Wide	Bluetooth 2.0	1.78mW	250m	-	-	-	-

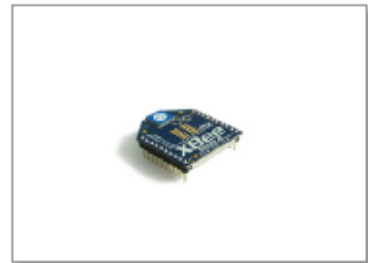
* Mini-USB cable for programming Waspote included in all models.



A) SMA antenna connector



B) UFL antenna connector



C) On-chip antenna

(zdroj: <http://www.libelium.com/waspote>)

Obr. 4.4. – jednotlivé typy modulů (zdroj: <http://www.libelium.com/waspmote>)



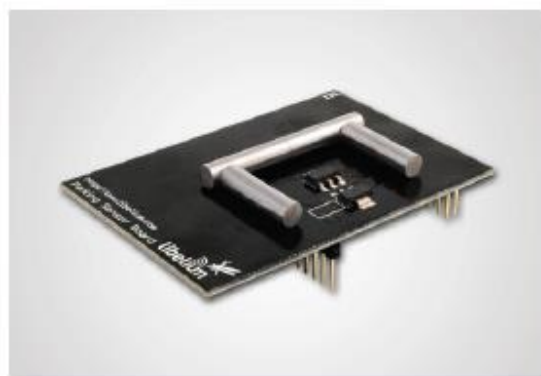
Gases Board



Events Board



Smart Cities Board



Smart Parking Board



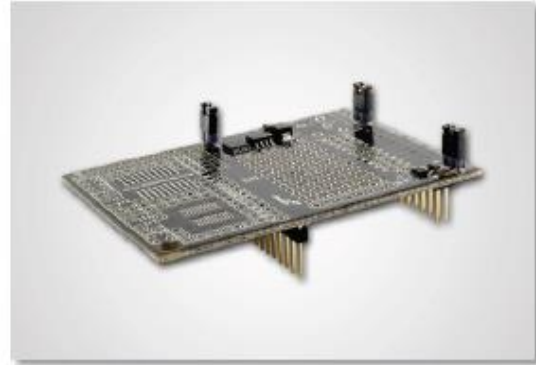
Agriculture / Agriculture PRO Board



Radiation Board



Smart Metering Board



Prototyping Board

Tab. 4.2. Typy senzorů v jednotlivých modulech

Sensor	Gases	Events	Smart Cities	Agriculture	Agriculture PRO	Smart Metering	Prototyping	Ref.
Temperature	✓	✓	✓	✓	✓	✓		9203
Humidity	✓		✓	✓	✓	✓		9204
Luminosity	✓	✓	✓	✓	✓	✓		9205
Microphone (dBSPLA)			✓					9259
Crack detection gauge			✓					9321
Crack propagation gauge			✓					9322
Linear displacement			✓					9319
Dust - PM-10			✓					9320
Pressure/ Weight		✓		✓	✓	✓		9219
Bend		✓	✓	✓	✓	✓		9218
Stretch		✓	✓	✓	✓	✓		9217
Presence (PIR)		✓						9212
Horizontal liquid level (combustibles)		✓	✓	✓	✓	✓		9239
Horizontal liquid level (water)		✓	✓	✓	✓	✓		9240
Vertical liquid level (water)		✓	✓	✓	✓	✓		9242
Water presence		✓	✓	✓	✓	✓		9243
Tilt, vibration and impact ⁴		✓	✓			✓		9206

Hall effect ⁵		✓	✓	✓	✓	✓		9207
Vibration (lamina)		✓						9221
Vibration (thread)		✓						9222
Atmospheric pressure	✓			✓	✓			9250
CO	✓							9229
CO ₂	✓							9230
O ₂	✓							9231
CH ₄	✓							9232
NH ₃	✓							9233
NO ₂ ⁶	✓							9238
Ozone-O ₃ ⁶	✓							9258
Volatile Organic Compounds ⁶	✓							9201
Liquified petroleum gases (H ₂ , CH ₄ , ethanol & isobutane)	✓							9234
Air pollutants-I (NH ₃ , SH ₂ , ethanol and toluene)	✓							9235
Air pollutants-II (H ₂ , CH ₄ , CO, ethanol and isobutane)	✓							9236
Solvent vapors (H ₂ , CH ₄ , CO, ethanol and isobutane)	✓							9237
Water flow 0,15 - 2,5 l/min						✓		9296
Water flow 0,5 - 25 l/min						✓		9297
Water flow 1 - 60 l/min						✓		9298
Soil temperature					✓			9255
Solar radiation					✓			9251

