

**Univerzita Palackého v Olomouci**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geoinformatiky**

**Ondřej JIRÁSEK**

**SENZOROVÉ SÍTĚ V ENVIROMENTÁLNÍCH  
STUDIÍCH**

**Magisterská práce**

**Vedoucí práce: RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.**

**Olomouc 2013**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem magisterskou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Viléma Pechance, Ph.D.

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

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

V Olomouci 10. 4. 2013

podpis.....







# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>12</b>
<b>2 METODY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
2.1 Studium literárních pramenů .....	13
2.2 Vymezení pojmů.....	13
2.3 Postup zpracování .....	14
<b>3 POPIS DISPONUJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ NA KGI</b> .....	<b>16</b>
3.1 Telemetrické stanice.....	16
3.1.1 Fiedler 4016 telemetrická stanice .....	16
3.1.2 Stela 1 – Malá telemetrická stanice.....	22
3.1.3 M4516 + MG40 - Malá telemetrická stanice GSM/GPRS modem .....	27
3.1.4 Varovná srážkoměrná stanice TS-200.....	28
3.2 Datalogery.....	30
3.2.1 MINILOG .....	30
3.2.2 Virribloger .....	33
3.2.3 MiniCube .....	34
3.2.4 EM50.....	35
3.2.5 ALA module .....	36
3.3 Senzory .....	37
3.3.1 Ultrazvukový snímač výšky hladiny US1200 .....	37
3.3.2 Tlakový snímač výšky hladiny LMP307.....	37
3.3.3 PT100-XM snímač teploty .....	38
3.3.4 Decagon 10HS, půdní vlhkosti .....	39
3.3.5 Decagon EC 5, senzor půdní vlhkosti .....	40
3.3.6 EMS 33, teplotní senzor .....	41
3.3.7 Virrib, snímač půdní vlhkosti .....	41
3.3.8 EMS 11, radiační senzor.....	43
3.3.9 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger.....	43
3.3.10 Srážkoměr s dataloggerem HOBO Event Datalogger – RG3.....	45
3.3.11 Starter kit for wireless sensor networks .....	46
<b>4 PLATFORMY SENZOROVÉHO MĚŘENÍ</b> .....	<b>47</b>
4.1 Low-End platformy .....	49
4.1.1 Skupina platforem Mica .....	49
4.1.2 Telos/TMOT .....	49
4.1.3 EYES.....	49

4.2	High-End platformy .....	50
4.2.1	Stargate.....	50
4.2.2	Imote a Imote2 .....	51
4.3	Standardizace .....	51
4.3.1	IEE 802.15.4 .....	51
4.3.2	ZigBee .....	51
4.3.3	WirelessHART.....	53
4.3.4	6LoWPAN .....	54
4.3.5	Další snahy o standardizaci .....	55
4.4	Software.....	55
<b>5</b>	<b>ARCHITEKTURA SENZOROVÝCH SÍTÍ.....</b>	<b>57</b>
5.1	Fyzická vrstva.....	59
5.2	Datová vrstva .....	59
5.3	Síťová vrstva.....	60
5.4	Transportní vrstva .....	61
5.5	Aplikační vrstva .....	61
<b>6</b>	<b>FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ NÁVRH SENZOROVÉ SÍTĚ.....</b>	<b>64</b>
6.1	Hardwarové omezení.....	64
6.2	Odolnost vůči chybám.....	67
6.3	Škálovatelnost.....	68
6.4	Nákladovost .....	68
6.5	Topologie bezdrátových senzorových sítí.....	68
6.5.1	Fáze před-nasazení a nasazení .....	68
6.5.2	Fáze po-nasazení.....	69
6.5.3	Fáze opětovného nasazení dalších uzlů.....	69
6.6	Přenosová média .....	69
6.7	Spotřeba energie.....	71
<b>7</b>	<b>APLIKACE SENZOROVÝCH SÍTÍ V ENVIROMENTÁLNÍCH STUDIÍCH .</b>	<b>73</b>
7.1	Great Duck Island .....	73
7.2	Monitoring sopečné činnosti.....	74
7.3	Včasná detekce záplav.....	75
7.4	Monitorování jevů v těžko dostupném prostředí .....	76
7.5	Lavinový výstražný systém měřící rychlostní spektra .....	76
7.6	DOCOMO senzorová síť pro sledování životního prostředí.....	78
7.7	Projekt SEAMONSTER.....	78
7.8	Nízkonákladové profilování teploty – Micro-T Mooring System .....	79



<b>8 NÁVRH A REALIZACE SENZOROVÉ SÍTĚ ZAMĚŘENÉ NA SRÁŽKO-ODTOKOVÉ POMĚRY VE VYSOKÉM POLI.....</b>	<b>80</b>
8.1 Datalogger MINILOG.....	81
8.1.1 Tlakový snímač výšky hladiny LMP307.....	82
8.1.2 Teploměr PT100-XM.....	82
8.2 Datalogger EM50.....	83
8.2.1 Decagon EC 5.....	84
8.3 Varovná srážkoměrná stanice TS-200.....	85
8.3.1 VIRRIB.....	86
8.4 MINICUBE.....	87
8.4.1 EMS 11, radiační senzor.....	88
8.4.2 Teploměr PT100-XM.....	88
8.4.3 VIRRIB, snímač půdní vlhkosti.....	88
8.4.4 EMS 33, teplotní senzor.....	88
8.5 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger.....	89
8.6 VIRRIBLOGGER.....	90
8.6.1 VIRRIB.....	91
8.7 HOBO Event datalogger – srážkoměr Amet.....	92
8.8 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger.....	93
8.9 ALA module.....	95
8.9.1 PT100-XM.....	95
8.9.2 VIRRIB – snímač půdní vlhkosti.....	96
8.10 HOBO Event datalogger se srážkoměrem Amet.....	96
<b>9 JEDNODUCHÉ SRÁŽKO-ODTOKOVÉ ANALÝZY.....</b>	<b>98</b>
9.1 Parametr IPS – index předchozích srážek.....	99
9.2 Předchozí srážkový index (API).....	100
9.3 Interpolace dle vzdálenosti těžišť.....	101
<b>10 VÝSLEDKY.....</b>	<b>102</b>
10.1 Bezdrátová senzorová síť.....	102
10.2 Elektronizované schematizované rozhraní.....	102
10.3 Srážko-odtokové analýzy.....	104
10.3.1 Parametr IPS.....	104
10.3.2 Index API.....	104
10.3.3 Interpolace dle vzdálenosti těžišť.....	105
<b>11 DISKUZE.....</b>	<b>107</b>
<b>12 ZÁVĚR.....</b>	<b>108</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	

**SUMMARY**  
**PŘÍLOHY**  
**SEZNAM PŘÍLOH**

# ÚVOD

Životní prostředí je pro člověka nedílnou součástí jeho života. Díky sledování veličin týkajících se životního prostředí je možné vyhodnocovat jeho kvalitu, analyzovat vliv antropogenního či neantropogenního působení, či předpovídat jeho budoucí vývoj. Jako veškeré své aktivity si člověk snaží usnadnit i sledování těchto veličin. Díky použití bezdrátových sensorových sítí si však můžeme měření veličin týkajících se životního prostředí nejen ulehčit, ale také ho zefektivnit a použití bezdrátových sensorových sítí nám umožní kontinuálně měřit i na těžko dostupných místech.

Senzorové sítě se v poslední době těší velkého rozšíření nejen v oblasti environmentálních studií ale v mnoha dalších odvětvích týkajících se kontinuálního sledování nejrůznějších veličin. Sensorové sítě mají opravdu rozsáhlou škálu využití a mohou člověku výrazně usnadnit život.

Tato práce se zaměřuje na popis bezdrátových sítí používaných v environmentálních studiích, jejich využití a tvorbu na praktickém příkladu vytvoření sensorové sítě ve Vysokém Poli, která vznikla v průběhu této práce a je jejím hlavním výstupem.

Doufám, že tato práce bude nápomocna jak lidem, kteří budou pracovat s touto sensorovou sítí, tak těm, kteří budou pracovat s vlastní nebo vytvářet zcela novou síť senzorů.

# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je provést rešerši a na jejím základě funkční prototyp sensorové sítě pro vybrané enviromentální studie, vysvětlit základní pojmy týkající se tohoto tématu a vytvoření přehledu sensorových sítí určených pro enviromentální studie.

Dalším cílem je vytvoření funkční sensorové sítě v terénu, která bude složená z dostupného zařízení na KGI a bude zaměřena na srážko-odtokové procesy v krajině. Následně budou naměřená data využita k jednoduchým srážko-odtokovým analýzám.

Posledním cílem je vytvoření elektronického schematizovaného rozhraní, které bude sloužit pro získávání informací o architektuře sítě, konfiguraci jednotlivých součástí a jejich aktivitě.

## 2 METODY ZPRACOVÁNÍ

Při tvorbě této magisterské práce bylo použito následujících geografických a informačních metod:

### 2.1 Studium literárních pramenů

Tituly uvedené v seznamu literatury a manuály k jednotlivým přístrojům mi byly nápomocny při vymezení pojmů souvisejících s tímto tématem a k nastudování dané problematiky.

### 2.2 Vymezení pojmů

**Senzor** je počeštěné slovo z angličtiny (sensor), česky čidlo nebo snímač. Obecně je to specializovaný zdroj informací pro řídicí systém (například mozek), v užším slova smyslu je to technické zařízení které měří určitou fyzikální veličinu a převádí ji na signál, který lze dálkově přenášet a dále využít v měřicích a řídicích systémech. Hlavními parametry senzorů jsou: citlivost, práh citlivosti, dynamický rozsah, reprodukovatelnost (podle odchylky na naměřených hodnotách jedné veličiny), rozlišitelnost a chyby senzoru (aditivní, multiplikativní). Výstupní hodnota senzoru je většinou udává rozdílem napětí nebo proudu od "nuly" (ta se většinou určuje). Sensory můžeme dělit podle: měřené veličiny, fyzikálního principu, styku s prostředím (dotykové a bezdotykové senzory) nebo podle stupně integrace (Kreidl, Šmíd, 2006).

**Citlivost** - statická převodní charakteristika senzoru je dána funkční závislostí  $y = f(x)$  mezi vstupní veličinou  $x$  výstupní veličinou  $y$  časově ustáleném stavu. Tuto závislost lze velmi často popsat polynomem  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$  (1). Ideální statická charakteristika je dána vztahem  $y = Kx$  (2), kde  $K$  je citlivost senzoru a současně konstanta přenosové funkce. Pro obecnou funkční závislost je citlivost  $K$  definována jako

$K = \frac{df(x)}{dx}$  (3). Vzhledem k působení parazitních veličin je lepší definovat citlivost

takto:  $K = \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right)$  (4), kde  $z_1, \dots, z_n$  jsou parazitní veličiny.

**Práh citlivosti** je dán hodnotou snímané veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající střední kvadratické odchylce šumu senzoru. Například pro napěťový signál je práh citlivosti  $u_y = \sqrt{u_s^2}$  (5)

**Dynamický rozsah** je dán intervalem přípustných hodnot snímané fyzikální veličiny, ohraničený prahem citlivosti a maximální hodnotou měřené veličiny.

**Reprodukovatelnost** je dána odchylkou naměřených hodnot při krátkodobém časovém sledu měření neměnné vstupní veličiny a neměnných rušivých vlivů okolí.

**Rozlišitelnost** senzoru je nejmenší změna snímané veličiny odpovídající absolutní nebo relativní chybě senzoru. Při analogové transformaci signálu je rozlišitelnost dána vztahem

$$r_a = \frac{1}{\frac{y_{\max} - y_{\min}}{2(\Delta y)_{\max}} + 1} = 2\delta_g \quad (6)$$

kde  $(\Delta y)_{\max}$  je maximální hodnota absolutní chyby měření v rozsahu měření,  $\delta_g$  je relativní chyba senzoru.

**Geosenzor** je senzor, který je schopný shromažďovat a poskytovat geografické informace v širokém spektru souvislostí (Worboys, Duckham, 2003).

**Datalogger** je zařízení určené pro ukládání dat. To zahrnuje mnoho zařízení pro sběr dat, jako jsou paměťové karty nebo různé komunikační systémy. Nicméně v rámci senzorových sítí považuje většina výrobců za datalogger samostatný přístroj, který umí číst různé typy elektrických signálů a ukládat do interní paměti pro pozdější stažení do počítače. Mohou tedy fungovat nezávisle na počítači.

**Telemetrická stanice** je zařízení, která je od výroby vybaveno integrovaným dataloggerem a transceiverem, popřípadě některými senzory.

**Senzorová síť** je skupina speciálních snímačů s komunikační infrastrukturou určenou ke sledování a k záznamům o podmínkách na různých místech. Běžně sledované parametry jsou teplota, vlhkost, tlak, směr a rychlost větru, intenzita osvětlení, intenzita vibrací, intenzita zvuku atd.

## 2.3 Postup zpracování

Praktická část práce obsahuje vytvoření senzorové sítě v okolí EnviCentra ve Vysokém Poli. Bylo proto nutné nejprve zkontrolovat funkčnost jednotlivých senzorů a dataloggerů, nastudovat jejich technické parametry, zprovoznit a ve Vysokém Poli je rozmístit v terénu.

Byl vytvořen podrobný popis technických parametrů pro každý senzor a datalogger disponujícího zařízení na KGI a detailně popsány veškeré vrstvy senzorových sítí, faktory ovlivňující návrh senzorové sítě a uvedeny případové studie na téma senzorové sítě.

V programu ArcGIS Viewer for Flex Application builder 3.2 bylo vytvořeno interaktivní schéma senzorové sítě ve Vysokém Poli.

V programu ArcMap 10.0 byly vytvořeny mapy a bylo popsáno rozmístění všech uzlů sensorové sítě. Nakonec byly na data naměřená sensorovou sítí ve Vysokém Poli aplikovány jednoduché srážko-odtokové analýzy.

### 3 POPIS DISPONUJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ NA KGI

Katedra KGI disponuje následujícím vybavením s uvedenými parametry:

#### 3.1 Telemetrické stanice

##### 3.1.1 Fiedler 4016 telemetrická stanice

Stanice M4016 při plném vybavení v sobě zahrnuje univerzální datalogger, telemetrickou stanici se zabudovaným GSM modulem, programovatelný řídicí automat a ve spojení s ultrazvukovými nebo tlakovými snímači hladiny i vícenásobný průtokoměr.

KGI disponuje dvěma těmito telemetrickými stanicemi.



Obr. 1: Telemetrická stanice Fiedler 4016 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Technické parametry:

Tabulka 1: Technické parametry telemetrické stanice Fiedler 4016 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Parametry záznamových kanálů</b>	
<b>Záznamové kanály</b>	16 analogových s rozlišením 16 bitů, 40 binárních s ukládáním stavu a času, 1 textový pro ukládání událostí (1 záznam max. 220B)
<b>Seznam fyzikálních veličin z nabídky M4016</b>	okamžitý průtok [ l/s, hl/s, m <sup>3</sup> /h] kumulovaný průtok [m <sup>3</sup> ] hladina [mm, cm, m] objem [l, hl, m <sup>3</sup> ] teplota [K, °C] vlhkost [%] pH [pH] redox, ISE [mV] vodivost [mS/cm <sup>2</sup> ] rozpuštěný chlór [mg/l] zbytkový chlor [mg/l] tlak [Pa, hPa, kPa, Mpa, mm v.s., mbar]



	dešťové srážky [mm, čas pulsu] suma dešťových srážek [mm] proud [uA, mA, A] napětí [mV, V] frekvence [Hz, kHz, 1/min] volitelná veličina [-] čas pulsu [-] počet pulsů
<b>Uložení dat v paměti</b>	0 až 3 desetinná místa (od 0,000 do 65535; ±32767)
<b>Jmenovka kanálu</b>	12 znaků
<b>Seznam měřících metod</b>	RS485 (protokol FINET) Číslicová proud. Smyčka DCL (0/20 mA, protokol ASCII-U) 0 – 1 mA, 0(1) – 5 mA, 0(4)-20 mA, 0(4) – 24 mA 0 – 10 kHz 0 – 1 V; 0 – 2V; 0 – 20 mV (40 mV, 80mV, 150 mV, 0,3 V, 0,6 V, 1,25V) Počet pulsů, čas pulsu
<b>Kapacita datové paměti</b>	2048 kB Flash typ, 250 000 – 450 000 hodnot včetně času
<b>Hlavní interval archivace</b>	Od 0 min. do 1440 min, krok 1 min, každý kanál samostatně
<b>Pomocný interval archivace</b>	Od 0 min do 255 min, automatické přepínání intervalů
<b>Čítače motohodin</b>	Čítač s kapacitou 999 999 hodnot: 59 min pro každý binární kanál
<b>Alarmy</b>	Limitní a gradientní alarm pro každý záznamový kanál
<b>Vyhledávání v datech</b>	Denní minima (až 5), maxima (až 5), průměr a suma
<b>Programové vybavení určené pro sledování průtoku</b>	
<b>Výpočet okamžitého průtoku z hladiny pro vybrané měrné profily</b>	<i>Přednastavené profily:</i> Parshall: P1: $Q=0,0609 \cdot H^{1,552} [m^3, m]$ P2: $Q=0,1197 \cdot H^{1,553} [m^3, m]$ P3: $Q=0,1784 \cdot H^{1,555} [m^3, m]$ P4: $Q=0,3539 \cdot H^{1,558} [m^3, m]$ P5: $Q=0,5214 \cdot H^{1,558} [m^3, m]$ P6: $Q=0,6746 \cdot H^{1,556} [m^3, m]$