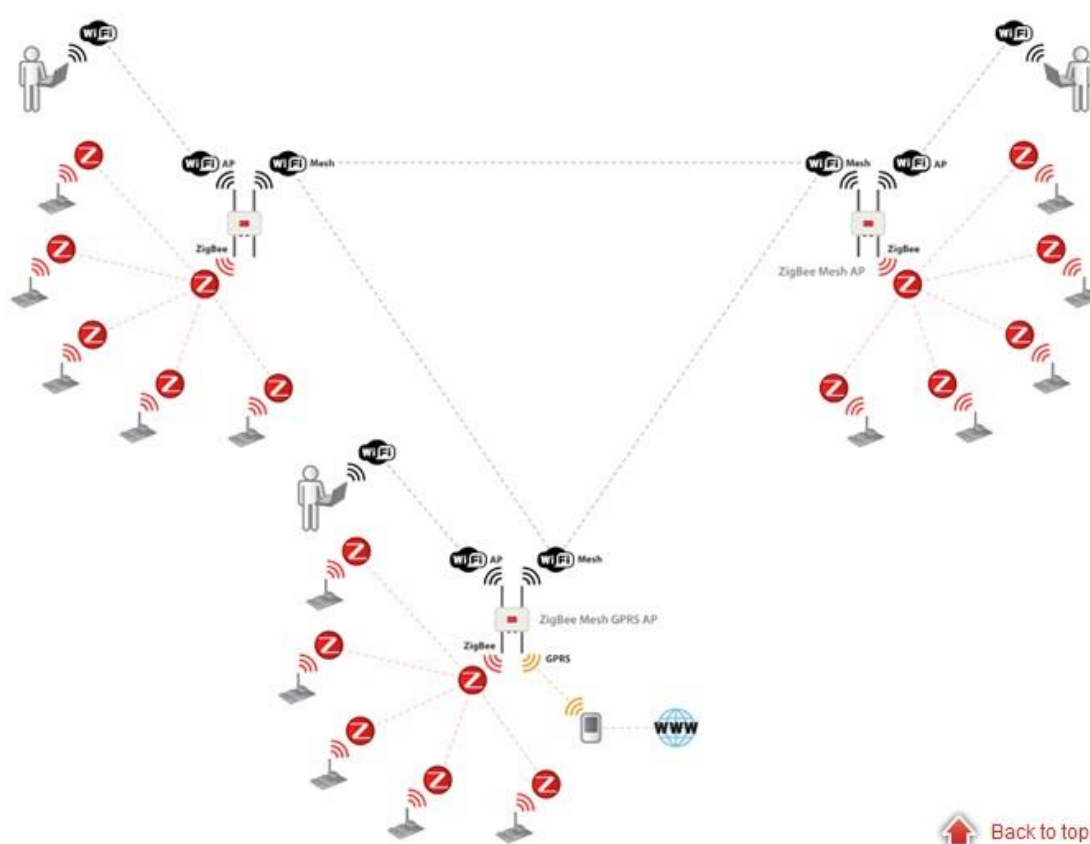
Trunk diameter					✓			9252
Stem diameter					✓			9253
Fruit diameter					✓			9254
Anemometer + wind vane + pluviometer					✓			9256

(zdroj: <http://www.libelium.com/waspmote>)

Základnová stanice (Obr. 4.2.) se nazývá Meshlium a je to v podstatě router s operačním systémem Linux. Můžeme si zvolit mezi pěti bezdrátovými komunikačními interfejsy – WiFi 2,4GHz, WiFi 5GHz, GPRS, BlueTooth, ZigBee a standardním ethernet portem. Dále může být stanice vybavena modulem GPS a solárním napájecím systémem. Stanice je uložena ve skříňce s krytím IP65 pro instalaci kdekoli v přírodě. Každá stanice může připojit až padesát senzorových modulů.

Ukázka typické konfigurace sítě je na **Obr. 4.5.**

Obr. 4.5. – Typická konfigurace WSN (zdroj: <http://www.libelium.com/waspmote>)



Celá síť funguje následovně: Sensory měří požadované veličiny na základě naprogramovaného harmonogramu a prostřednictvím komunikačního modulu je předávají základnové stanici, kde se

ukládají do vnitřní paměti. Základnové stanice jsou mezi sebou propojeny páteří sítí (ethernet) a předávají naměřená data pracovní stanici, která je vyhodnocuje a předává k dalšímu zpracování (webový portál, mapový server). Vzhledem k velmi nízké spotřebě senzorů je reálná doba výdrže baterií 2-4 roky. Vlastností meshové sítě je, že v případě výpadku základnové stanice (porucha, výpadek napájení atd.) přebírá komunikaci se senzorovými moduly další základnová stanice, která má moduly v dosahu.

Technické parametry základnové stanice a senzorového modulu jsou uvedeny v tabulce 4.3. a 4.4.

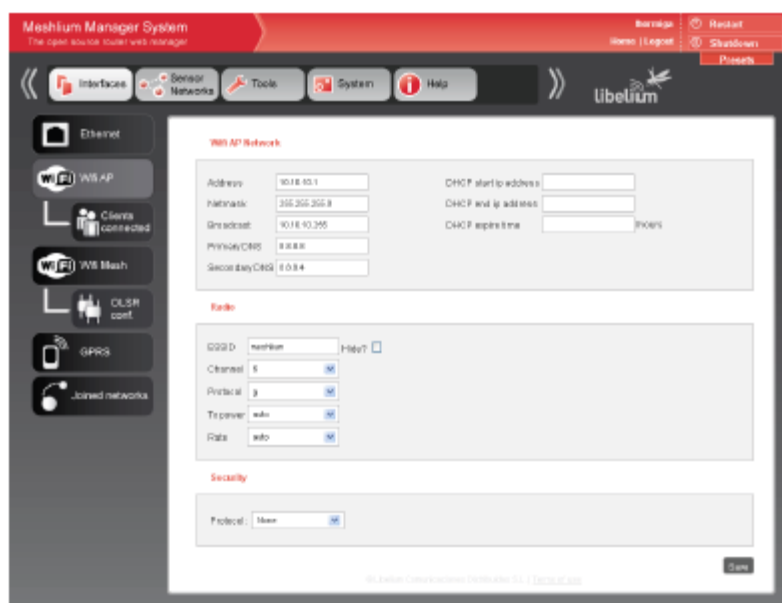
Microcontroller	ATmega1281	Power	3.3V - 4.2V
Frequency	8MHz	Input / Output	7 x analog 8 x digital (I/O) 1 x PWM 2 x UART 1 x I2C 1 x USB
SRAM	8KB		
FLASH	128KB		
EEPROM	4KB		
SD card	2GB	Power consumption	Hibernate → 0.7uA Sleep → 62uA Deep Sleep → 62uA ON → 9mA
Waspote sensors on board	Temperature [-40°C, 85°C] Accelerometer ± 2g (1024LSb/g) / ± 6g (340LSBb/g)	Temperature range	-20°C, +65°C
Weight	20g	Dimensions	73.5 x 51 x 13mm

Tab. 4.3. – Technická specifikace senzorových modulů Waspote
(zdroj: <http://www.libelium.com/waspote>)

Processor	500MHz (x86)	Power	5W (18V) - POE
RAM	256MB (DDR)	Storage	8GB / 16GB / 32GB
Power consumption	270mA – 450mA	Max. Power current	1.5A
Temperature range	-20°C, +50°C	Enclosure	IP65
Time to respond ping over ethernet	60s	Service start time	90s
Weight	1.2Kg	Dimensions	210 x 175 x 50mm
Wifi AP	802.11b/g - 20dBm - 2.4GHz - 500m	Wifi Mesh	802.11 a/b/g - 20dBm - 2.4GHz/5GHz - 2Km
Bluetooth	17dBm - 100m	GSM/GPRS	Quadband: 850MHz / 900MHz / 1800MHz / 1900MHz (World Wide Usage)
802.15.4 / ZigBee / RF	1-100mW (2.4GHz - 868MHz - 900MHz)	GPS	-159dBm sensibility - 1s hot start

Tab.4.4. – Technická specifikace základnové stanice Meshlium
(zdroj: <http://www.libelium.com/waspmote>)

Konfigurace systému se provádí prostřednictvím softwarové aplikace Manager System (Obr. 4.6.).