	<p>P7: <math>Q=1,0150 \cdot H^{1,556} [\text{m}^3, \text{m}]</math>  P8: <math>Q=1,3680 \cdot H^{1,564} [\text{m}^3, \text{m}]</math>  P9: <math>Q=2,0810 \cdot H^{1,569} [\text{m}^3, \text{m}]</math></p> <p>Ventura:  10: <math>Q=0,1986 \cdot H^{1,541} [\text{m}^3, \text{m}]</math>  20: <math>Q=0,3248 \cdot H^{1,543} [\text{m}^3, \text{m}]</math>  30: <math>Q=0,6133 \cdot H^{1,544} [\text{m}^3, \text{m}]</math></p> <p>Thomson:  <math>Q=1,3546 \cdot H^{2,48515} [\text{m}^3, \text{m}]</math></p> <p><i>Obecně parametrizovatelné rovnice</i></p> <p>Základní rovnice:  <math>Q=A_1 \cdot H^{A_2} [\text{m}^3, \text{m}, \text{m}]</math></p> <p>Kombinovaný Parshallův žlab dvojitý:  <math>Q= A_1 \cdot H^{A_2} + A_3 \cdot (H-H_1)^{A_4} [\text{m}^3, \text{m}, \text{m}]</math></p> <p>Kombinovaný Parshallův žlab trojitý:  <math>Q= A_1 \cdot H^{A_2} + A_3 \cdot (H-H_1)^{A_4} + A_5 \cdot (H-H_2)^{A_6} [\text{m}^3, \text{m}, \text{m}]</math></p> <p>Tabulkové zadání závislosti Hladina/Průtok:  Tabulka I: 30 řádek  Tabulka II: 20 řádek</p>
<b>Výpočet okamžitého průtoku z pulsů</b>	Výpočet okamžitého průtoku z váhy pulsu a četnosti pulsů, max. počet připojených vodoměrů: 8
<b>Výpočet celkového proteklého objemu</b>	Archivace odděleně po kanálech, výpočet denních průtoků nad datovou pamětí s denním krokem v rozsahu 1-31
<b>Kapacita čítačů průtoku</b>	0-4 290 000 000 $[\text{m}^3]$
<b>Ostatní výpočty nad záznamovými kanály</b>	Rozdíl dvou kanálů Součet dvou kanálů Korekce zpětného vzduť v Parshallově žlabu (korekce vyžaduje použití dvou snímačů hladiny) Kluzavý součet, výpočet v intervalu 10-1440 minut Výpočet trendu, výpočet v intervalu 10-1440 minut Korekce hodnoty obecným polynomem druhého řádu
<b>Vstupy</b>	
<b>Digitálně analogové vstupy DAV1-DAV6</b> <b>Digitální vstupy DAV7-DAV8</b>	Proudová smyčka 0(4)-20 mA: Rozlišení: 16 bitů, převodník 24 bitů Přesnost měření: $\pm 0,05\%$ FS $\pm 3$ digity Max. napěťový úbytek na vstupu: $< 6$ V Reference: 0,1%, Tk: max. 10 ppm Frekvence:

	Rozsah: 10 Hz – 10 kHz Rozlišení: 16 bitů Přesnost měření: $\pm 0,1\% \pm 1$ digit ( $f > 1$ kHz) Číslicový signál DCL (DAV1-DAV6) 2400 Bd, protokol ASCII-U, $L < 0.5$ mA, $H > 5$ mA
<b>Analogové vstupy AV1-AV5</b>	Diferenciální napěťový vstup: Rozsah: $\pm 1,25$ VDC Programovatelné zesílení od $\pm 20$ mV do $\pm 1,25$ V Rozlišení: 16 bit Přesnost: $\pm 0.1\%$ FS $\pm 3$ digity (2,5V)
<b>Binární vstupy PV-PV8</b>	min šířka pulsu: 5 mS, max frekvence pulsů: 50 Hz Kapacita čítače pulsů : 4.290.000.000
<b>Pulsní vstupy PV1-PV8</b>	Min šířka pulsu: 5mS, max frekvence pulsů: 50Hz Kapacita čítače pulsů: 4 290 000 000
<b>Externí vstupní modul</b>	$H > 5$ k_ $L < 300$ R, aktivní úroveň: L (max.I= 7 mA) Klidový stav vstupů: H úroveň 12 V DC ( $R_i = 2,2$ k_) Způsob komunikace: RS485 Max. počet připojených modulů DV2: 2
<b>Přepět'ová ochrana vstupů</b>	Suppressors 1500W, 15V DC
<b>Výstupy</b>	
<b>RS485</b>	600 Bd – 19200 Bd, protokol FINET
<b>DCL Output</b>	2400 Bd, proudová smyčka 0/20 mA
<b>Relé LIMIT a relé SAMPLER</b>	1x spínací kontakt max. 5A / 48 V DC
<b>Externí výstupní modul DV2</b>	6x relé se spínacím kontaktem, max. 6 A / 250 A VC Přepět'ová ochrana kontaktů: suppressors 440 V DC Způsob komunikace: RS485 Max. počet připojených modulů DV2: 2
<b>Proudový výstup 4-20 mA Modul MAV420</b>	Aktivní výstup, galvanické oddělení ( $U_{max.} = 400$ V DC) Přepět'ová ochrana: suppressor 36 V DC Rozlišení: 16 bitů; nelinearita $< 0.1\%$ Způsob komunikace: RS485 Max. počet připojených MAV420: 16 Adresace: nastavení adresy pomocí přepínače
<b>GSM/GPRS/SMS komunikace</b>	
<b>GSM modul</b>	Typ modulu: Enabler-G Výrobce: Enfora Umístění modulu: vedle řídicí desky M4016 uvnitř kov. odlitku
<b>GSM</b>	Frekvenční pásmo: 900/1800 MHz (EGSM/DCS) Citlivost: -108 dB (typická hodnota)

	Vysílací výkon: CLASS 4 (2W @ 900 MHz) CLASS 1 (1W @ 1800 MHz) CS Data: Asynchronní, max. přenosová rychlost 9,6 kB/s
<b>GPRS</b>	Sloty: Class 12 (4Rx / 4Tx, 5MAX)
<b>SMS</b>	Textové SMS, 160 znaků Počet nastavitelných SMS: 32 varovných, 8 pevných, 2 info Počet dotazových kódů pro sestavení SMS: 19 Počet řídicích kódů pro ovládání M4016 a periférií: 5 Max. počet adresátů v seznamu: 16 Podpora kreditních SMS: periodické zjišťování aktuálního kreditu, zasílání upozornění při poklesu, přeposílání SMS operátora
<b>Napájení</b>	Interní řízený DC/DC měnič: nap. akumulátoru / 3,8 V DC proudová spotřeba (typ.): 1Tx/1Rx: max. 230 mA (špička 1,25A) 1Rx: max. 105mA klid: < 5mA
<b>Pracovní teplota</b>	-20°C až 60 °C (skladovací teplota -40°C až 85 °C)
<b>SIM karta</b>	Přístup po odstranění ochranného víčka, vyklápěcí držák
<b>Anténa</b>	Magnetická duální , kabel 3 m pro venkovní umístění
<b>Konvertor RS 232/Ethernet</b>	
<b>Umístění</b>	Pod řídicí jednotkou v samostatné krabičce uvnitř M4016
<b>Interface</b>	RJ45 – 10BaseT – IEEE 802.3
<b>Napájení</b>	Z externího zdroje 8 – 20 V DC, max. proudový odběr 200 mA
<b>Podporovaný protokol</b>	TCP/IP server (pasivní režim) Konvertor čeká na připojení klienta – program MOSTNET
<b>Parametry řídicí jednotky</b>	
<b>Mikroprocesor</b>	Typ RISC; 8 bitů; napájecí napětí 3,3V
<b>Paměť parametrů</b>	EEPROM 8 kB
<b>Klávesnice</b>	21 hmatníků, mechanická odezva stisku
<b>Displej</b>	Alfanumerický LCD displej 2x16 znaků, výška znaku 9 mm, nastavitelný kontrast a jas v rozsahu 0-100 %

<b>Napájecí napětí</b>	Bezúdržbový akumulátor 6V/12Ah nebo 12V/7,2 Ah
<b>Proudová spotřeba jednotky</b>	Typ. 4 mA, 50 uA v klidu (aktivní PV vstupy, neseprnuté) Typ. 90 mA při napájení dvou snímačů 4-20 mA Typ. 250 mA při zapnutém podsvětlení displeje
<b>Napájení čidel</b>	Interní řízený DC/DC zvyšující měnič: nap.aku / 17V DC Max. proudový odběr ze svorek +17V: 250 mA Max. proudový odběr ze spínaných svorek +Unap: 0,5A
<b>Rozměry</b>	320 mm x 215 mm x 170 mm
<b>Hmotnost</b>	2,6 kg bez akumulátoru
<b>Materiál krytu řídicí jednotky</b>	Hliníkový odlitek
<b>Materiál skříně</b>	Mechanicky odolný, skelným vláknem vyztužený samozhášivý polyester
<b>Stupeň krytí skříně M4016</b>	IP66
<b>Stupeň krytí řídicí jednotky</b>	IP67
<b>Kabelové vývodky</b>	Max. 7ks (3 x PG9, 2 x PG11, 2 x PG13,5), krytí IP67
<b>Konektory</b>	Amphenol 7 pólů, IP67
<b>Pracovní teplota M4016</b>	-30°C ... +65°C (skladovací teplota -30°C ... +75°C)

### 3.1.2 Stela 1 – Malá telemetrická stanice

Malá telemetrická stanice STELA je složena z univerzálního dataloggeru a z GSM/GPRS komunikačního modulu. Společné bateriové napájení je dimenzované na mnoho roků provozu. Díky tomu lze z telemetrických sestav STELA vytvořit rozsáhlé monitorovací sítě nezávislé na vnějším napájecím napětí a lze je kombinovat do jednoho systému se sofistikovanější telemetrickou stanicí M4016.

KGI disponuje třemi těmito telemetrickými stanicemi.



Obr. 2: Telemetrická stanice Stela 1 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 2 Technické parametry telemetrické stanice Stela I (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Parametry záznamových kanálů</b>	
<b>Počet záznamových kanálů</b>	0-16 záznamových měřících kanálů s rozlišením 16 bitů 0-40 binárních kanálů s ukládáním stavu a času změny 1 textový kanál pro ukládání událostí (1 záznam max. 220 B)
<b>Seznam fyzikálních veličin z nabídky stanice</b>	Okamžitý průtok [ l/s, hl/s, m <sup>3</sup> /s, l/h, hl/h, m <sup>3</sup> /h ] Kumulovaný průtok [ m <sup>3</sup> ] Hladina [ mm, cm, m ] Teplota [ K, °C ] Vlhkost [ % ] pH [ pH ] Redox, ISE [ mV ] Vodivost [ mS/cm <sub>2</sub> , uS/cm <sub>2</sub> ] Rozpuštěný kyslík [ mg/l ] Tlak [ Pa, hPa, kPa, Mpa, mm v.s., mbar ] Dešťové srážky [ mm, čas pulsu ] Proud [ uA, mA, A ] a Napětí [ mV, V ] Volitelná veličina [ - ] Čas pulsu [ - ]

	Počet pulsů
<b>Uložení dat v paměti</b>	0 až 3 desetinná místa (od 0.000 do 65535; ±32767)
<b>Jmenovka kanálu</b>	12 znaků
<b>Seznam měřících metod</b>	0 – 1mA, 0(1) – 5 mA 0(4) – 20 mA , 0(4) – 24 mA počet pulsů, čas pulsu Po dohodě: 0 – 1 V; 0 – 2 V; 0 – 20 mV -20mV – +20 mV (40mV, 80mV, 150 mV, 0.3V, 0.6V, 1.25V)
<b>Kapacita datové paměti</b>	2048 kB Flash typ, 250.000 - 450.000 hodnot včetně času
<b>Hlavní interval archivace</b>	Od 0 min. do 1440 min, krok 1 min, každý kanál samostatně
<b>Pomocný interval archivace</b>	Od 0 min to 255 min, automatické p řepínání intervalů
<b>Čítače motohodin</b>	Čítač s kapacitou 999 999 hod : 59 min pro každý bin. k anál
<b>Alarmy</b>	Limitní a gradientní alarm pro každý záznamový kanál
<b>Ostatní výpočty nad záznamovými kanály</b>	Rozdíl dvou kanálů Součet dvou kanálů Korekce zpětného vzduťí v Parshallově žlabu (korekce vyžaduje použití dvou snímačů hladiny) Klouzavý součet, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut Klouzavý průměr, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut Výpočet trendu, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut Korekce hodnoty obecným polynomem druhého řádu
<b>Programové vybavení určené pro sledování průtoku</b>	
<b>Výpočet okamžitého průtoku z hladiny pro vybrané měrné profily</b>	<i>Přednastavené profily:</i> Parshall P1: $Q=0,0609 * H_{1,552} [m_3, m]$ P2: $Q=0,1197 * H_{1,553} [m_3, m]$ P3: $Q=0,1784 * H_{1,555} [m_3, m]$ P4: $Q=0,3539 * H_{1,558} [m_3, m]$ P5: $Q=0,5214 * H_{1,558} [m_3, m]$ P6: $Q=0,6746 * H_{1,556} [m_3, m]$ P7: $Q=1,0150 * H_{1,556} [m_3, m]$ P8: $Q=1,3680 * H_{1,564} [m_3, m]$

	<p>P9: <math>Q=2,0810 * H_{1,569} [m_3, m]</math></p> <p>Venturi</p> <p>10: <math>Q=0,1986 * H_{1,541} [m_3, m]</math></p> <p>20: <math>Q=0,3248 * H_{1,543} [m_3, m]</math></p> <p>30: <math>Q=0,6133 * H_{1,544} [m_3, m]</math></p> <p>Thomson :</p> <p><math>Q=1,3546 * H_{2,48515} [m_3, m]</math></p> <p><i>Obecně parametrizovatelné rovnice:</i></p> <p>Základní rovnice:</p> <p><math>Q=A_1 * H_{A_2} [m_3, m]</math></p> <p>Kombinovaný Parshallův žlab dvojitý:</p> <p><math>Q=A_1 * H_{A_2} + A_3 * (H-H_1)_{A_4} [m_3, m, m]</math></p> <p>Kombinovaný Parshallův žlab trojitý:</p> <p><math>Q=A_1 * H_{A_2} + A_3 * (H-H_1)_{A_4} + A_5 * (H-H_2)_{A_6} [m_3, m, m, m]</math></p> <p>Tabulkové zadání závislosti Hladina/Průtok:</p> <p>Tabulka I: 30 řádek</p> <p>Tabulka II: 20 řádek</p>
<b>Výpočet okamžitého průtoku z pulsů</b>	<p>Výpočet okamžitého průtoku z váhy pulsu a z četnosti pulsů,</p> <p>max. počet připojených vodoměrů: 2</p>
<b>Výpočet celkového proteklého objemu</b>	<p>Archivace odděleně po kanálech, výpočet denních průtoků</p> <p>nad datovou pamětí s denním krokem v rozsahu 1-31</p>
<b>Kapacita čítačů průtoku</b>	0 – 4.290.000.000 [m <sub>3</sub> ]
<b>Ostatní výpočty nad záznamovými kanály</b>	<p>Rozdíl dvou kanálů</p> <p>Součet dvou kanálů</p> <p>Korekce zpětného vzduť v Parshallově žlabu (korekce vyžaduje použití dvou snímačů hladiny)</p> <p>Klouzavý součet, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut</p> <p>Klouzavý průměr, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut</p> <p>Výpočet trendu, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut</p> <p>Korekce hodnoty obecným polynomem druhého řádu</p>
<b>Vstupy</b>	
<b>Analogové Vstupy AV1, AV2</b>	<p>Proudová smyčka 0(4)-20 mA:</p> <p>Rozlišení: 16 bitů, převodník 24 bitů</p> <p>Přesnost měření: ±0,05% FS ±3 digity</p>



	Max. napěťový úbytek na vstupu: < 2,1 V Reference: 0,1%, Tk: max. 10 ppm
<b>Pomalé pulsně-binární vstupy PV1, PV2</b>	min šířka pulsu: 110 mS, max frekvence pulsů: 0,5 Hz Kapacita čítače pulsů : 4.290.000.000
<b>Rychlé pulsní vstupy PV3, PV4</b>	min šířka pulsu: 5 mS, max frekvence pulsů: 100 Hz Kapacita čítače pulsů : 4.290.000.000
<b>Binární vstupy PV1, PV2</b>	H > 10 kΩ L < 1 kΩ, aktivní úroveň: L (max.I= 1 mA) Klidový stav vstupů: H úroveň 3,3V (Ri=10 kΩ)
<b>Ostatní parametry</b>	
<b>Mikroprocesor</b>	Typ RISC; 8 bitů; napájecí napětí 3,3V
<b>Napájení</b>	Lithiová baterie 3,6V / 13Ah – 2 (4) sériově zapojené články
<b>Proudová spotřeba</b>	Typ. 6 mA, 18 uA v klidu (aktivní PV vstupy, neseptuté)
<b>Napájení čidel</b>	Max. proudový odběr ze spínaných svorek +Uo pro trvalé napájení OPTO snímačů: 0,3 mA Max. proudový odběr ze spínaných svorek +Ua pro napájení ostatních snímačů pouze po dobu měření: 200 mA
<b>Rozměry</b>	válcové pouzdro 50mm x 350 mm (500 mm)
<b>Hmotnost</b>	1300 g (1550 g)
<b>Materiál pouzdra</b>	Nerezové pouzdro , plastový uzávěr
<b>Stupeň krytí</b>	IP68
<b>Konektory</b>	Typ M12, 4 a 8 pólů, IP67
<b>Pracovní teplota</b>	-30°C ... +65°C (skladovací teplota -30°C ... +75°C)
<b>GSM modul</b>	
<b>Typ GSM modulu</b>	Enabler-G , Výrobce: Enfora
<b>GSM</b>	Frekvenční pásmo: 900/1800 MHz (EGSM/DCS) Citlivost: -108 dB (typická hodnota) Vysílací výkon: CLASS 4 (2W @ 900 MHz) CLASS 1 (1W @ 1800 MHz) CS Data: Asynchronní, max. přenosová rychlost 9,6 kB/s
<b>GPRS</b>	Sloty: Class 12 (4Rx / 4Tx, 5MAX)
<b>SMS</b>	Textové SMS, 160 znaků Počet nastavitelných SMS: 30 varovných, 8 pevných, 2 info Počet dotazových kódů pro sestavení SMS: 19

	<p>Počet řídicích kódů: 1</p> <p>Max. počet adresátů v seznamu: 16</p> <p>Podpora kreditních SMS: periodické zjišťování aktuálního kreditu, zasílání upozornění při poklesu, přeposílání SMS operátora</p>
<b>Napájení</b>	<p>Interní řízený DC/DC měnič: nap. akumulátoru / 3,8 V DC</p> <p>proudová spotřeba (typ.): 1Tx/1Rx: max. 230 mA (špička 1,25A), 1Rx: max. 105mA, klid: &lt; 5mA, vypnuto: typ 8 uA</p>
<b>Pracovní teplota</b>	-20°C až 60 °C (skladovací teplota -40°C až 85 °C)
<b>Sim karta</b>	Přístup po odstranění válcového pouzdra, vyklápěcí držák
<b>Anténa</b>	Magnetická duální , kabel 3 m pro venkovní umístění

### 3.1.3 M4516 + MG40 - Malá telemetrická stanice GSM/GPRS modem

Robustní a mechanicky odolný datalogger pro záznam vybraných veličin, který se vyznačuje minimálními rozměry a menším počtem vstupů. Datalogger nemá displej ani klávesnici, nastavení parametrů a datové přenosy jsou řešeny buď kabelem z připojeného PC pod programem MOST, nebo na dálku (pokud je doplněn o GSM/GPRS modem MG40).

KGI disponuje jedním tímto zařízením



Obr. 3:M4516 + MG40 (<http://www.domer.cz>)

Technické parametry:

Tabulka 3: Technické parametry dataloggeru M4516+MG40 – Malá telemetrická stanice GSM/GPRS modem (<http://www.domer.cz>)

<b>Mechanické provedení</b>	Datalogger je uzavřen v robustním nerezovém válcovém pouzdře o průměru 50mm, které zajišťuje jeho vysokou odolnost proti nepříznivým podmínkám. Malé rozměry v kombinaci s vysokým krytím IP67 umožňuje jeho provoz i ve vlhkém a agresivním prostředí.
<b>Vstupy</b>	Datalogger má k dispozici 2 analogové vstupy pro měření hladin, teplot, tlaků, či průtoků a 2 pulsní vstupy pro připojení např. srážkoměrů. Jediným výstupem stanice je konektor s rozhraním RS232, ke kterému lze připojit modem MG40.
<b>Přenosy dat</b>	Tento GSM/GPRS modem je určený pro předávání naměřených dat z dataloggeru M4516 na server do internetu a k rozesílání varovných i informativních SMS zpráv. Vestavěné baterie umožňuje uskutečnit více než 1000 datových relací v síti GPRS a odeslat zhruba stejný počet SMS zpráv (tj. 5 roků provozu při nastaveném odesílání dat 3x týdně nebo 2 roky provozu při pravidelném denním datovém přenosu). Pořizovací cena lithiové baterie: 860,- Kč.

	K modemu se dodává vnější magnetická anténa s kabelem 4m dlouhým nebo krátká prutová anténa. Součástí modemu je i kabel s konektorem pro připojení dataloggeru M4516. Nerezové pouzdro o průměru 50mm s vysokým krytím IP67 umožňuje umístit modem i do agresivního a vlhkého prostředí.
<b>Provoz</b>	Datalogger je určen do míst bez síťového napájení. Jeho minimální spotřeba je založená na moderním RISC procesoru, 3,3V logice a programovým řízením spotřeby připojených snímačů. Kapacita vestavěných baterií vystačí na více než 10 let provozu.
<b>Programové vybavení</b>	Programové vybavení dataloggeru je odvozené od jednotky M4016 včetně řízení GSM/GPRS modemu a proto nastavení parametrů, sběr dat a další funkce jsou stejné jako u „mateřské“ jednotky M4016. Datalogger podporuje, přes připojený modem typu MG40, rozesílání až 30-ti varovacích nebo informativních SMS zpráv, dálkové odesílání naměřených dat v nastavitelném intervalu na server do internetu a automatické zkrácení tohoto intervalu po aktivaci některého z alarmů (limitní nebo gradientní), odpovídání na dotazové SMS apod.
<b>Napájení</b>	6 V.

### 3.1.4 Varovná srážkoměrná stanice TS-200

Tento set se skládá ze člunkového srážkoměru a telemetrické jednotky typu STELA 1 s dlouhou dobou provozu bez výměny baterií. Jedná se o nejlevnější typ srážkoměru s rozlišením 0,2 mm srážek / puls a sběrnou plochou 200cm<sup>2</sup> nabízený společností Fiedler - Mágr.

Pro upevnění srážkoměru se doporučuje použití nerezového stojanu S201 s betonovou základovou dlaždicí. Tím by měla být zajištěna jeho odolnost proti nepříznivým povětrnostním podmínkám. Měl by být umístěn tak, aby žádná překážka neovlivňovala srážky dopadající do sběrné nádoby, jejíž výška se doporučuje 1 m, kvůli povětrnostním podmínkám. Dále je vhodné zajistit výlevku před ucpáním hmyzem, listím a jinými nežádoucími objekty z důvodu ucpání a výpadku měření.

Tento set se skládá ze člunkového srážkoměru a telemetrické jednotky typu STELA 1.

Stanice STELA předává změřené hodnoty prostřednictvím GSM/GPRS komunikace do databáze na server nebo prostřednictvím vytáčeného datového volání přímo do volajícího PC. Kromě toho může stanice odesílat varovné nebo informativní SMS a přijímat dotazové nebo řídicí SMS. Prostřednictvím GSM i GPRS datové komunikace lze měnit také nastavení parametrů. Datalogger stanice STELA může být použit i samostatně bez datových přenosů při trvale vypnutém napájení GSM modulu. Nastavení parametrů i čtení naměřených data je pak ale nutno provádět lokálně přes připojené PC nebo notebook komunikačním kabelem prostřednictvím rozhraní RS-232 a konektoru K1.

Nastavení parametrů záznamových kanálů i všech ostatních parametrů včetně nastavení podmínek pro automatické zasílání varovných SMS se provádí prostřednictvím programu MOST. Parametry lze měnit z PC (notebooku) po připojení kabelem nebo na dálku datovým voláním v síti GSM nebo prostřednictvím webového prohlížeče a datového serveru.

Program MOST zajišťuje načtení archivovaných dat, jejich tabulkové a grafické zobrazení a uložení načtených dat do textového souboru, průměrování dat, vyhledávání mezních hodnot, parametrizaci dataloggeru STELA 1, načítání a zobrazování aktuálních měřených hodnot při instalaci čidel a jejich kontrole.



Obr. 4: Varovná srážkoměrná stanice TS-200 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

## 3.2 Dataloggery

### 3.2.1 MINILOG

MINILOG je velmi přesný 8-mi kanálový datalogger s velkou paměťovou kapacitou a s dlouhou dobou provozu bez výměny napájecí baterie. Mechanické provedení dovoluje jeho trvalé umístění jak ve vlhkém prostředí, tak i přímo pod vodní hladinu. Variabilita vstupů dovoluje konfigurovat MINILOG pro měření různých veličin podle potřeb uživatele.

Velmi nízká proudová spotřeba MINILOGU prakticky nevyžaduje výměnu vestavné napájecí lithiové baterie po celou dobu životnosti přístroje. I po 20-ti letech provozu se při normálním režimu měření teploty spotřebuje méně než 50% její kapacity.

Technické parametry tohoto dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.2.1 na straně 74.

„Mechanické provedení MINILOGU prakticky neomezuje uživatele při jeho instalaci. Přístroj lze zakopat do země, ponořit do vody, zavěsit na stěnu (např. pomocí držáku DML1) apod. Přesto by měl uživatel při instalaci přístroje zvážit možné negativní vlivy na spolehlivost měření:“ (MINILOG, uživatelská příručka verze 1.01 10/2010)

Těmito vlivy můžeme rozumět tyto tři:

- **mechanické poškození kabelů** – jedná se především o poškození hlodavci
- **teplotní vlivy** – teplota ovlivňuje životnost a výdrž baterie, měla by se pohybovat mezi  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$
- **zcizení přístroje** – přístroj je nutné zamaskovat kvůli odcizení, či úmyslnému poškození

KGI disponuje jedním tímto dataloggerem.



Obr. 5: Monolog (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 4: Technické parametry dataloggeru MINILOG (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Parametry záznamových kanálů</b>	
<b>Počet a rozdělení kanálů</b>	12 záznamových měřících kanálů s rozlišením 16 bitů 8 binárních kanálů s ukládáním stavu a času změny 4 kontrolní kanály pro záznam stavu přístroje 1 textový kanál pro ukládání událostí (1 záznam max. 220 B)
<b>Seznam fyzikálních veličin z nabídky stanice</b>	Okamžitý průtok [ l/s, hl/s, m <sup>3</sup> /s, l/h, hl/h, m <sup>3</sup> /h ] Kumulovaný průtok [ m <sup>3</sup> ] Hladina [ mm, cm, m ] Teplota [ K, °C ] Vlhkost [ % ] Tlak [ Pa , hPa, kPa, Mpa, mm v.s., mbar ] Dešťové srážky [ mm, čas pulsu] Proud [ uA, mA , A ] a Napětí [ mV, V ] Volitelná veličina [ - ] (tepelný tok, globální záření, ...) Čas pulsu [ - ] Počet pulsů
<b>Uložení dat v paměti</b>	0 až 3 desetinná místa (od 0.000 do 65535; ±32767)
<b>Jmenovka kanálu</b>	12 znaků
<b>Seznam měřících metod</b>	počet pulsů, čas pulsu čtená dat přes rozhraní RS-232
<b>Kapacita datové paměti</b>	2048 kB Flash typ, 250.000 - 450.000 hodnot včetně času
<b>Hlavní interval archivace</b>	Od 1 min. do 1440 min, krok 1 min, každý kanál samostatně
<b>Pomocný interval archivace</b>	Od 0 min to 255 min, automatické přepínání intervalů
<b>Čítače motohodin</b>	Čítač s kapacitou 999 999 hod : 59 min pro každý bin. Kanál
<b>Alarmy</b>	Limitní a gradientní alarm pro každý záznamový kanál
<b>Ostatní výpočty nad záznamovými kanály</b>	Rozdíl dvou kanálů Součet dvou kanálů Klouzavý součet, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut Klouzavý průměr, výpočet v intervalu 10 - 1440 minut Korekce hodnoty obecným polynomem druhého řádu
<b>Programové vybavení určené pro sledování průtoku</b>	

<b>Výpočet okamžitého průtoku z pulsů</b>	Výpočet okamžitého průtoku z váhy pulsu a z četnosti pulsů, max. počet připojených vodoměrů: 2
<b>Výpočet celkového proteklého objemu</b>	Archivace odděleně po kanálech, výpočet denních průtoků nad datovou pamětí.
<b>Kapacita čítačů průtoků</b>	0 – 4.290.000.000 [m <sup>3</sup> ]
<b>Odporové vstupy</b>	
<b>Měrný rozsah vstupu (pro senzory Pt100)</b>	Standardní: 0 _ až 137 _, tj. -270 až +96 °C Rozšířený I: 0 _ až 162 _, tj. -270 až +163 °C Rozšířený II: 0 _ až 274 _, tj. -270 až +480 °C
<b>Měřicí metoda</b>	Referenční rezistor, Tk =5 ppm
<b>Připojení senzoru</b>	Čtyřvodičové připojení, Lmax = 50 m
<b>Max. rozlišení</b>	0,001°C (0,005 °C pro rozšířené rozsahy)
<b>Přesnost měření</b>	±0,1°C v rozsahu ±30°C, ±0,2°C v rozsahu ±100°C
<b>Napět'ové vstupy</b>	
<b>Měřicí rozsahy unipolární</b>	Nastavitelný v 8-mi krocích od 0..+9 mv do 0..+1170 mV
<b>Měřicí rozsahy bipolární</b>	Nastavitelný v 8-mi krocích od -9.. +9mv do -1170.. +1170mV
<b>Rozlišení pro měření a výpočty</b>	24 bitů
<b>Rozlišení pro archivaci</b>	16 bitů
<b>Vstupní proud</b>	< 250 pA (< 1 nA pro rozsahy 585 mV a 1170 mV)
<b>Pulsně/binární vstupy PV1 a PV2</b>	
<b>Binární vstupy PV1, PV2</b>	H > 1 M L < 33 k, aktivní úroveň: L (max.I= 10 µA) Klidový stav vstupů: H úroveň 2,8V (Ri=33 k)
<b>Pulsní vsupy PV1, PV2</b>	min šířka pulsu: 100 mS, max frekvence pulsů: 0,1 Hz Kapacita čítače pulsů : 4.290.000.000
<b>Ostatní parametry</b>	
<b>Mikroprocesor</b>	Typ RISC; 8 bitů; napájecí napětí 2,8V
<b>Napájení</b>	Lithiová baterie 3,6V / 17Ah
<b>Proudová spotřeba</b>	Typ. 6 mA, 10 uA v klidu (aktivní PV vstupy, neseptuté)
<b>Doba provozu bez výměny baterie</b>	20 let (teoreicky vypočítaná typická doba provozu – skutečná doba provozu závisí na typu a počtu senzorů, teplotě okolí a



	na intervalu měření, archivace i načítání dat).
<b>Rozměry</b>	Průměr 40 mm, délka 190 mm (včetně M8 konektoru)
<b>Hmotnost</b>	480 g (bez přípojovacích kabeň)
<b>Materiál pouzdra</b>	Nerezová ocel, plastové zakončení, PUR kabely
<b>Stupeň krytí</b>	P68
<b>Konektory</b>	Typ M8, 3 póly, IP68 při použití dodávané krytky
<b>Pracovní teplota</b>	-30°C - +55°C (skladovací teplota -30° - +70°C)

### 3.2.2 Virriblogger

VIRRIBLOGGER je určen k registraci údajů o půdní vlhkosti, měřené snímači VIRRIB. Je možno připojit až čtyři tyto snímače, popřípadě snímače jiných veličin s výstupem 0–2,5 V s napájením do 8 V

Katedra KGI disponuje jedním tímto přístrojem.



Obr. 6:Virriblogger (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 5: Technické parametry Virribloggeru ([www.fiedler-magr.cz](http://www.fiedler-magr.cz))

<b>Interval měření</b>	lze nastavit v minutových krocích od 1 min. do 1440 min.
<b>Kapacita paměti</b>	až 15000 měření
<b>Napájení</b>	napájení 9 V baterií
<b>Přenos dat</b>	pomocí sériové linky RS232
<b>Indikace činnosti</b>	blikající LED dioda
<b>Stupeň krytí</b>	IP56

### 3.2.3 MiniCube

Bateriově napájený přístroj pro automatický záznam dat v náročných aplikačních oblastech.

Katedra KGI disponuje jedním tímto zařízením.



Obr. 7: MiniCube (<http://www.emsbrno.cz>)

Tabulka 6: Technické parametry dataloggeru MiniCube (<http://www.emsbrno.cz>)

<b>Typy kanálů</b>	napěťové, pulsní 8 či 16bitové, frekvenční
<b>Napěťové vstupy</b>	$\pm 20$ mV až $\pm 2,5$
<b>Rozlišení</b>	16 bitů
	elektrické. pulzy 1.0 V – 4.0 V,
<b>Frekvence</b>	15 - 96000 Hz
<b>Intervaly měření</b>	3 s - 24 h
<b>Napájení</b>	alkalické baterie typu C NiCd nabíjecí baterie externí 7 – 15V zdroj
<b>Velikost paměti</b>	512 kB
<b>Kapacita paměti</b>	$\pm 220,000$ records
<b>Stupeň krytí</b>	IP 65
<b>Provozní teplota</b>	-20 -+60 °C
<b>Velikost</b>	120 x 120 x 80 mm
<b>Váha</b>	0.95 kg

### 3.2.4 EM50

EM50 je samostatný datalogger společnosti Decagon založený na čtení a uchovávání dat z 5 senzorů. Všechny Decagon senzory spolupracují s dataloggerem EM50 bez nutnosti jakéhokoliv programování.



Obr. 8: EMS50 (<http://www.decagon.com>)

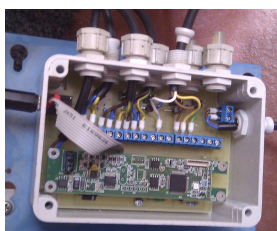
Tabulka 7: Technické parametry dataloggeru EM50 (<http://www.decagon.com>)

<b>Vstupní kanály</b>	5 kanálů, každý podporuje 12bitový analogový, 32 bitový digitální a pulsní vstupy
<b>Velikost a kapacita paměti</b>	1MB (36 000 záznamů ze všech 5 portů)
<b>Provozní teplota</b>	-40 - +60
<b>Napájení</b>	5 alkalických nebo lithiových baterií typu AA, výdrž 8 – 12 měsíců
<b>Velikost</b>	12.7x20.3x5.1cm
<b>Materiál a stupeň krytí</b>	vodě, UV záření a nárazu vzdorný materiál NEMA 3R, IP55

### 3.2.5 ALA module

ALA je plnohodnotný datalogger, včetně mnoha možností zpracování měřených dat a jejich přenos do PC. Jedná se o malý vestavný modul, jehož hlavním rysem je velmi nízká spotřeba a je tak vhodný i pro bateriové aplikace.

Katedra KGI disponuje dvěma těmito zařízeními.