Manager System 2.0

Obr. 4.6. – Aplikace Manager System (zdroj: <http://www.libelium.com/waspmote>)

.....

.....

1.1 Další možné aplikace WSN v životním prostředí

Možností pro využití WSN v oblasti životního prostředí je velké množství (viz Seznam použité literatury a ostatních zdrojů). Velmi potřebnou aplikací by mohl být monitoring lokálních topenišť, kdy by mohla být vybudována doplňková bezdrátová síť pro měření PM10 a NOX ve vybraných obcích nejpostiženějších oblastí severní Moravy a severních Čech. Sensory by mohly být umístěny buď plošně po obcích, nebo v každém komíně v nejpostiženějších obcích. Tímto způsobem by mohly být monitorovány i další plyny nebezpečné pro životní prostředí a zdraví obyvatelstva jako např. CO₂, CO, NO, SO₂, a NO₂.

Celý systém by mohl být součástí automatizovaného systému včasné výstrahy (EWS) pro krizové meteorologické situace (vyhlášení inverzní situace, regulační stupně, atd.). Zrovna tak by mohl být na základě technologie WSN navržen systém pro celoplošný monitoring vlhkosti půd z pohledu schopnosti krajiny zadržet vodu.

Jiným příkladem využití WSN bylo propojení této technologie monitoringu s digitálním modelem terénu pro podávání např. hodinových předpovědí intenzity osvětlení z pohledu výroby (či hlavně nevýroby) elektřiny ze solárních elektráren.

2 Závěr

V současné době je stále větší tlak na sledování velkého počtu fyzikálních veličin v konkrétních lokalitách na velmi rozlehlých územích. Letadlem či terénním automobilem rozesté velké množství senzorů měří v síti fyzikální vlastnosti svého okolí (teplotu, tlak, vlhkost, koncentraci plynů v atmosféře, v půdě, ve vodě, dále vibrace, sesuvy, atd.). Využití bezdrátových měřících sítí pro **kontaktní** monitoring životního prostředí je velmi moderní a přesnou metodou pro získání jeho charakteristik a sledování trendů dalšího vývoje. Rozvoj bezdrátových senzorových sítí (WSN) ve světě v oblasti environmentální bezpečnosti je velmi dynamický. Oblasti, ve kterých se WSN používají nejčastěji, jsou následující:

❖ Monitoring kvality ovzduší

Již v několika městských aglomeracích (např. Stockholm, Londýn, Brisbane aj.) byly vybudovány bezdrátové senzorové sítě pro sledování koncentrací nebezpečných plynů pro obyvatele. Bezdrátová technologie sběru dat ze senzorů je ve městech lépe využitelná než použití kabelů. Navíc měření mohou probíhat téměř kontinuálně. Pro tyto aplikace jsou používány různé architektury (topologie) sítí, různé typy analýz dat a data mining.



❖ Včasná detekce lesních požárů

Bezdrátová sensorová síť instalovaná na velkých lesních plochách (měří teplotu, vlhkost a detekuje plyny, jež vznikají při hoření dřevní hmoty a vegetace) umožňuje identifikovat ohniska vzniku požáru a jeho šíření. Včasná detekce je zásadní pro úspěšné akce hasičů při hašení a lokalizaci ohnisek požárů. WSN tohoto typu jsou již testovány v USA, konkrétně v několika vybraných lokalitách Arizony a Kalifornie.

❖ Včasná detekce sesuvů půdy

Detekční systém WSN založený na husté síti senzorů (akcelerometrů) měří v reálném čase nepatrné pohyby půdy a také další parametry půdy a jejich změny, které mohou nastat před nebo během sesuvu půdy. Takto nasbíraná data slouží k vytváření predikčních map, které předpovídají výskyt sesuvů dlouho předtím, než se skutečně tak stane. Takto navržené bezdrátové sensorové sítě se testují v oblastech s důlní činností (Pensylvánie, Wales), ale i v oblastech bohatých na přírodní sesuvy (ve střední Číně).