Obr. 9: ALA module

Tabulka 8: Technické parametry dataloggeru ALA (<http://www.hw-group.com>)

<b>Analogové vstupy</b>	rozsah 0-2.4 V, 12-bitový A/D převodník
<b>Referenční napětí</b>	Interní 2,5V nebo externí 0-3 V
<b>Měření frekvence</b>	rozsah 0-10kHz
<b>Speciální vstupy</b>	Možnost připojení až 5-ti teplotních čidel Dallas DS18B20
<b>Komunikační rychlost</b>	300 až 230400 Bd
<b>Síť GSM a Internet</b>	- GPRS nebo CSD datové spojení při použití externího modemu - Ovládání pomocí SMS, e-mailu nebo prostřednictvím WWW
<b>Kapacita paměti</b>	1 MB, až 150 000 změřených hodnot
<b>Vzorkovací perioda</b>	- 1s až 99h nastavitelná samostatně pro každý vstup - Možnost nastavit ukládání pouze při změnách měřené veličiny
<b>Ukládané časové údaje</b>	Rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda (vlastní RTC)
<b>Napájecí napětí</b>	3.5-28 V nebo 3-3.8 V u verze pro lithiovou baterii 3.6 V
<b>Klidový napájecí proud</b>	40 $\mu$ A (5 $\mu$ A u verze pro lithiovou baterii 3.6 V)
<b>Napájecí proud v aktivním stavu</b>	Měření: 5 mA

### 3.3 Senzory

#### 3.3.1 Ultrazvukový snímač výšky hladiny US1200

Inteligentní ultrazvukové sondy typu USxx00 jsou založeny na principu měření časové prodlevy mezi vyslaným a přijatým ultrazvukovým impulsem. Sondy jsou vhodné pro měření výšky hladiny a okamžitého průtoku na otevřených měrných profilech a vodních tocích nebo pro měření výšky hladiny a objemu v jímkách a v nádržích.

Katedra KGI disponuje jedním tímto senzorem.



Obr. 10: US1200 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 9: Technické parametry dataloggeru MINILOG (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Mechanické provedení</b>	Robustní nerezové válcové pouzdro o průměru 50mm
<b>Měřicí rozsah</b>	0,15 – 1,2m
<b>Dlouhodobá chyba měření</b>	1%
<b>Komunikační rozhraní</b>	DCL a RS485
<b>Napájení</b>	11 – 24V
<b>Stupeň krytí</b>	IP68

#### 3.3.2 Tlakový snímač výšky hladiny LMP307

Základním prvkem ponorné sondy LMP 307 je vlastní tlakové čidlo. Jedná se o polovodičové tenzometry v nerezovém pouzdře s navařenou nerezovou oddělovací membránou a s náplní inertního oleje. Hydrostatický tlak přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad oddělovací membránou je přenášen prostřednictvím náplně inertního oleje na měřicí polovodičovou membránu. Průhyb měřicí membrány způsobí rozvážení tenzometrického můstku. Jednotka elektroniky zabezpečuje napájení čidla, zesílení signálu, jeho teplotní kompenzaci a převedení na normovaný signál, přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad sondou. Provedení sondy se vyznačuje robustní, mechanicky

odolnou a přitom miniaturní konstrukcí. Základním prvkem ponorné sondy LMP 307 je vlastní tlakové čidlo. Jedná se o polovodičové tenzometry v nerezovém pouzdře s navařenou nerezovou oddělovací membránou a s náplní inertního oleje. Hydrostatický tlak přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad oddělovací membránou je přenášen prostřednictvím náplně inertního oleje na měřicí polovodičovou membránu. Průhyb měřicí membrány způsobí rozvážení tenzometrického můstku. Jednotka elektroniky zabezpečuje napájení čidla, zesílení signálu, jeho teplotní kompenzaci a převedení na normovaný signál, přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad sondou.

Ponorná sonda LMP 307 je vhodná pro kontinuální měření výšky hladiny kapalin. Sejmutím ochranné krytky je možné sondu snadno přizpůsobit pro měření výšky hladiny médií s vyšší viskozitou (kaly apod.). Hlavní oblasti použití ponorných sond jsou čističky odpadních vod, úpravný vod měření výšky hladiny ve studnách, přírodních i umělých nádržích, monitorování úrovně spodních vod, měření spádu na vodních elektrárnách a měření výšky hladiny v otevřených nádržích.

Katedra KGI disponuje třemi těmito snímači



Obr. 11: LMP307 (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 10: Technické parametry dataloggeru MINILOG (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Mechanické provedení</b>	nerezová ocel, plast
<b>Měřicí rozsah</b>	0,6 – 100m
<b>Dlouhodobá doba měření</b>	lze nastavit od 0,1 – 5%
<b>Typ proudového výstupu</b>	1,5mA, 4 – 20mA

### 3.3.3 PT100-XM snímač teploty

Snímač obsahuje přesný a stabilní teplotní senzor Pt100, který je vodotěsně umístěn v nerezovém pouzdru a je opatřen polyuretanovým kabelem o požadované délce.

Při měření teploty půdy se zpravidla měří v hloubkách 10, 20, 50 a 100 cm. Perioda výkyvů teploty je ve všech hloubkách stejná. Amplituda výkyvů klesá geometrickou řadou, vzrůstá-li hloubka aritmetickou řadou. V praxi tzn., že již v 50 cm hloubce jsou denní výkyvy teploty velmi malé a v hloubce 1m se teplota v průběhu dne již nemění, i když na povrchu půdy zaznamenáme rozdíl 40°C. Čas maxima a minima teploty se s hloubkou opoždí asi o 3 hod. na 10 cm. Znamená to např., že v hloubce 20 cm

je nejvyšší teplota půdy až v 18.00 hod. V ročním chodu teploty činí opoždění 20-30 dní na 1 m hloubky.

Katedra KGI disponuje 10 senzory PT100-XM



Obr. 12: PT100-XM (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 11: Technické parametry dataloggeru PT100-XM (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Mechanické provedení</b>	nerozovém pouzdro a polyuretanový kabel
<b>Chyba měření</b>	Při 0°C ± 0,15°C

### 3.3.4 Decagon 10HS, půdní vlhkosti

10HS určuje objemový obsah vody pomocí měření dielektrické konstantě půdy pomocí technologie kapacitní/frekvenční oblasti. Senzor využívá 70 MHz, což minimalizuje slanost a texturní efekty, takže 10HS je velmi přesné téměř v každé půdě.

Tyto senzory snímající půdní vlhkost jsou většinou umístovány do hloubek podle účelu jejich aplikace, terénu a množství dostupných senzorů. Optimální umístění volíme tak, aby bylo typické pro druhy půdy převažující na daném pozemku.

Ve svažitém terénu umístujeme snímač v horní třetině svahu, neboť v těchto místech většinou bývají průměrné vlhkostní poměry. Umístění na vrcholku svahů reprezentuje spíše nejsušší podmínky na pozemku, zatímco vlhké a údolní polohy nejsou příliš vhodné pro monitorování půdní vlhkosti při řízení závlahy. Při závlaze plodin po jednotlivých řádcích ve svažitém terénu se umístuje jeden snímač v jedné třetině odspodu a druhý v jedné třetině odshora svahu atd. U většiny aplikací se nepoužívá větší hloubka než je 50 - 60cm.

Katedra KGI disponuje dvěma senzory 10HS



Obr. 13: Decagon 10HS (<http://www.decagon.com>)

Tabulka 12: Technické parametry senzoru 10HS (<http://www.decagon.com>)

<b>Typ senzoru</b>	Frekvenční
<b>Provozní teplota</b>	-40 - +50°C
<b>Napájení</b>	12 – 15mA
<b>Typ konektoru</b>	3,5mm „stereo“
<b>Rozměry</b>	14,5 x 3,3 x 0,7

### 3.3.5 Decagon EC 5, senzor půdní vlhkosti

Jedná se o téměř totožné zařízení jako 10HS, které je však schopné sledovat stav půdní vlhkosti na menším objemu půdy. Pro umístění těchto senzorů jsou stejná pravidla jako pro senzory Decagon 10HS v kapitole 3.3.4.

Katedra KGI disponuje 5 senzory EC 5



Obr. 14: Decagon 10HS (<http://www.decagon.com>)

Tabulka 13: Technické parametry senzoru 10HS (<http://www.decagon.com>)

<b>Typ senzoru</b>	Frekvenční
<b>Provozní teplota</b>	-40 - +50°C
<b>Napájení</b>	12 – 15mA
<b>Typ konektoru</b>	3,5mm „stereo“
<b>Rozměry</b>	14,5 x 3,3 x 0,7



### 3.3.6 EMS 33, teplotní senzor

EMS 33 je přesný senzor pro dlouhodobé měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti ve spojení se všemi běžnými dataloggery.

bílé žaluziové meteorologické budce ve výšce 2 m nad zemí, která brání přímému dopadu slunečních paprsků a umožňuje cirkulaci vzduchu kolem teploměru

Katedra KGI disponuje jedním senzorem EMS 33



Obr. 15: EMS 33 (<http://www.emsbrno.cz>)

Tabulka 14: : Technické parametry senzoru EMS 33 (<http://www.emsbrno.cz>)

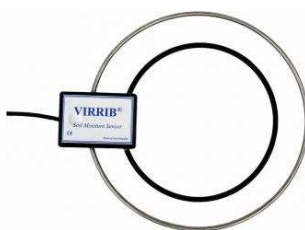
<b>Provozní podmínky</b>	-40 - +60°C Relativní vlhkost 0 – 100%
<b>Výstupy</b>	Teplota 0 – 1000mV; 10mV/°C Relativní vlhkost 0 – 1000 mV; 10mV/%rv
<b>Přesnost</b>	Teplota: $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ Relativní vlhkost $\pm 2\%$
<b>Napájení</b>	3 – 16V, 8mA
<b>Komunikace</b>	Amphenol C-167 pin female
<b>Velikost</b>	průměr 22mm délka 130 mm
<b>Hmotnost</b>	105 g

### 3.3.7 Virrib, snímač půdní vlhkosti

Snímač slouží k měření objemové vlhkosti půdy v libovolných hloubkách. Jednou z významných předností snímače je jeho téměř okamžitá odezva na změny vlhkosti. Díky této vlastnosti je možné jej použít kromě meteorologie, ekologie a vědeckých účelů i např. ve spojení s regulátorem řízení závlahových dávek.

Snímače mohou být umístěny v půdním profilu vertikálně anebo horizontálně, přičemž horizontální umístění je ve většině případů výhodnější. Při tomto způsobu umístění lze během instalace lépe vyplnit půdou prostor kolem aktivních prvků snímače a měřené hodnoty proto lépe vystihují skutečnost. Měřená vrstva přesahuje až o 7 cm aktivní prvky. Snímač se umísťuje na dno jámy, přičemž nejpřesnějších výsledků dosáhneme v případě, že bude ležet na neporušené vrstvě půdy. Proto neděláme jámu hlubší, než je nezbytně nutné. Doporučuje se vykopanou zeminu dávat stranou v přesném pořadí jednotlivých vrstev, tak jak byly odebrány z půdního profilu a při zahrnování je ukládat v opačném pořadí, aby byla zachována souslednost jednotlivých vrstev. Po zarovnání dna jámy vytvoříme na jejím konci malou sníženinu 1,5 cm hlubokou, do níž vložíme černé plastické tělo snímače. Nad ním vytvoříme nejprve vrstvu hlíny vysokou cca 5 cm a rukou přitlačíme. Je zapotřebí dbát na to, aby se nevytvořily kolem těla snímače a jeho aktivních částí žádné vzduchové kapsy, pokud je půda skeletovitá, vybereme z této vrstvy nejprve všechny kamínky. Při dalším vyplňování jámy postupujeme po vrstvách vysokých 10 cm a pečlivě utužujeme. Rozmístění těchto senzorů se řídí stejnými pravidly jako u senzorů 10HS v kapitole 3.3.4

Katedra KGI disponuje čtyřmi senzory Virrib



Obr. 16: Virrib (<http://www.fiedler-magr.cz>)

Tabulka 15: Technické parametry senzoru Virrib (<http://www.fiedler-magr.cz>)

<b>Napájení</b>	5,5 – 18
<b>Spotřeba</b>	10 – 15
<b>Výstup</b>	0,2 – 5 mA
<b>Měřicí rozsah (obj. %)</b>	5 - 50

### 3.3.8 EMS 11, radiační senzor

Snímač slouží k měření globální radiace.

Katedra KGI disponuje jedním senzorem EMS 11



Obr. 17: EMS 11 (<http://www.emsbrno.cz>)

Tabulka 16: Technické parametry senzoru EMS 11(<http://www.emsbrno.cz>)

Výstup	Napět'ový
Citlivost	20 mV na 1000 W.m <sup>-2</sup>
Provozní teplota	-20 - +60°C

### 3.3.9 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger

HOBO RH Temp Light External Sensor Logger měří a zaznamenává hodnoty vlhkosti, teploty, světla a má jeden externí vstupní kanál. Logger nabízí uživatelsky volitelný vzorkovací interval od 0,5 sekundy do 9 hodin. Běžná výdrž baterie je 1 rok. Nabízí programovatelný čas zahájení a uložení až 7943 měření. Toto zařízení spadá do kategorie senzorů i dataloggerů.

Katedra KGI disponuje dvěma těmito zařízeními.



Obr. 18: HOBO RH Temp Light External Sensor Logger (<http://www.onsetcomp.com>)

Tabulka 17: Technické parametry HOBO RH Temp Light External Sensor Logger  
(<http://www.onsetcomp.com>)

<b>Úložná kapacita</b>	7,943 8 bitových záznamů
<b>Vzorkovací interval</b>	0,5 s – 9 h
<b>Provozní rozsah</b>	Teplota -20 – 70°C, vlhkost 0 – 95% RH
<b>Provozní režimy</b>	Přestat při zaplnění, přepisovat nejstarší záznamy při zaplnění
<b>Intenzita světla</b>	Rozsah: od 2 do 600 fc Přesnost $\pm 2$ fc, $\pm 20\%$ čtení Úhlová odezva: zhruba cosinus úhlu se senzorem.
<b>Teplotní senzor</b>	Rozsah: -20 – 70°C Přesnost $\pm 1,27^\circ\text{C}$ při $\pm 70^\circ\text{C}$ Rozlišení: $0,4^\circ\text{C}$ při $\pm 70^\circ\text{C}$ Doba odezvy: senzor uvnitř boxu: 15 min senzor vně boxu: 1 min
<b>Vlhkostní senzor</b>	Rozsah: 25% - 90% RH Přesnost: $\pm 5\%$ Doba odezvy: 10 min. Provozní prostředí: 5 – 50°C bez kondenzace a zamlžení
<b>Kompatibilní externí připojitelné senzory</b>	Teplotní senzor (#TMCx-Hx) Split Core CT (#CTV-X) Napěťový vysílač (#T-CON-ACT-X) 4-20mA vstupní kabel (#CABLE-4-20mA) 0 – 2,5 V jednosměrný vstupní kabel (#CABLE-2-5-STEREO), (#CABLE-CO2)
<b>Časová přesnost</b>	$\pm 1$ minuta za týden při 20°C
<b>Životnost baterie</b>	cca 1 rok
<b>Hmotnost</b>	29g
<b>Rozměry</b>	61 x 48 x 20mm

### 3.3.10 Srážkoměr s dataloggerem HOBO Event Datalogger – RG3

Data ukládající srážkoměr se skládá ze dvou částí. Překlápěcí člunkový kolektor a HOBE Event datalogger. Kolektor se skládá z hliníkového trychtýře, který odvádí vodu do překlápěcího mechanismu, který se nachází v hliníkovém pouzdře. Kryt je potažen bílou smaltovanou plochou navrženou tak, aby odolala mnoho let působení životního prostředí. Překlápěcí mechanismus je navržen tak, aby k jednomu překlopení lopatky došlo po každých 0,2 mm dešťových srážek. Přepínač je připojen na datalogger, který zaznamenává čas každého pulzu způsobeného překlopením člunku.

Katedra KGI disponuje třemi těmito zařízeními.



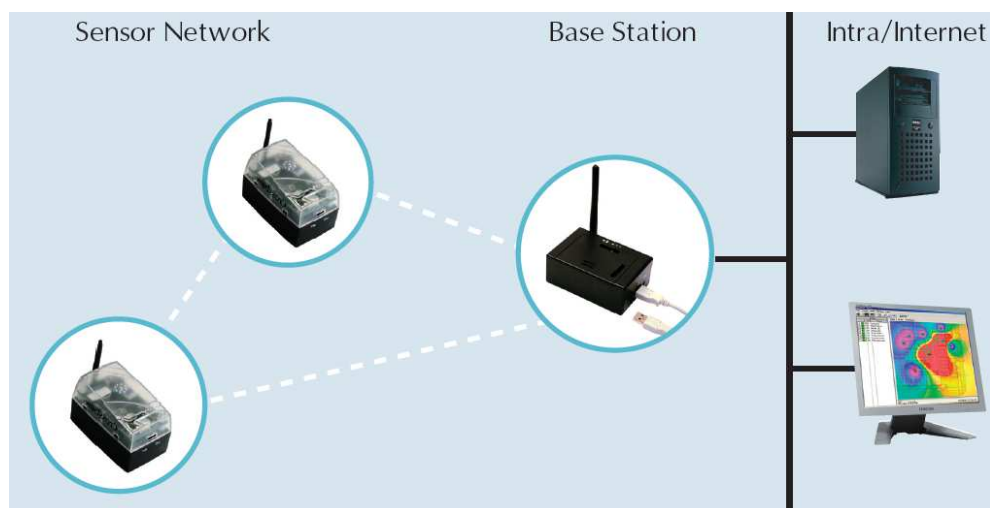
Obr. 19: HOBO Event Datalogger (<http://www.onsetcomp.com>)

Tabulka 18: Dataloggeru HOBO Event Datalogger – RG3 (<http://www.onsetcomp.com>)

<b>Vzorkovací interval</b>	0,5 s
<b>Provozní teplota</b>	-20 – 70°C
<b>Úložná kapacita</b>	8000 událostí
<b>Baterie</b>	CR-2032 lithium
<b>Životnost baterie</b>	1 rok nepřetržitého provozu
<b>Hmotnost</b>	94 g
<b>Velikost</b>	108 x 89 x 44mm

### 3.3.11 Starter kit for wireless sensor networks

Starter kit poskytuje jednoduché a cenově výhodné řešení, jak získat první zkušenosti s bezdrátovými sensorovými sítěmi jak v 2,4GHz tak 868/916 MHz ISM pásmu. Tento základní set obsahuje všechny komponenty potřebné pro rychlé nasazení základní bezdrátové sensorové sítě. Obsahuje dva senzory s IRIS/MICA moduly zajišťujícími komunikaci s nízkou spotřebou a s multi-senzorovou platformou MTS400 zahrnující snímače teploty, vlhkosti, barometrického tlaku a intenzitu světla. Další součástí setu je základní stanice, což je vlastně IRIS/MICA modul s rozhraním USB, který po připojení do PC funguje jako základní stanice. Poslední součástí setu je aplikace MoteView pro Windows, která nabízí intuitivní grafické uživatelské rozhraní pro sledování a správu bezdrátových sensorových sítí. Tím, že zobrazuje síťové topologie, grafy, konfigurace, umožňuje uživateli pochopit data ze senzorů a sítě a zároveň snadnou konfiguraci sensorových uzlů (<http://www.memsic.com>). Detailní popis tohoto balíku je uveden v diplomové práci Standardy pro dohledové centrum sensorové sítě Mgr. Libora Kimpla.



Obr. 20: Zařízení a síťová architektura balíku Starter kit (<http://www.memsic.com>)

## 4 PLATFORMY SENZOROVÉHO MĚŘENÍ

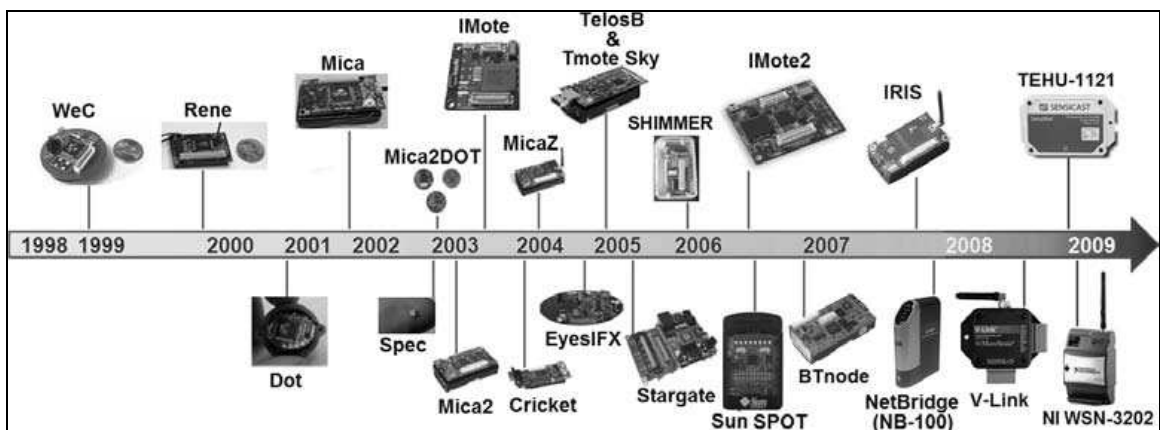
Senzorové sítě jsou složeny z jednotlivých systémů, které jsou schopny jednak interakce s jejich prostředím prostřednictvím různých senzorů, dále zpracovávat informace přímo na místě a komunikovat o těchto informacích se sousedními senzory. S rozvojem bezdrátové komunikace se dnes u sensorových sítí převážně využívá bezdrátové komunikace pomocí bezdrátových modulů. Snímací uzel se skládá ze tří složek, které mohou být umístěny individuálně nebo do jednoho systému.

- **Bezdrátové moduly** jsou klíčovými komponenty sensorové sítě díky schopnosti komunikace a programování paměti, kde se nachází aplikační kód. Modul se obvykle skládá z mikroprocesoru, vysílače, zdroje, paměťové jednotky a může obsahovat několik senzorů. V minulých letech bylo vyvinuto široké spektrum platforem včetně Mica2, Cricket, MicaZ, Iris, Telos, SunSPOT a Imote2
- **Senzorové platformy** jsou upevněny k bezdrátovému modulu a jsou osazeny různými typy snímačů. Mohou také obsahovat prototypové oblasti využívané k připojení dalších dodatečných senzorů. Mezi dostupné sensorové platformy řadíme MTS300/400 a MDA100/300, které jsou používány u skupiny modulů Mica. Alternativně mohou být senzory obsaženy v bezdrátových modulech jako je to u platforem Telos nebo SunSpot.
- **Programovací platformy** známé také jako „gateway“ platformy, poskytují několik platforem zahrnujících Ethernet, WiFi, USB nebo sériové porty k připojení různých modulů do podnikových či průmyslových sítí nebo lokálně k PC nebo laptopu. Tyto platformy jsou také používány k programování modulů a shromažďování dat z těchto modulů. Příklady programovacích platforem jsou MIB510, MIB520 a MIB600. Specifické platformy je nutné připojit k programovací platformě k nahrání aplikací do programovací paměti. Další možností jejich programování je pomocí radiových vln.

Zatím co typy snímačů se výrazně liší v závislosti na aplikaci, bezdrátových modulů byl vyvinut omezený počet. Tabulka 16 ukazuje hlavní charakteristiky populárních platforem, které byly vyvinuty za posledních pár let s ohledem na rychlost jejich procesoru, programovatelnost a velikost úložné paměti, operační frekvenci a přenosovou rychlost. Je zde také zahrnuta časová řada vývoje těchto platforem. Jak můžeme pozorovat, schopnosti těchto platforem se výrazně liší. Nicméně lze existující platformy obecně klasifikovat podle jejich schopností a využití. Tyto platformy lze dělit na „low-end“ a „high-end“ platformy. V podkapitole 4.3 je zmíněno úsilí o standardizaci podmíněně šířením a vývojem aplikací. V podkapitole 4.4 budou popsány softwary používané v rámci těchto platforem.

Tabulka 19: Výpis jednotlivých senzorových platform (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

Mote type	CPU speed (MHz)	Prog. mem. (kB)	RAM (kB)	Radio freq. (MHz)	Tx. rate (kbps)
<i>Berkeley</i> [3]					
WeC	8	8	0.5	916	10
rene	8	8	0.5	916	10
rene2	8	16	1	916	10
dot	8	16	1	916	10
mica	6	128	4	868	10/40
mica2	16	128	4	433/868/916	38.4kbaud
micaz	16	128	4	2.4 GHz	250
Cricket [3]	16	128	4	433	38.4kbaud
EyesIFX [17]	8	60	2	868	115
TelosB/Tmote [3]	16	48	10	2.4 GHz	250
SHIMMER [16]	8	48	10	BT/2.4 GHz	250
Sun SPOT [9]	16–60	2MB	256	2.4 GHz	250
BTnode [1]	8	128	64	BT/433–915	Varies
IRIS [3]	16	128	8	2.4 GHz	250
V-Link [15]	N/A	N/A	N/A	2.4 GHz	250
TEHU-1121 [7]	N/A	N/A	N/A	0.9/2.4 GHz	N/A
NI WSN-3202 [6]	N/A	N/A	N/A	2.4 GHz	250
Imote [3]	12	512	64	2.4 GHz (BT)	100
Imote2 [3]	13–416	32MB	256	2.4 GHz	250
Stargate [3]	400	32MB	64MB SD	2.4 GHz	Varies
Netbridge NB-100 [3]	266	8MB	32MB	Varies	Varies



Obrázek 21: Časová řada jednotlivých senzorových platform (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)



## 4.1 Low-End platformy

Tyto platformy jsou specifické svými omezenými možnostmi v oblasti zpracování informací, paměti a komunikace. Tyto platformy jsou obvykle používány ve většině bezdrátových sensorových sítích k uskutečnění průzkumových úloh a k zajištění propojovací infrastruktury (Akyildiz, I. F., Vuran, M. C. , 2011). Následující platformy byly většinou používány při vývoji komunikačních protokolů poslední doby:

### 4.1.1 Skupina platforem Mica

Skupina platforem Mica zahrnující Mica2, MicaZ a IRIS, které jsou produkty Crossbow Technology Inc.. Každá platforma je vybavena 8-bitovým mikrokontrolerem Atmel AVR s rychlostí 4-16MHz a 128-256kB programovatelné flash paměti. Zatímco mikrokontrolory jsou podobné, skupina Mica platforem je vybavena širokou škálou vysílačů – „transceiverů“. Platforma Mica916 obsahuje 916MHz nebo 433MHz transceiver s rychlostí 40kb/s, zatímco platforma Mica2 je vybavena 433/868/916MHz transceiverem s rychlostí 40kb/s. Na druhou stranu jsou MicaZ a IRIS vybaveny IEEE 802.15.4 transceivery s frekvencí 2,4GHz a přenosovou rychlostí 250kb/s. Každá platforma má omezenou paměť RAM (4-8kB) a úložnou paměť (512kB). Navíc je každá verze vybavena 51-pinovým konektorem, který se používá pro připojení dodatečných senzorů a programovacích platforem.

### 4.1.2 Telos/TMOT

Architektura podobná platformě MicaZ byla použita pro Telos platformu od Crossbow a Tmote Sky platformu od Sentilla (dříve Moteiv). Zatímco transceivery zůstaly zachovány, Telos/Tmote platformy mají větší paměť RAM od 8MHz TI MSP430 mikrokontrolerem s 10kB paměti RAM. Kromě toho obsahují několik senzorů sledujících světlo, infračervené záření, vlhkost a teplotu a také USB konektor pro připojení dodatečných senzorů a programovací platformy. Navíc disponuje 6 pinovým a 10 pinovým konektorem pro připojení dodatečných senzorů.

### 4.1.3 EYES

EYES platformy byly vyvinuty v rámci tříletého evropského projektu a jsou podobné Telos/TMOT architektuře. Je zde použit 16-bitový mikroprocesor s 60kB programovací paměti a 2kB datové paměti. Mimoto je zde vestavěný kompas a akcelerometr a senzory měřící teplotu, světlo a tlak. EYES platformy také zahrnují TR1001 transceiver podporující přenosovou rychlost až 115,2kb/s se spotřebou 14,4mW, 16mW a 15,0μW během příjmu, přenosu a režimu spánku. Platforma také zahrnuje RS232 sériové rozhraní pro programování.

Kromě těchto platform bylo vyvinuto několik dalších low-end platform s podobnými možnostmi, jak je uvedeno v Tabulce 16 a Obrázku 1. Je nutno poznamenat, že trend platform od firem V-Link, TEHU a National Instruments se týká posledních let (2008-2009).

Low-end platformy se používají pro úlohy měření v sensorových sítích a poskytují propojenou infrastrukturu pomocí „multi-hop“ sítě, tedy sítě s víceskokovým přenosem. V „multi-hop“ sítích je komunikace mezi dvěma koncovými body zprostředkována prostřednictvím počtu dílčích uzlů, jejichž funkcí je přenos informací z jednoho bodu do druhého. Tyto uzly jsou většinou vybaveny procesory s nízkou spotřebou energie a transceivery pro snížení finančních a energetických nákladů. V důsledku toho se používají v mnoha sensorových sítích. Nejnovější platformy obsahují CC2420 transceiver s frekvencí 2,4GHz, který je kompatibilní se standardem IEEE 802.15.4. Tato standardizace umožňuje různorodé nasazení sensorových sítí využívajících různé platformy

## **4.2 High-End platformy**

Kromě snímání, zpracování a „multi-hop“ komunikace, vyžadují sensorové sítě dodatečné funkce, které low-end platformy neumožňují. Úkoly na tak vysoké úrovni, jako je spravování sítě, vyžadují vyšší výpočetní výkon a paměť, než jaké jsou poskytovány low-end platformami. Kromě toho integrace sensorových sítí s existující sítíovou infrastrukturou vyžaduje začlenění přes více komunikačních technologií prostřednictvím komunikačních brán. Navíc v sítích, ve kterých jsou integrovány uzly zpracování a ukládání se sensorovými uzly, je třeba větší kapacity uzlů. K řešení těchto požadavků byli vyvinuty hiht-end platformy(Akyildiz, I. F., Vuran, M. C. , 2011).

### **4.2.1 Stargate**

Stargate platformy jsou velice výkonné platformy určené pro snímání, zpracování signálu, řízení a zprávu sensorové sítě. Jsou založeny na PXA-255 Intel Xscale 400MHz RISC procesoru, který se využívá v mnoha kapesních počítačích. Stargate má 32MB flash paměť, 64MB SDRAM, konektory pro skupinu uzlů Mica a PCMCIA Bluetooth a IEEE 802.11 karty. Proto může fungovat jako bezdrátová komunikační brána a výpočetní uzel pro procesní algoritmus uvnitř sítě. Stargate NetBridge byl vyvinut jako nástupce Stargate a je založen na procesoru Intel XScale IXP420 s frekvencí 266MHz. Disponuje jedním Ethernet připojením a dvěma porty USB 2.0 a je vybaven 8MB programovatelné flash paměti, 32MB RAM a 2GB USB 2.0 disky, na kterých běží operační systém Linux. Pomocí portů USB mohou být připojeny sensorové uzly k funkcím komunikační brány.

## 4.2.2 Imote a Imote2

Společnost Intel vyvinula dvě generace modelů bezdrátových senzorů známých jako Imote a Imote2 pro vysoce výkonné snímání a aplikace komunikačních brán. Imote je postaven na integrovaném bezdrátovém microkontroloru složeného z 8-bitového 12MHz ARM7 procesoru, Bluetooth, 64kB RAM, 32kB flash paměti a několika I/O nastaveními. Softwarová architektura je založena na ARM portu TinyOS. Druhá generace „Intel mote“, Imote2, je postavena na novém nízkoenergetickém 32-bitovém PXA271 XScale procesoru s frekvencemi 320/415/520MHz, který umožňuje operace DSP pro ukládání a komprese a IEEE 802.15.4 ChipCon CC2420. Obsahuje velkou RAM a flash paměť (32MB), podporu dodatečných radio modulů a řadu vysokorychlostních I/O pro připojení digitálních senzorů či kamer. Jeho velikost je velmi malá (48x33 mm) a podporuje operační systém Linux a Java aplikace.

## 4.3 Standardizace

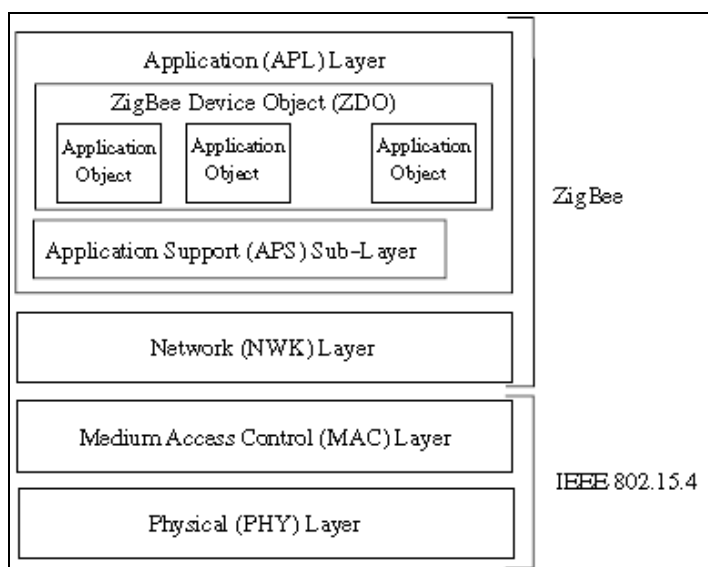
### 4.3.1 IEE 802.15.4

Rozmanitost dostupných senzorových platforem vede k otázce kompatibility představovaných aplikací. Proto je nutná standardizace určitých aspektů komunikace. Za tímto účelem byl vyvinut standard IEEE 802.15.4 pro specifikaci bezdrátových nízko kapacitních datových transceiverů s dlouhou životností baterií a velmi malou náročností. Pro komunikaci byly vybrány tři různé skupiny, tj. 2,4GHz pro globální využití, 915MHz pro Ameriku a 868MHz pro Evropu. Zatímco fyzické vrstvy používají binární kódování fázového posunu BPSK (Binary Phase Shift Keying) pro 868/915MHz pásma a modifikaci kvadratického kódování fázového posunu O-QPSK (Offset quadrature Phase Shift Keying) pro 2,4GHz pásma, vrstva MAC (Medium Access Control) zajišťuje komunikaci pro hvězdicově, stromově, mesh či klastrově založené topologie s ovladači. Dosah uzlů je předpokládán na 10-100m s přenosovou rychlostí 20-250 kb/s. Většina novějších platforem pro bezdrátové senzorové sítě je vyvinuta v souladu se standardem IEEE 802.15.4. Ve skutečnosti je tento standard populární a stal se de facto obecným standardem pro fyzické a MAC vrstvy s nízko-energetickou komunikací. To umožňuje integraci různých platforem s různými možnostmi do jedné sítě.