❖ Monitoring kvality vody (především říční toky, jezera, přehradní nádrže)

Sledování kvality vody pomocí WSN zahrnují jak analýzy vlastností vody v přehradách, řekách, jezerech a oceánech, tak i sledování kvality podzemních vod. Použití většího množství bezdrátových senzorů rozmístěných na větší ploše umožňuje vytvoření přesnějších map stavu vody, a umožňuje také trvalé nasazení monitorovacích stanic v místech se špatným přístupem, bez nutnosti manuálního vyhledávání dat. Příkladem takového systému může být systém monitoringu přítoků řeky Loiry ve Francii.

❖ Varovné systémy pro povodně (nebo katastrofální sucha)

Bezdrátové sensorové sítě mohou včas a tím účinně zabránit následkům přírodních katastrof, jako jsou povodně nebo katastrofální sucho. Bezdrátové sensorové uzly byly úspěšně nasazeny na mnoha řekách, kde změny vodní hladiny jsou sledovány v reálném čase a stavová data jsou v reálném čase předávána do centrální databáze. Takové systémy jsou již provozovány celkem rutinně (nejvíce v USA, ale i ve V. Británii, Francii, či Slovinsku).

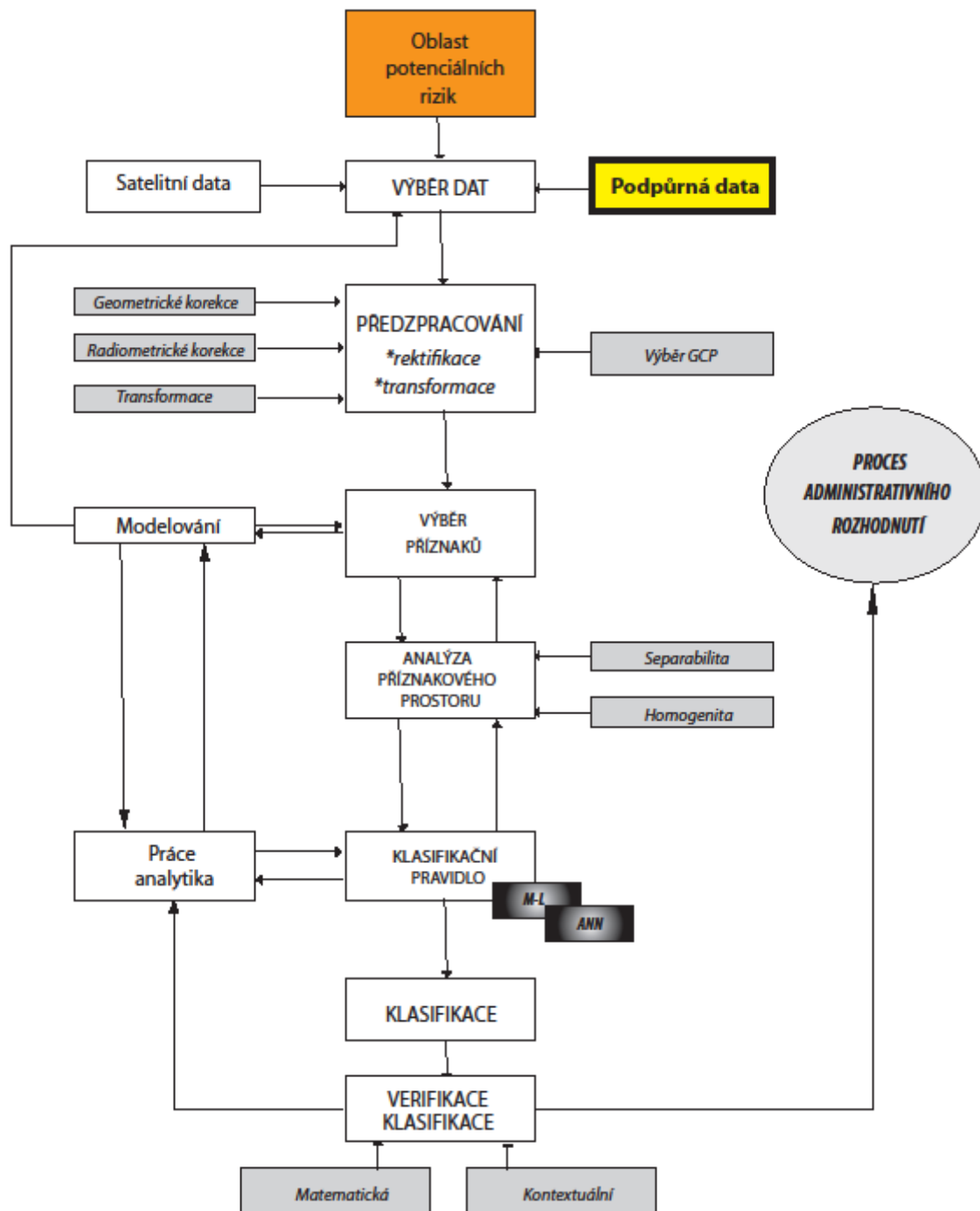
Výše uvedené příklady se týkají využití sítí WSN pro přímý **kontaktní** monitoring životního prostředí. Metodami dálkového průzkumu Země se sledují charakteristiky životního prostředí **bezkontaktně**, pomocí měření fyzikálních veličin záření odraženého nebo emitovaného objekty na zemském povrchu. Oba typy měření se využívají v praxi na sobě nezávisle. Při zpracování dat dálkového průzkumu (především při využití řízených a kontextuálních klasifikátorů) je vždy nutno použít testovací (referenční) data získaná při měřeních in situ. Tato data vždy pomohou ke zpřesnění výsledků zpracování dat dálkového průzkumu. Pokud jsou data in situ pořizována kontinuálně pomocí bezdrátové sensorové sítě, pak přesnost výsledků zpracování dat dálkového průzkumu především s ohledem na srovnávání a změny v čase, se výrazně zvyšuje.