### 4.3.2 ZigBee

Tento standard byl vypracován ZigBee Alliance, což je mezinárodní, neziskové, průmyslové konsorcium předních výrobců polovodičů a poskytovatelů těchto technologií. ZigBee standard byl vytvořen pro řešení potřeb trhu nákladově efektivních, standardně založených, bezdrátových síťových řešení podporující nízkou datovou rychlost, nízkou spotřebu energie, bezpečnost a spolehlivost pomocí soukromých

bezdrátových sítí WPAN (Wireless Personal Area Network). Je zaměřen na 5 hlavních oblastí využití: domácí automatizace, inteligentní energie, bezpečnost a automatizace budov, telekomunikační služby, zdraví a osobní péče. ZigBee standard je definován zejména ve spojení s IEEE 802.15.4 standardem. Proto se také obvykle zaměňují. Nicméně jak je ukázáno na Obrázku 2, každý z nich definuje specifické vrstvy skupiny protokolů. Fyzická a MAC vrstva je definována IEEE 802.15.4 standardem, zatímco síťová a aplikační vrstva je definována standardem ZigBee. ZigBee síťová vrstva poskytuje funkce pro řízení provozu sítě. Jsou definovány procedury pro zřízení nové sítě a prostředky pro přidání či odebrání členství v síti. Navíc, v závislosti na provozu sítě, může být konfigurováno komunikační nastavení pro každé zařízení v síti. Od doby, kdy zařízení využívající ZigBee mohou být součástí různých sítí v průběhu jejich využívání, definuje tento standard flexibilní adresní mechanismus. Proto je zařízení, které se k síti připojí, přidělena adresa, která slouží jako jedinečný identifikátor každého zařízení. Identifikátor se nepoužívá přímo ke komunikaci, ale kratší adresa má zlepšit účinnost komunikace. Ve stromové architektuře identifikuje adresa každého zařízení také jeho rodiče, což se využívá pro směrovací účely. Síťová vrstva také umožňuje synchronizaci mezi zařízeními a síťovými ovladači. Síťovou vrstvou jsou nakonec generovány „multi-hop“ cesty podle definovaných protokolů. Jak je patrné z Obrázku 2, standard ZigBee definuje také určité prvky v aplikační vrstvě. Tato vrstva se skládá z aplikační podvrstvy, ZigBee prvkových objektů a aplikačních objektů definovaných výrobcem. Aplikace jsou implementovány těmito výrobcem definovanými objekty a implementace samotná je založena na požadavcích definovaných standardem. ZigBee prvkové objekty definují funkce poskytované zařízením pro síťový provoz. Přesněji řečeno ZigBee prvkové objekty definují funkci zařízení jako síťového koordinátora nebo směšovače. Navíc, kdykoliv zařízení potřebuje spojení se sítí, nutné žádosti jsou vyřizovány přes ZigBee prvkové objekty. Aplikační podvrstva umožňuje zjištění možností zařízení tak, že sousední zařízení a funkce poskytované těmito sousedy mohou být uloženy.



Obrázek 22: Popis skupiny protokolů ZigBee a IEEE 802.15.4 (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

### 4.3.3 WirelessHART

WirelessHART byl vyvinut jako bezdrátové rozšíření standardu HART (Highway Addressable Remote Transducer protocol). HART je nejpoužívanější komunikační protokol v automatizaci a průmyslových aplikacích, které vyžadují možnost připojení kolem 20 miliónů zařízení v reálném čase. Je založen na překrývání digitálního FSK modulovaného signálu na 4 – 20mA analogové proudové smyčky mezi jednotlivými složkami. HART poskytuje „master/slave“ komunikační schéma, kde je možné připojit až 2 „master“ zařízení. Proto lze zařízení připojené do systému ovládat permanentním systémem a kapesními zařízeními pro monitorovací a řídicí účely. WirelessHART standard by vydán v rámci HART 7 specifikace jako první otevřený bezdrátový komunikační standard speciálně zaměřený pro měření a řízení aplikací. WirelessHART je závislý na IEEE 802.15.4 standardu fyzické vrstvy pro pásma 2,4GHz. Navíc je MAC protokol definovaný pro poskytování komunikace několika způsoby: jednosměrným procesem a řízením hodnot, spontánním oznámením výjimkou (pouze pro požadavek a odpověď) a automaticky rozdělenými blokovými přenosy velkých datových sad. Síťová architektura standardu WirelessHART je znázorněna na Obrázku 3. Je zde definováno 5 komponentů:

**WirelessHART periferní zařízení** – WFD (WirelessHART Field Device) představují čidla a ovládací prvky, které jsou připojeny k procesnímu nebo napájecímu zařízení.

**Komunikační brány** poskytují rozhraní bezdrátové části sítě a bezdrátové infrastruktury. Díky tomu mohou být hostitelské aplikace a kontrolory ve vzájemné interakci s WDF.

**Správce sítě** udržuje provoz sítě stanovením komunikačních slotů pro zařízení, určením směrovacích tabulek a monitorováním „zdravotního“ stavu sítě. Kromě tří hlavních komponent.

**WirelessHART adaptéry** poskytují zpětnou kompatibilitu integrováním stávajících HART periferních zařízení do bezdrátové sítě.

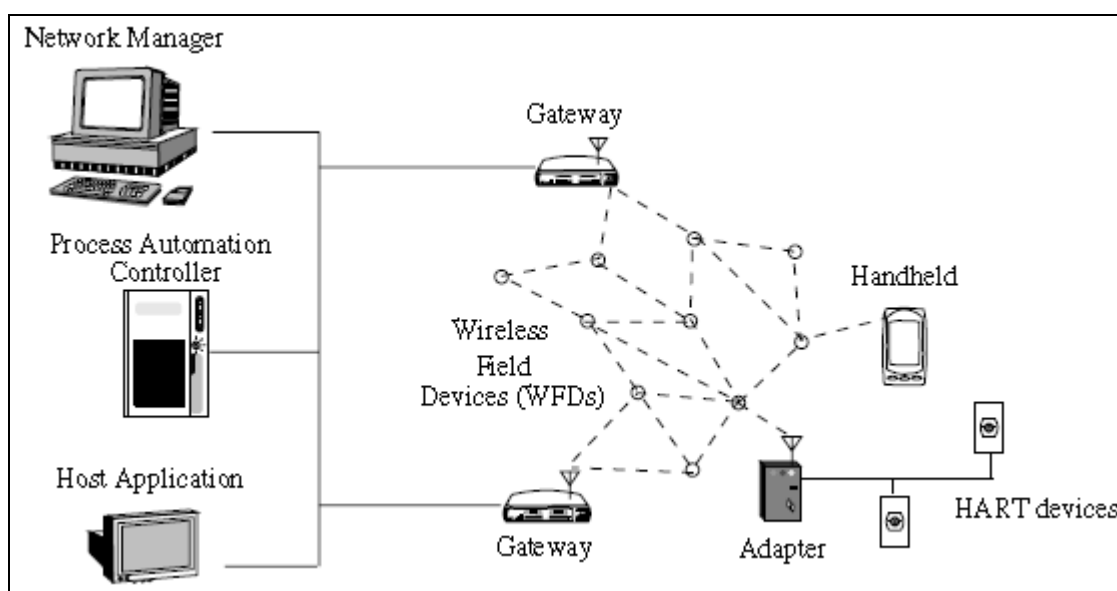
**Ruční zařízení** jsou vybaveny vestavěnými transceivery pro poskytování přímého přístupu k bezdrátovým sítím a rozhraním s WFD.

Na základě těchto složek je pomocí WirelessHART standardu definována celá skupina protokolů. Jak již bylo vysvětleno výše, na fyzické vrstvě je aplikován standard IEEE 802.15.4 a vrstvě datové komunikace standard MAC. Krom toho je topologie sítě navržena jako „mesh“ a každé zařízení může pracovat jako zdroj i směrovač. Tato topologie je velmi podobná obecně platné topologii pro bezdrátové senzorové sítě. Na síťové vrstvě je tabulkově založené směrování použito tak, aby vznikali mnohočetné duplicitní cesty v síťovém upořádání, které jsou průběžně ověřovány. Proto i když je

komunikační cesta mezi WFD a komunikační bránou poškozená, jsou použity alternativní cesty, aby byla zajištěna lepší spolehlivost sítě než 99,73%. Kromě zavedených cest jsou použity směrovací techniky pouze pro komunikační cesty. Navíc síťová vrstva podporuje dynamické přidělení šířky pásma pro jednotlivá zařízení. Šířka pásma je přidělována na základě požadavku zařízení a může být nakonfigurována při připojení zařízení k síti.

Transportní vrstva standardu WirelessHART zajišťuje spolehlivost pro „end-to-end“ a podporuje spolehlivé blokové přenosy velkých datových sad. K dispozici jsou také „end-to-end“ monitoring a řízení sítě. V souladu s tím WFD neustále vysílají statistiky týkající se jejich úspěšnosti komunikace a jejich sousedů, což je sledováno správcem sítě kvůli vytváření duplicitních cest a zlepšení energetické efektivity.

Aplikační vrstva podporuje aplikační vrstvu standardu HART, kde je možné bez problémů implementovat existující řešení.



Obrázek 23: Architektura a komponenty standardu WirelessHART  
(I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

#### 4.3.4 6LoWPAN

Stávající standardy umožňují specifické aplikační řešení pro vývoj bezdrátových senzorových sítí. Díky tomu je možné samostatné senzorové sítě implementovat do specifických aplikací. Nicméně tyto sítě nelze snadno propojit s internetem, protože protokoly založené na standardu IEEE 802.15.4 nejsou v souladu s internetovým protokolem IP. Proto nemohou senzory snadno komunikovat s webově založenými zařízeními, servery nebo prohlížeči. Proto je třeba použít komunikační brány pro shromažďování informací ze senzorových sítí a pro komunikaci s internetem. To zatěžuje sousedy komunikačních brán a utváří z komunikační brány tzv. „single-point-of-failure“,

tedy uzel, který pokud přestane fungovat nebo funguje špatně zapříčiní nefunkčnost celého systému.

K propojení bezdrátové sensorové sítě s internetem vytvořila komise IETF (Internet Engineering Task Force) standard 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network). Tento standard definuje realizaci skupiny protokolů IPv6 nad standardem IEEE 802.15.4, aby bylo každé zařízení dostupné z internetu.

Základním úkolem integrace IPv6 a bezdrátové sensorové sítě je adresní struktura IPv6, která definuje záhlaví a informace o adrese o velikosti 40B. Nicméně IEEE 802.15.4 umožňuje až 127B na celý balík obsahující záhlaví a potřebné informace. Proto přímá integrace obou těchto standardů není efektivní. Proto 6LoWPAN dodává adaptační vrstvu, která umožňuje jejich vzájemnou komunikaci. Standardem 6LoWPAN byla navržena skládaná struktura záhlaví, kde místo jednoho obecného záhlaví jsou využity 4 typy záhlaví v závislosti na typu odesílaného paketu. Kromě toho jsou využívány kompresní techniky pro snížení velikosti záhlaví ze 40B na zhruba 4B, která je vhodná pro bezdrátové sensorové sítě.

#### **4.3.5 Další snahy o standardizaci**

Kromě výše uvedených, můžeme zmínit několik dalších platforem zabývajících se definováním standardů pro bezdrátové sensorové sítě. Standard SP100.11a společnosti ISA se zabývá automatizací zpracování dat. Dále společnost WINA (Wireless Industrial Networking Alliance) byla založena v roce 2003 na podporu rozvoje a přijetí bezdrátových síťových technologií a postupů, které pomáhají zvýšit průmyslovou výkonnost. Tato skupina dodavatelů a koncových uživatelů se snaží definovat potřeby a priority uživatelů v oblasti průmyslových bezdrátových systémů. U snahy o standardizaci pomocí standardů jako jsou ZigBee, WirelessHART, WINA a SP100.11a se předpokládá, že umožní rychlé zlepšení bezdrátových sensorových sítí v průmyslu.

Aplikace bezdrátových sensorových sítí získaly v posledním desetiletí výraznou dynamiku se zrychlováním výzkumu v této oblasti. I když stávající aplikace poskytují širokou škálu možností využití bezdrátových sensorových sítí, existuje stále mnoho oblastí čekajících na posílení využívání této technologie. Komercializace těchto potenciálních aplikací je stále velkou výzvou.

## **4.4 Software**

Kromě hardwarových platforem a standardů bylo vyvinuto také několik softwarových platforem určených speciálně pro bezdrátové sensorové sítě. Mezi nimi byla nejlépe přijata platforma TinyOS. Jedná se o open-source operační systém určený pro bezdrátové sensorové sítě. TinyOS obsahuje komponentově založenou architekturu, která minimalizuje velikost kódu a poskytuje flexibilní základnu pro implementaci nových

komunikačních protokolů. Jeho komponentová knihovna obsahuje síťové protokoly, distribuované služby, sensorové ovladače a nástroje pro sběr dat, které lze dále upravovat nebo vylepšovat na základě požadavků konkrétní aplikace.

Většina stávajících softwarových kódů pro komunikační protokoly jsou dnes psány právě pro platformu TinyOS. Spolu s TinyOS byl zaveden TOSSIM (TinyOS mote Simulator) pro zjednodušení vývoje protokolů sensorových sítí a aplikací. TOSSIM poskytuje škálovatelné simulační prostředí a kompiluje přímo TinyOS kód. Tím simuluje TinyOS síťový zásobník na úrovni bitů, což umožňuje experimentování s nízkourovňové protokoly kromě nejvyšší úrovně aplikačních systémů. Také poskytuje nástroj grafického uživatelské rozhraní TinyViz pro vizualizaci a práci s běžící simulací.

Kromě TinyOS bylo v poslední době zavedeno několik dalších softwarových platforem a operačních systémů. LiteOS je „multi-threading“ operační systém poskytující podobné prostředí jako Unix. Ve srovnání s TinyOS nabízí LiteOS „multi-threaded“ operace, dynamickou správu paměti a podporuje příkazový řádek. LiteShell poskytuje rozhraní příkazového řádky na straně uživatele, aby poskytl interakci se sensorovými uzly a umožnil jejich naprogramování.

Contiki je „open-source, multitasking“ operační systém vyvinutý pro použití na různých platformách, včetně mikroprocesorů jako jsou TI MSP430 a Atmel AVR, které se využívají u produktů Telos, Tmote a Mica. Contiki umožňuje nahrazení programů a ovladačů za běhu a bez přesměrování.

Poslední SunSPOT platforma nepoužívá operační systém, ale běží na Java VM(virtual machine). VM je provozován přímo z flash paměti.

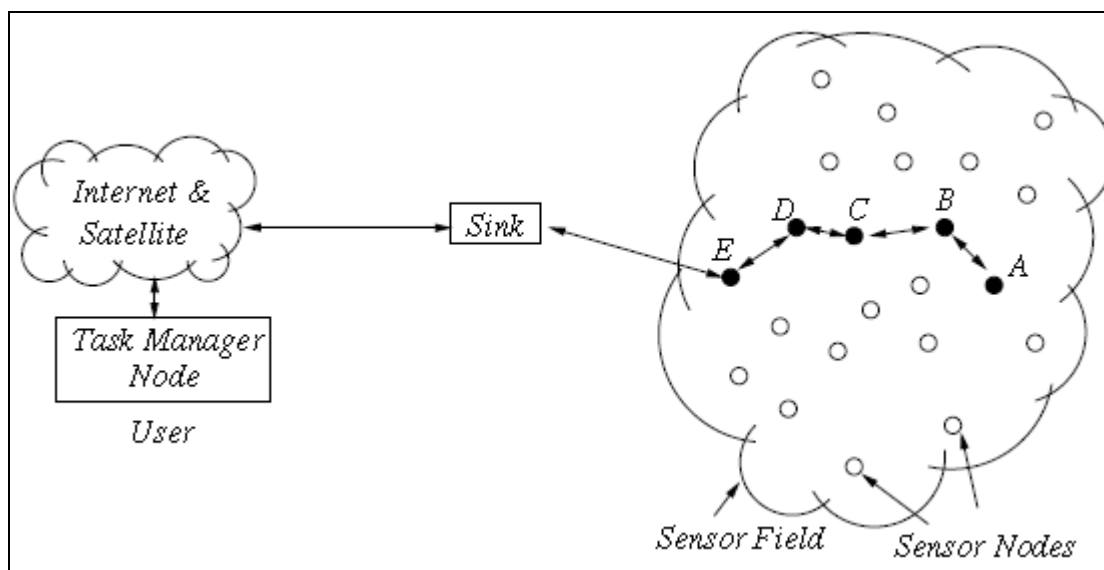
I přesto, že je k dispozici několik výše zmíněných operačních systémů, ve výzkumu bezdrátových sensorových sítí je stále nejvíce využíván TinyOS. Hlavním důvodem jeho popularity je jeho rozsáhlý kód vytvořený během vývoje řešení bezdrátových sensorových sítí. Samozřejmě je těžké na existující aplikace a komunikační protokoly aplikovat tento nový operační systém. To vyžaduje platformy podporující interoperabilitu pro existující kód, takže jsou k dispozici další možnosti flexibility a možností pro výzkumnou obec a průmysl.



## 5 ARCHITEKTURA SENZOROVÝCH SÍTÍ

Senzorové uzly jsou většinou rozmístěny jako senzorové pole, jak je znázorněno na Obrázku 24. Každý z těchto rozmístěných senzorových uzlů má schopnost shromažďovat informace a směřovat je zpět do základní stanice(sink) nebo komunikační brány a dále koncovým uživatelům. Data jsou směřována zpět ke koncovému uživateli pomocí „multi-hop“ nestruturované architektury přes základní stanici, jak je znázorněno na Obrázku 4. Komunikační brána může komunikovat se správcem úloh či koncovým uživatelem přes internet, satelit nebo jakýkoliv jiný typ bezdrátové sítě jako je WiFi, mesh sítě, celulární systémy, WiMAX atd. nebo bez využití těchto sítí v případě, že je základní stanice přímo propojena s koncovým uživatelem. Je třeba upozornit, že v jedné síti může být více základních stanic nebo komunikačních brán a více koncových uživatelů. V senzorových sítích mají senzorové uzly dvojí funkci. Fungují jako zdroje dat, zároveň také jako datové routery. Proto komunikace probíhá ze dvou důvodů:

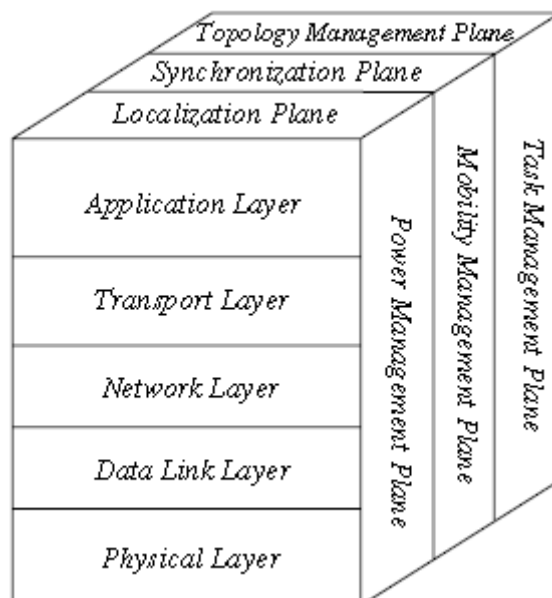
- Funkce zdroje: Zdrojové uzly s událostní informací komunikují, aby mohli zaslat své pakety do základní stanice.
- Funkce routeru: Senzorové uzly se také podílejí na předávání paketů z jiných uzlů k dalšímu cíli v „multi-hop“ cestě do základní stanice.