Z výše popsaných důvodů je v následujících schématech navržen postup zpracování dat dálkového průzkumu pro aplikace sledování oblastí potenciálních rizik (řešených v rámci projektu EnviSec) s využitím referenčních (podpurných) dat naměřených pomocí bezdrátové sensorové sítě. Na **obr. 6.1** je znázorněn postup zpracování dat dálkového průzkumu, kde je žlutě označeno místo vstupu podpurných (referenčních) dat ze sítě WSN. Na **obr. 6.2** je pak schéma procesu zpracování dat v rámci

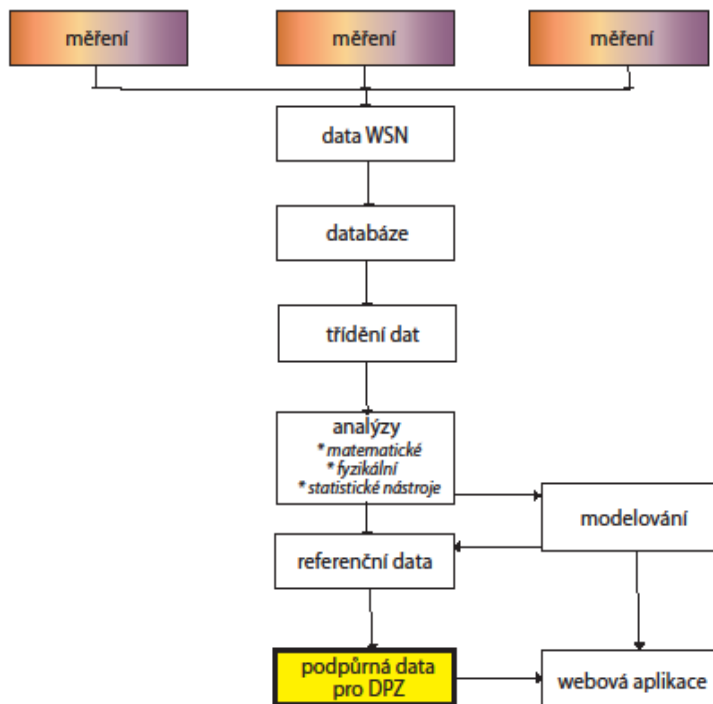


WSN od jejich sběru (měření) až po jejich vstup do procesu zpracování dat dálkového průzkumu („podpůrná data pro DPZ“ ve žlutém rámečku).