Obrázek 24: Struktura senzorových uzlů v senzorovém poli (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

Sada protokolů používaných základní stanicí a všemi senzorovými uzly je uvedena na Obrázku 5. Tato sada protokolů se skládá z fyzické, datové, transportní a aplikační vrstvy a ze synchronizační roviny, lokalizační roviny, roviny řízení topologie, roviny řízení napájení, roviny řízení mobility a roviny řízení úkolů. Fyzická vrstva se zabývá potřebami jednoduchých, ale robustním řešením modulace, přenosu a příjmu. Protože životní prostředí je plné rušivých signálů a senzorové uzly mohou být mobilní, stará se

datová vrstva o zajištění spolehlivé komunikace pomocí metody kontrolování chyb a řídí kanálový přístup pomocí MAC, aby minimalizovala kolize způsobené vysíláním sousedních zařízení. V závislosti na úkolech snímání mohou být vytvořeny a použity různé druhy aplikačních softwarů na aplikační vrstvě. Síťová vrstva se stará o směrování dat z transportní vrstvy. Transportní vrstva pomáhá udržovat tok dat, pokud je vyžadován sítíovou aplikací. Krom toho roviny řízení napájení, přenosu a úkolů monitorují napětí, přenos a rozdělení úkolů mezi jednotlivými sensorovými uzly. Tyto roviny pomáhají sensorovým uzlům koordinovat úkoly snímání a snížit celkovou spotřebu energie. Rovina řízení spotřeby řídí jak sensorový uzel využívá energii. Sensorový uzel může například vypnout přijímač po obdržení zprávy od jednoho ze svých sousedů, aby předešel duplicitě zpráv. Navíc pokud je napětí na sensorovém uzlu nízké, uzel kontaktuje své sousedy, že má nízké napětí a nemůže se účastnit na směrování dat. Zbývající energie je vyhrazena pro snímání. Rovina řízení mobility detekuje a registruje pohyb sensorových uzlů, takže cesta zpět k uživateli je vždy zachována a sensorové uzly mohou sledovat sousední sensorové uzly. Díky tomu mohou sensorové uzly vyvažovat jejich využívání energie a úkolů. Rovina řízení úkolů vyvažuje a rozvrhuje zaslání úkolů pro konkrétní oblasti. Ne u všechny sensorových uzlů v dané oblasti je nezbytné snímání ve stejný čas. Ve výsledku jsou některé sensorové uzly využívány více než jiné v závislosti na jejich napětí. Tyto řídicí roviny jsou potřebné k tomu, aby mohli sensorové uzly pracovat společně energeticky efektivním způsobem, směrovat data v mobilní sensorové síti a sdílet zdroje mezi sensorovými uzly. Bez nic by každý sensorový uzel pracoval samostatně. Z hlediska celé sensorové sítě je efektivnější, pokud spolu sensorové uzly spolupracují, čímž lze prodloužit životnost sensorové sítě.



Obrázek 25: Sada protokolů bezdrátové sensorové sítě (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

## 5.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva je zodpovědná za výběr frekvence, generování nosné frekvence, detekci signálu, modulaci a šifrování dat. Fyzická vrstva je zodpovědná za přeměnu binárních dat na signál, který se nejlépe hodí pro komunikaci přes bezdrátový kanál. Spolehlivost komunikace závis také na hardwarovém vybavení uzlů jako je anténa a citlivost obvodů přijímače.

## 5.2 Datová vrstva

Datová vrstva je zodpovědná za tzv. multiplexování datových toků (kombinování více analogových nebo digitálních signálů do jednoho signálu), detekci datového rámce, kontrolu přístupu k médiu a chybovou kontrolu. Zajišťuje spolehlivou point-to-point a point-to-multipoint spojení v komunikační síti.

- **MAC**

Protokol MAC v bezdrátové „multi-hop“ sensorové síti s vlastní organizací musí dosáhnout dvou cílů. Prvním cílem je vytvoření síťové infrastruktury. Vzhledem k tomu, že sensorové uzly mohou být rozmístěny jako husté sensorové pole, protokol MAC musí vytvořit komunikační kanály pro přenos dat. Tím vytvoří základní infrastruktury potřebné pro „hop-by-hop“ bezdrátovou komunikaci a schopnost vlastní organizace. Druhým cílem je efektivní sdílení komunikačních zdrojů mezi uzly. Tyto zdroje zahrnují čas, energii a frekvenci. V posledním desetiletí bylo vyvinuto několik MAC protokolů pro sensorové sítě pro řešení těchto požadavků.

Bez ohledu na schéma přístupu k médiu je velmi důležitá energetická účinnost. Protokol MAC musí podporovat energeticky úsporný režim pro sensorové uzly. Nejzřetelnějším prostředkem úspory energie je vypnutí vysílače, pokud není vyžadováno jeho využití v daný čas. Ačkoli tato metoda může poskytnout úsporu energie, brzdí připojování k síti. Jakmile je vysílač vypnutý, sensorový uzel nemůže obdržet žádné pakety od svých sousedů. Navíc zapínání a vypínání vysílače má horní hranici energetické spotřeby způsobenou požadavky na zapínací a vypínací proceduru pro hardware i software. Pokud se vysílač vypne při každé nečinnosti, může v určitém časovém rozmezí nakonec spotřebovat více energie, než kdyby byl stále zapnutý. Tím pádem je provoz v tomto úsporném režimu účinný pouze tehdy, je-li doba strávená v tomto režimu větší, než určitý limit. Zde může být užitečné využít několika režimů provozu pro sensorové uzly podle stavu mikroprocesoru, paměti, A/D převodníku a vysílače. Každý z těchto režimů se vyznačuje svou spotřebou energie a zpožděním.

- **Chybová kontrola**

Další důležitou funkcí datové vrstvy je kontrola chyb při přenosu dat. Dva nejdůležitější režimy kontroly chyb v komunikačních sítích jsou FEC(Forward Error Correction) a ARQ(Automatic Repeat Request) Užitečnost ARQ v aplikacích sensorových sítí je limitována dodatečnými náklady na opětovný přenos. Na druhou stranu složitost dekódování je větší u FEC a pro korekce chyb je nutné jej aplikovat. V důsledku toho je nejlepším řešením pro sensorové sítě využití méně složitých kódování. Při návrhu takového systému je důležitá dobrá znalost kanálových charakteristik a technik implementace.

### 5.3 Síťová vrstva

Senzorové uzly jsou nahusto rozmístěny v poli blízko sledovaného jevu jak je ukázáno na Obrázku 24. Shromážděné informace vztahující se k sledovanému jevu by měly být předány do základní stanice, která může být umístěna daleko od sensorového pole. Nicméně omezený komunikační rozsah sensorových uzlů brání přímé komunikaci mezi jednotlivými sensorovými uzly a základní stanicí. Proto je zapotřebí výkonného „multi-hop“ bezdrátového směrovacího protokolu mezi sensorovými uzly a základní stanicí využívajícího mezičlánkové uzly k předávání dat. Stávající směrovací techniky, které byly vyvinuty speciálně pro bezdrátové sítě, obvykle nesplňují požadavky sensorových sítí. Síťová vrstva sensorové sítě je většinou navržena podle následujících zásad:

- Energetická účinnost je vždy důležitým faktorem.
- Sensorové sítě jsou většinou data-centrické.
- Kromě směrování mohou přenosové uzly slučovat data z mnoha jejich sousedů pomocí lokálního zpracování.
- Vzhledem k velkému počtu uzlů v sensorových sítích nemůže být poskytnuto jedinečné ID každému uzlu a může být požadováno jejich adresování pomocí jejich dat či lokace.

Důležitou tématem v rámci směrování v bezdrátových sensorových sítích je směrování založené na data-centrických dotazech. Na základě požadavku informací od uživatele může směrovací protokol adresovat různé uzly, které mohou poskytovat požadované informace. Přesněji řečeno uživatelé více zajímá dotazování atributu jevu, než dotazování na konkrétní uzel. Například dotaz „kde je teplota větší než 21°C“ je častější než dotaz „kolik je stupňů na uzlu 47“. Jednou z dalších důležitých funkcí síťové vrstvy je poskytovat tzv. internetworking s externími sítěmi, řídicími a kontrolními systémy a internetem. Jednou možností je využití základní stanice jako komunikační brána do jiných sítí, další je vytvoření hlavní sítě propojením základních stanic a zajistit dalším sítím přístup k této hlavní síti prostřednictvím komunikační brány.

## 5.4 Transportní vrstva

Transportní vrstva je zapotřebí především, je-li síť plánována pro přístup z internetu nebo jiných externích sítí. TCP s jeho současným přenosovým mechanismem neřeší specifické problémy představované prostředím bezdrátových sensorových sítí. Na rozdíl od protokolů jako je TCP nejsou „end-to-end“ komunikační schémata v sensorových sítích založena na globálním adresování. Tyto schémata musí umožňovat adresování založené na datech nebo lokaci pro určení cílového uzlu pro doručení datových paketů. Kvůli faktorům jako jsou energetická spotřeba a rozšiřitelnost a charakteristikám jako data-centrické směřování potřebují sensorové sítě jiná řešení v rámci transportní vrstvy. Tyto požadavky zdůrazňují potřebu nových typů protokolů transportní vrstvy.

Vývoj protokolů transportní vrstvy je náročný úkol, protože sensorové uzly jsou ovlivněny hardwarovými omezeními jako jsou omezené napájení a paměť. Proto nemůže každý senzor uchovávat velké množství dat jako server v internetu. Proto mohou být požadována nová schémata rozdělující „end-to-end“ komunikaci nejspíše u základních stanic tam, kde budou použity protokoly typu UDP.

Pro komunikaci uvnitř bezdrátové sensorové sítě jsou protokoly transportní vrstvy nutné pro dvě hlavní funkce: spolehlivost a kontrolu přetížení. Limitované zdroje a vysoké energetické náklady zabraňují použití spolehlivého „end-to-end“ mechanismu v bezdrátových sensorových sítích. Místo toho jsou zapotřebí lokalizované spolehlivé mechanismy. Navíc přetížení ke kterému může dojít kvůli velkému množství přepravovaných dat během událostí může být zmírněno protokoly transportní vrstvy. Vzhledem k tomu, že sensorové uzly jsou omezené, pokud jde o zpracování a skladování dat a energetickou spotřebu, protokoly transportní vrstvy se zaměřují na využití společných schopností sensorových uzlů a přesun inteligence k základní stanici spíše, než k sensorovým uzlům.

## 5.5 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva obsahuje hlavní aplikace a také správu několika funkcí. Kromě aplikačního kódu, který je specifický pro každou aplikaci, obsahuje tato vrstva také zpracování dotazů a správu síťových funkcí.

Vrstvená architektura sady protokolů byla původně přijata k vývoji bezdrátových sensorových sítí kvůli jejímu úspěchu s internetem. Nicméně aplikace bezdrátových sensorových sítí ve velkém měřítku ukázali, že bezdrátový kanál má velký vliv na protokoly vyšších vrstev. Navíc jsou zdroje omezující a specifika aplikací bezdrátových sensorových sítí vedou k řešení křížení vrstev, které úzce zahrnuje sadu protokolů. Odstraněním ostrých hranic mezi jednotlivými vrstvami, stejně jako mezi souvisejícími rozhraními, zvýší účinnost v délce kódu a umožní dosaženo operačního maxima.

Kromě komunikační funkce v sadě protokolů jsou také sensorové sítě vybaveny několika funkcemi, které podporují operace v navrhovaném řešení. V bezdrátových sensorových sítích je každý senzor vybaven jeho vlastními lokálními hodinami pro interní operace. Každá událost, která souvisí s operacemi senzoru včetně snímání, zpracování a komunikace, je spojena s časovou informací řízenou lokálními hodinami. Protože uživatelé mají zájem o společné informace z mnoha senzorů, musí být časové informace související s údaji v každém sensorovém zařízení shodné. Navíc by měly být bezdrátové sensorové sítě schopny správně řadit události zaznamenané rozptýlenými senzory k přesnému modelování fyzikálního prostředí. Tyto časové požadavky vedly k vývoji protokolů určených k synchronizaci času v rámci bezdrátových sensorových sítí.

Úzkou spolupráce s fyzikálními jevy vyžaduje informace o poloze a jejich propojení s informacemi o čase. Sensorové sítě jsou úzce propojeny s fyzikálními jevy v jejich okolí. Získaná informace musí být spojena s umístěním sensorového uzlu aby poskytla přesný náhled na sledované sensorové pole. Navíc mohou být bezdrátové sensorové sítě použity pro monitorovací aplikace pohybujících se objektů, které také požadují lokalizační informace pro jejich začlenění do sledovacího algoritmu. Dále vyžadují informace o poloze služby založené na lokalizaci a komunikační protokoly. Proto byli lokalizační protokoly také začleněny do skupiny protokolů.

Také je vyžadováno několik možných řešení řízení topologie k udržení spojitosti a pokrytí bezdrátových sensorových sítí. Algoritmy řízení topologie poskytují efektivní metody pro rozmístění sítě, které vedou k prodloužení životnosti a efektivnímu informačnímu pokrytí. Kromě toho pomůžou protokoly řízení topologie určit úroveň vysílacího výkonu, stejně jako trvání činnosti sensorových uzlů k minimalizaci spotřeby energie a zároveň zajistí připojení k síti. V neposlední řadě klastrovací protokoly slouží k uspořádání sítě do klastrů pro lepší škálovatelnosti a prodloužení životnosti sítě.

Integrace jednotlivých komponent pro efektivní fungování závisí na aplikacích běžících na bezdrátové sensorové síti. Tato povaha sensorové sítě závisející na aplikační povaze definuje několik jedinečných vlastností ve srovnání s tradičním síťovým řešením. Ačkoli počáteční výzkum a zavádění bezdrátových sensorových se zaměřovali na přenos dat v bezdrátovém prostředí, objevili se také některé nové oblasti aplikací. Patří mezi ně bezdrátové senzory a sítě aktérů, které se skládají ze spouštěčů a ze senzorů, které přeměňují význam informací v akce probíhající na životním prostředí a bezdrátové multimediální sítě, které podporují, které podporují multimediální komunikaci v oblasti vizuálních a zvukových informací a skalárních dat. Kromě toho se aplikace bezdrátových sensorových sítí začínají používat ve velmi náročných podmínkách jako například pod vodou či v podzemí, což vede k vývoji podvodních a podzemních bezdrátových sensorových sítí. Tyto nové studijní obory představují další výzvy, které nebyly uváženy ve velkém množství řešení vyvinutých pro tradiční bezdrátové sensorové sítě.

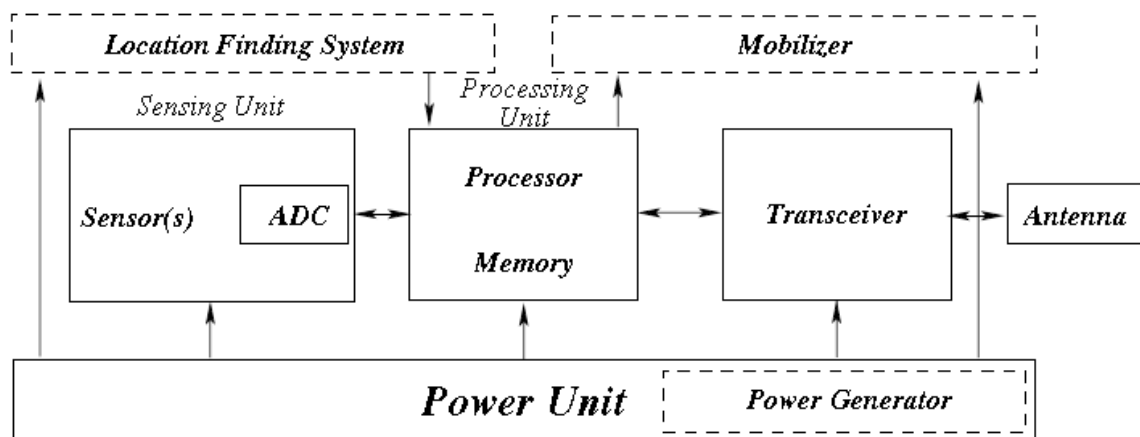
Flexibilita, odolnost vůči chybám, vysoká přesnost měření, nízké náklady a rychlé nasazení charakteristik sensorových sítí vytváří mnoho nových a zajímavých aplikačních oblastí pro dálkový průzkum. V budoucnu bude tato velká škála aplikačních oblastí sensorových sítí důležitou částí našeho života. Nicméně realizace sensorových sítí musí splňovat omezení určené faktory jako jsou odolnost vůči chybám, škálovatelnost, náklady, hardware, změny topologie, prostředí a spotřeba energie. Vzhledem k tomu, že tato omezení jsou pro sensorové sítě velmi přísná a specifická, jsou zapotřebí nové techniky pro bezdrátové sítě. Mnoho vědců se v současné době zabývá vývojem technologií potřebných pro jednotlivé vrstvy sady protokolů pro sensorové sítě. V některých oblastech byla také prokázána možnost komerčního využití.

## 6 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ NÁVRH SENZOROVÉ SÍTĚ

Návrh bezdrátových sensorových sítí vyžaduje dostatek znalostí v různých oblastech výzkumu včetně komunikace, vytváření sítí, vestavěných systémů, zpracování digitálního signálu a softwarového inženýrství. To je podmíněno úzkým propojením hardwarových a softwarových entit bezdrátových sensorových zařízení, stejně jako distribuovaným provozem těchto zařízení. V důsledku toho existuje několik faktorů, které významně ovlivňují návrh bezdrátové sensorové sítě. V této kapitole jsou popsány hlavní faktory včetně hardwarového omezení, odolnost vůči chybám, škálovatelnosti, nákladovosti, topologie sensorové sítě, přenosových médií a spotřeby energie. Těmito faktory se zabývala řada pracovníků v celé řadě oblastí týkajících se návrhu a nasazení bezdrátových sensorových sítí. Navíc integrace řešení těchto faktorů je stále hlavní výzvou kvůli mnoho-oborovému charakteru této oblasti výzkumu.