Obr. 6.1. – Schéma procesu zpracování dat dálkového průzkumu



Obr. 6.2. – Schéma procesu zpracování dat bezdrátové senzorové sítě





3 Seznam odborné literatury a ostatních zdrojů

DULMAN, Stefan.: *Localization protocols for wireless sensor networks* [online].
neurčeno [cit. 2008-11-02]

Jl, Xiang, ZHA, Hongyuan.: *Sensor Positioning in Wireless Ad-hoc Sensor Networks
Using Multidimensional Scaling* [online]. 2004 [cit. 2008-11-21]

CHRAIBI, Youssef.: *Localization in Wireless Sensor Networks* [online]. 2005
[cit. 2008-10-20]

HE, Tian, et al.: *Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks* [online]. 2003 [cit.
2008-10-22].

LANGENDOEN, Koen, REIJERS, Niels.: *Distributed localization in wireless sensor networks* [online]. 2002
[cit. 2008-10-24].

DIMOKAS, Nikos, KATSAROS, Dimitrios, MANOLOPOULOS, Yannis.: *Node
Clustering in Wireless Sensor Networks by Considering Structural Characteristics of the Network Graph*
[online]. 2007 [cit. 2008-10-01].

CARLSEN, Simon, PETERSEN, Stig. *Wireless Sensor Networks. Introduction to
Instalation and Integration on an offshore Oil & Gas Platform* [online]. 2006 [cit. 2008-10-01].

BAKSHI B. A., PRASANNA K. V.: *Architecture-Independent Programming for
Wireless Sensor Networks*, Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 978-0-471-77889-9.

KOHVAKKA M., SUHONEN J., KUORILEHTO M.: *Ultra-Low Energy Wireless
Sensor Networks in Practice*, John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 978-0-470-05786-5.

Darren More, Dr Michael Brunig, Dr Tim Wark. CSIRO. *Monitoring Rainforest Regeneration*. [Online]
2009. [Citace: 11. 10. 2010.] <http://research.ict.csiro.au>.



Fergus O'Reilly, Joe Buckely. Use of Wireless Sensor Networks for Fluorescent Lighting Control with Daylight Substitution. [Online] [Citace: 15. 10. 2010.] <http://www.sics.se/>.

IZZATDIN ABDUL AZIZ, MOHD HILMI HASAN, MOHD JIMMY ISMAIL, MAZLINA MEHAT, NAZLEENI SAMIHA HARON. Remote Monitoring in Agricultural Greenhouse Using Wireless Sensor. [Online] [Citace: 17. 10. 2010.] <http://www.ijens.org>.

Pedro Mestre, IAENG, Carlos Serodio, Raul Morais, Jorge Azevedo, Pedro Melo-Pinto. Vegetation Growth Detection Using Wireless Sensor Networks. [Online] 2010. [Citace: 17. 10 2010.] <http://www.iaeng.org>. ISBN: 978-988-17012-9-9.

Solobera, Javier. libelium. *Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Waspote*. [Online] 9. 4 2010. [Citace: 25. 10. 2010.] <http://www.libelium.com/libeliumworld/articles/101031032811>.

EnOcean. [Online] [Citace: 10. 11. 2010.] <http://www.enocean.com/>.

IETF Tools. [Online] [Citace: 25. 11. 2010.] <http://tools.ietf.org/>.

Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. *Wireless Sensor Networks: A Survey*. 2002.

Libelium. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.libelium.com/waspote>.

Crossbow. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] www.xbow.com.

Tinynode. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.tinynode.com>.

Memsic. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.memsic.com>.



Alliance, ZigBee. ZigBee Alliance. [Online] [Citace: 10. 4. 2011.]
<http://www.zigbee.org/>.

D.J. Cook, S.K. Das, John Wiley. Wireless Sensor Networks: Technologies, Protocols and Applications. [Online] 2004. [Citace: 25. 4. 2011.]
<http://citeseerx.ist.psu.edu>.

VerizonWireless. [Online] [Citace: 10. 5. 2011.] <http://opennetwork.verizonwireless.com>.

Sensor-Networks. [Online] [Citace: 10. 5. 2011.] <http://www.sensor-networks.org>.

TinyOS. [Online] [Citace: 28. 5. 2011.] <http://docs.tinyos.net>.

Adam, R. and W. Wintersteller (2008), *From Distribution to Contribution. Commercialising the Smart Grid*, Booz & Company, Munich.

Alberta Transportation (2009), "Intelligent Transportation Systems",
<http://www.transportation.alberta.ca/606.htm>

Baggio, L. (2005), "Wireless sensor networks in precision agriculture", *REALWSN 2005 proceedings*,
<http://www.sics.se/realwsn05/papers/baggio05wireless.pdf>

Chong, Chee-Yee and Srikanta P. Kumar (2003), "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", *Proceedings of the IEEE*, 91, 8, 1247-1256.

Culler, D., D. Estrin and M. Srivastava (2004), "Overview of Sensor Networks", *Computer*, August 2004, IEEE Computer Society, Washington, DC, 40-49.

Department of Energy, United States (DOE, 2003), *The Smart Grid: An Introduction*, Washington, DC.

Department of Energy, United States (DOE, 2002), *Industrial Wireless Technology for the 21st century*, Washington, DC.



European Commission (EC, 2006), *European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*, Brussels.

Franz, O., M. Wissner, F. Büllingen, Ch. Gries, C. Cremer, M. Klobasa, F. Sensfuß, S. Kimpeler, E. Baier, T. Lindner, H. Schäffler, W. Roth and M. Thoma (2006), *Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy)*, Bad Honnef.

Green, K. (2007), "A Wireless Sensor City", MIT Technology Review, April 13th, MIT, Cambridge, MA.

Group on Earth Observations (GEO) (2008), Geo Members, www.earthobservations.org/ag_members.shtml.

Healthy Aims (2008), EU Framework VI project, www.healthyaims.org.

Home Plug Alliance (2009a), "EPRI Collaborates with ZigBee and HomePlug to Define Smart Energy Standard for Consumer Applications", www.homeplug.org/news/pr/view?item_key=48cbecfda7c48fea53ea088758dd6cfefe4101b1.

Home Plug Alliance (2009b), "HomePlug Standard Brings Networking to the Home", www.commsdesign.com/main/2000/12/0012feat5.htm.

Intelligent Transportation Systems Society (ITS Canada, 2009), "About Intelligent Transportation Systems (ITS)", www.itscanada.ca/english/aboutits.htm.

MORYNE (2008), MORYNE Project, www.fp6-moryne.org.

ON World (2007), *WSN for Smart Buildings - A Market Dynamics Report*, ON World, San Diego.



Research and Innovative Technology Administration, U.S. Department of Transportation (RITA, 2009), “Intelligent Transportation Systems – Applications Overview”, www.itsoverview.its.dot.gov/.

Science Applications International Corporation (SAIC, 2006), *San Diego Smart Grid Study Final Report*, San Diego.

Siderius, H. and A. Dijkstra (2006), Smart Metering for Households: Costs and Benefits for the Netherlands, http://mail.mtprog.com/CD_Layout/Day_2_22.06.06/0900-1045/ID57_Siderius_final.pdf.

Siemens (2008), Sustainable Buildings – Smart Meters: Stabilizing the Grid, http://w1.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2008/gebaeude/zaehler.htm.

Silva Girão, P., F. Algeria, J. M. Viegas, B. Lu, J. Vieira (2006), “Wireless System for Traffic Control and Law Enforcement”, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 15-17 December, 1768-1770.

Taylor, J. and B. Whelan (2005), A General Introduction to Precision Agriculture, www.usyd.edu.au/agric/acpa/pag.htm.

United States Department of Agriculture (USDA, 2007), “Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies”, *Agronomy Technical Note No. 1*, Greensboro/North Carolina.

Veloso, M., C. Bentos and F. Câmara Pereira (2009), “Multi-Sensor Data Fusion on Intelligent Transport Systems”, *MIT Portugal Transportation Systems Working Paper Series*, ITS-CM-09-02, March.

Verdone, R., D. Dardari, G. Mazzini and A. Conti (2008), *Wireless Sensor and Actuator Networks*, Academic Press/Elsevier, London.

Viegas, J. and B. Lu (2001), “Widening the Scope for Bus Priority with Intermittent Bus Lanes”, *Transportation Planning and Technology*, 24, 87-110.



Wang, N., N. Zhang and M. Wang (2006), "Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry – Recent Development and Future Perspective", *Computers and Electronics in Agriculture*, 50, 1-14.

Wark, T., P. Corke, P. Sikka, L. Klingbeil, Y. Guo, Ch. Crossman, Ph. Valencia, D. Swain and G. Bishop-Hurley (2007), "Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Networks", *Pervasive Computing*, April-June, 50-57.

Wilson, J. (2008), *Sensor Technology Handbook*, Newnes/Elsevier, Oxford.