### 6.1 Hardwarové omezení

Obecná architektura a hlavní komponenty bezdrátových sensorových zařízení (uzlů) jsou znázorněny na Obrázku 6. Bezdrátové snímací zařízení se obecně skládá ze čtyř základních částí: snímací jednotky, procesní jednotky, transceiver jednotky a jednotky napájení. Kromě toho mohou být do sensorového uzlu integrovány další komponenty v závislosti na aplikaci. Tyto komponenty ohraničené přerušovanou čarou v Obrázku 26 zahrnují: systém zjišťování polohy, energetický generátor a mobilizér. Všechny komponenty jsou popsány níže.



Obrázek 26: Obecná architektura sensorového uzlu (Akyildiz, I. F., Vuran, M. C. , 2011)

- **Snímací jednotka:** Snímací jednotka je hlavní složkou bezdrátového sensorového uzlu, který odlišuje systém od všech ostatních systémů s komunikačními schopnostmi. Snímací jednotka může obecně zahrnovat několik snímacích jednotek, které poskytují možnosti získávání informací z fyzického světa. Každá sensorová jednotka je zodpovědná za shromažďování informací určitého druhu, jako jsou teplota, vlhkost nebo



světlo a obvykle se skládá ze dvou podjednotek: senzoru a převodníku analogového a digitálního signálu ADC (analog-digital converter). Analogové signály produkované snímačem založené na sledovaném jevu jsou převedeny do signálů digitální prostřednictvím ADC a následně uloženy do procesní jednotky.

- **Procesní jednotka:** Procesní jednotka je hlavním správcem bezdrátového sensorového uzlu, přes který jsou spravovány všechny ostatní komponenty. Procesorová jednotka se může skládat z tzv. „on-board“ paměti nebo může být propojena s úložnou jednotkou integrovanou na tzv. „embedded“ desce. Procesorová jednotka řídí postupy, které umožňují sensorovému uzlu provádět operace snímání a průběh souvisejících algoritmů a spolupracovat s ostatními uzly pomocí bezdrátové komunikace.
- **Transceiver jednotka:** Komunikace mezi dvěma sensorovými uzly je zprostředkována pomocí transceiver jednotek. Transceiver jednotka provádí postupy nezbytné k převodu bitů na frekvenci rádiových vln a jejich obnovení na druhém konci. V podstatě je tyto jednotky propojují jednotlivé uzly do sítě.
- **Jednotka napájení:** Jedna z nejdůležitějších součástí bezdrátových sensorových uzlů je jednotka napájení. Obvykle se používá baterie, ale je možné využít i jiné zdroje napájení. Každá komponenta v bezdrátových sensorových uzlech je napájena prostřednictvím jednotky napájení a omezená kapacita této jednotky vyžaduje energeticky efektivní provoz pro úkoly plněné jednotlivými složkami.
- **Systém zjišťování polohy:** Většina aplikací sensorových sítí, úkolů snímání a směrovacích technik vyžadují znalost polohy uzlu. Proto je běžné, že je sensorový uzel vybaven systémem zjišťování polohy. Tento systém se může skládat z modulu GPS pro high-end sensorové uzly nebo ze softwarového modulu, které implementuje lokalizační algoritmy, které poskytují informace o poloze pomocí distribuovaných výpočtů.
- **Mobilizér:** Mobilizér je někdy nutný k zajištění pohybu sensorového uzlu, když je nutné provést zadané úkoly. Podpora mobility vyžaduje rozsáhlé zdroje energie a měla by být poskytována efektivně. Mobilizér může také pracovat v úzké spolupráci se sensorovou jednotkou a procesorem kvůli řízení pohybu sensorového uzlu.
- **Energetický generátor:** Při napájení z baterie, které se většinou využívá u sensorových uzlů, lze použít přídatný napájecí generátor pro aplikace, kde je potřeba delší životnost sítě. Pro venkovní aplikace se většinou k výrobě elektrické energie používají solární panely. Stejně tak mohou být použity metody termální, kinetické či vybrační pro získávání energie.

Tyto komponenty by se měli vejít do velmi malého „embedded“ systému. Pro některé aplikace může být skutečná velikost menší než centimetr čtvereční a váha dostatečně nízká, aby mohl být zavěšen ve vzduchu. Tyto sofistikované rysy a velikostní požadavky

kladou další omezení na návrh bezdrátových sensorových uzlů. Kromě velikosti existují pro sensorové uzly další omezení. Tyto uzly musí mít velmi nízkou spotřebu energie, musí být schopné práce v prostředí o vysoké hustotě, musí mít nízké výrobní náklady, musí být autonomní a musí pracovat bez obsluhy a musí být přizpůsobivé životnímu prostředí.

Hlavním problémem pro provoz bezdrátových sensorových sítí je spotřeba energie. Pro většinu aplikací je sensorová síť nedostupná nebo není možné vyměnit baterie v sensorových uzlech. S ohledem na omezenou životnost baterií je tedy omezena i životnost sensorové sítě, což je maximální doba po kterou je síť funkční. Vzhledem k velikostním a nákladovým omezením sensorových uzlů je napájení vzácným zdrojem v sensorových sítích. Životnost bezdrátových sensorových sítí je možné prodloužit získáváním energie z okolního prostředí. Solární panely jsou příkladem praktického a nízkonákladovým získáváním energie z okolního prostředí. Nicméně množství energie, které je možné získat je stále omezené. Proto jsou bezdrátové sensorové sítě silně omezené v ohledu využití energie. Navíc je potřeba, aby sensorové sítě fungovaly po dlouhou dobu v řádu měsíců či dokonce let. Proto je energeticky efektivní provoz nejdůležitějším faktorem pro návrh bezdrátových sensorových sítí.

Mezi výše popsanými komponenty je nejdůležitější částí sensorového uzlu transceiver jednotka, protože spotřebovává nejvíce energie a poskytuje připojení ke zbytku sítě. Transceiver může být pasivní nebo aktivní optické zařízení nebo může pracovat na základě rádiové frekvence. Rádio-frekvenční komunikace vyžaduje modulace, pásmové filtrace, demodulace a mnohonásobné systémové obvody, což z ní tvoří složitější, nákladnější a energeticky náročnější systém. Navíc rádiové vlny mají vysokou ztrátovost informace v průběhu přenosu úměrnou čtvrté mocnině vzdálenosti mezi dvěma uzly. V důsledku toho je komunikační rozsah rádio-frekvenčních transceiverů s nízkou spotřebou omezen na desítky až stovky metrů. Přesto je rádio-frekvenční komunikace preferována jako de facto standard pro většinu prototypů sensorových uzlů. Je to v důsledku toho, že malé pakety mohou být efektivně odesílány prostřednictvím rádiového signálu s nízkou přenosovou rychlostí a omezený přenosový rozsah může využít opětovné použití frekvence. Mimoto lze transceiver vypnout po většinu času a zapnout vždy, když je potřeba přijmout či odeslat paket. Jedním z hlavních faktorů pro transceivery je návrh nízkonákladových, energeticky efektivních a nízko střídavých rádiových okruhů, které jsou stále techniky náročné.

Kromě transceiveru je sensorový uzel omezen také z hlediska zpracování a paměti. I když je k dispozici vyšší výkon u malých procesorů za nízké náklady, výpočetní výkon současných sensorových uzlů je výrazně menší než u většiny vestavěných systémů z důvodu nákladů a omezení velikosti. I když možnosti hardwaru sensorového uzlu rostou, jsou tyto hodnoty stále značně nižší než u zařízení jako jsou PDA nebo mobilní

telefony. Proto by software určený pro bezdrátové sensorové sítě měl být jednoduchý a měl by mít minimální výpočetní požadavky algoritmů pro efektivní provoz.

Bezdrátové sensorové sítě úzce spolupracují s jejich prostředím k získávání dat o různých fyzikálních jevech. Většina snímacích úkolů vyžaduje znalost polohy. Vzhledem k tomu, že jsou často sensorové uzly rozmístěny náhodně a pracují bez obsluhy, je nutné využít systém určení polohy. Systém určení polohy vyžadují také některé směrovací protokoly vyvinuté pro bezdrátové sensorové sítě. Informace o poloze může snadno poskytnout GPS. Nicméně cena GPS modulů je vyšší než jeden sensorový uzel a proto není realizovatelné, aby všechny sensorové uzly obsahovali GPS modul. Namísto toho se používá metoda, kdy je vybrán omezený počet uzlů, které využívají GPS nebo jiné prostředky k identifikaci jejich umístění, a ty pomáhají ostatním uzlům určit jejich polohu.

## 6.2 Odolnost vůči chybám

Hardwarová omezení vedou často k selhání či zablokování sensorového uzlu na určitý čas. Tyto poruchy se mohou objevit v důsledku nedostatku energie, fyzického poškození, narušování prostředí nebo softwarových problémů. Selhání uzlu vede k odpojení od sítě. Vzhledem k tomu, že sensorová síť má zájem o informace o fyzikálních jevech, místo informací z jednoho čidla, mělo by mít selhání jednoho uzlu dopad na celý provoz sítě. Úroveň selhání, které je povolené pro adekvátní pokračování funkcí se nazývá odolnost vůči chybám. Přesněji řečeno je odolnost vůči chybám schopnost udržet funkce sensorové sítě bez přerušení kvůli selhání uzlů. Zaprvé mají vliv na poruchovost hardwarové a softwarové komponenty uzlu. Vzhledem k tomu, že jsou sensorové uzly jsou osazeny nízkonákladovými zařízeními je většina poruch způsobena problémy s hardwarem. Navíc vzhledem k omezené paměti a zpracování může vést software v uzlu k zastavení činnosti uzlu. Kromě vnitřních problémů může mít vliv na fungování sensorů také vnější prostředí. Vnitřní použití vede k menším poruchám sensorových uzlů a může snížit četnost těchto poruch. Na druhou stranu u venkovního využití může dojít k selhání z důvodu narušování sensorového uzlu životním prostředím.

Protokoly a algoritmy určené pro bezdrátové sensorové sítě řeší časté výpadky sensorových uzlů pomocí redundance. Odolnost vůči chybám v síti lze zlepšit pomocí spoléhání na více než jeden uzel v rozsahu snímání uzlu. Ve výsledku se v případě selhání sensorového uzlu využijí ostatní uzly v snímacím rozsahu pro připojení k síti.

Odolnost vůči chybám závisí také na tom, pro jakou aplikaci je sensorová síť navržena. Pokud je prostředí, kde jsou rozmístěny sensorové uzly málo rušivé, pak mohou být protokoly méně náročné. Například pokud jsou sensorové uzly rozmístěny v domě a sledují vlhkost a teplotu, mohou být požadavky na odolnost vůči chybám nízké, protože tento druh sensorové sítě není snadno zničitelný či ovlivnitelný životním prostředím. Na druhou stranu, jsou-li sensorové uzly nasazeny na bitevním poli, nároky

na odolnost vůči chybám musí být vysoké, protože měřená data jsou rozhodující a senzorové uzly mohou být zničeny nepřátelskou akcí. Úroveň odolnosti vůči chybám tedy závisí na používání senzorových sítí a protokoly a algoritmy by se měly rozvíjet odpovídajícím způsobem.

### **6.3 Škálovatelnost**

Zatím co s vysoká hustota nasazení senzorových uzlů v bezdrátových senzorových sítích poskytuje redundanci a zvyšuje síťovou odolnost vůči chybám, také vytváří nutnost škálovatelnosti. Počet senzorových uzlů pro snímání fyzikálních jevů může být v řádu stovek až tisíců. Proto by měly být síťové protokoly vyvinuty pro tyto sítě tak, aby byly schopny efektivně zvládnout toto velké množství efektivně. Hustota se může pohybovat od několika stovek senzorových uzlů v oblasti menší než o průměru 10 metrů. Hustota uzlů závisí na aplikaci, pro kterou jsou senzorové uzly rozmístěny.

### **6.4 Nákladovost**

Vzhledem k tomu, že senzorové sítě se skládají z velkého počtu senzorových uzlů, jsou náklady na jeden uzel velmi důležité pro odvození celkových nákladů na síť. Jsou-li náklady na síť větší, než tradiční nasazení jednotlivých senzorových zařízení, pak nemůže být senzorová síť nákladově efektivní. V důsledku toho se musí náklady na každý senzorový uzel být velmi nízké. Aktuální ceny snímačů i komunikačních zařízení jsou velmi vysoké. Kromě toho může být uzel vybaven dalšími zařízeními např. pro snímání a zpracování. Také může být vybaven v závislosti na aplikaci systémem určení polohy, mobilizérem nebo generátorem elektrické energie. Tyto jednotky přispívají k vysoké ceně senzorového uzlu. V důsledku výše zmíněného jsou náklady spojené se senzorovým uzlem velkým problémem vzhledem k počtu funkcí.

### **6.5 Topologie bezdrátových senzorových sítí**

Velké množství nepřístupných a bezobsluhových senzorových uzlů, které jsou náchylné k častým výpadkům tvoří z údržby topologie hlavní úkol. Hlavním problémem je nasazení těchto senzorových uzlů v oblasti tak, aby mohl být sledovaný jev monitorován efektivně. To představuje fáze před-nasazení a nasazení. Po nasazení, je také důležitá údržba topologie. Konečně může být nezbytná fáze opětovného nasazení pokud selže několik uzlů nebo po vyčerpání energie kvůli prodloužení životnosti sítě. Celkově lze říci, že nasazení velkého počtu uzlů vyžaduje pečlivé zacházení s údržbou topologie.

#### **6.5.1 Fáze před-nasazení a nasazení**

Senzorové uzly mohou být rozmístěny hromadně nebo po jednom do senzorového pole. Ačkoliv samotný počet senzorů a jejich bezobslužné nasazení většinou nebrání jejich umístění v souladu s pečlivě navrženým plánem, musí plány pro první nasazení snížit

náklady na instalaci, odstranit potřebu jakýchkoliv před-organizačních či před-plánových aktivit, zvýšit flexibilitu uspořádání a podporovat sebeorganizaci a odolnost vůči chybám

### **6.5.2 Fáze po-nasazení**

Po fázi nasazení se může topologie lišit v závislosti na změnách podmínek senzorů. V mobilních bezdrátových sensorových sítích ovlivňuje pohyb senzorů topologii sítě. Proto může v průběhu času dojít k významným změnám v topologii. Kromě toho se může měnit připojení uzlů v závislosti na rušení, interferenci, hluku nebo pohyblivých překážkách. Další příčinou změny topologie po nasazení je selhání uzlů, které mají za následek trvalé změny. Konečně se topologie sítě periodicky mění v závislosti na snímacích úkolech a aplikaci, kdy je třeba na určitou dobu některé uzly vypnout. Tyto změny v důsledku toho by měli být síťové protokoly schopny se přizpůsobit těmto krátkodobým, pravidelným a dlouhodobým změnám v topologii.

### **6.5.3 Fáze opětovného nasazení dalších uzlů**

Po změnách zaváděcí fáze mohou být vyžadováno zavedení dalších uzlů, pokud jsou konektivita sítě a její odolnost proti chybám silně ovlivněny změnami v topologii. V souladu s tím jsou další sensorové znovu nasazeny kdykoliv, kdy je třeba vyměnit nefunkční uzly nebo z důvodu změn v dynamice úkolu. Přidání nových uzlů představuje potřebu přeorganizování sítě. Zvládnutí častých topologických změn v síti obsahující nepřehledné množství uzlů a velmi přísná omezení spotřeby energie vyžaduje speciální směrovací protokoly.

## **6.6 Přenosová média**

Spolehlivý provoz bezdrátové sensorové sítě je závislý na spolehlivé komunikaci mezi uzly v síti. V „multi-hop“ sensorové síti mohou uzly komunikovat prostřednictvím bezdrátové sítě vytvářející spojení mezi všemi uzly. Tato spojení mohou být vytvářena rádiovým signálem, infračerveným světlem, opticky, akusticky nebo pomocí magneto-inductivní vazby. K zajištění interoperability a globálního provozu těchto sítí musí být vybráno přenosové médium dostupné po celém světě.

Tabulka 20: Frekvenční pásma dostupná pro ISM aplikace

<b>Frekvenční pásmo</b>	<b>Střední frekvence</b>
6765 – 6795 kHz	6780 kHz
13553 – 13567 kHz	13560 kHz
26957 – 27283 kHz	27120 kHz
40,66 – 40,70 MHz	40,68 MHz
433,05 – 434,79 MHz	433,92 MHz
902 – 928 MHz	915 MHz
2400 – 2500 MHz	2450 MHz
5725 – 5875 MHz	5800 MHz
24 – 24,5 GHz	24,125 GHz
61 – 61,5 GHz	61,25 GHz
122 – 123 GHz	122,5 GHz
244 – 246 GHz	245 GHz

Populární volbou pro rádiové spojení je použití ISM pásma, které ve většině zemí nabízí bezplatnou licenci. Mezinárodní tabulka přidělených frekvencí uvedených v článku S5 Radiokomunikačního řádu specifikuje frekvenční pásma, která jsou k dispozici pro ISM aplikace. Tyto pásma jsou vypsána v Tabulce 18.

Některé z těchto frekvenčních pásem jsou již využívány pro komunikaci v systémech mobilních telefonů a WLAN (wireless local area network). Pro bezdrátové sensorové sítě je vyžadována malá velikost, nízká cena a transceiver s velmi nízkou spotřebou. Hardwarová omezení a kompromis mezi účinností antény a spotřebou energie omezuje výběr nosné frekvence pro tyto transceivery v rozsahu ultra krátkých vln. V důsledku toho sensorové uzly dříve podporovaly ISM pásmo 433MHz v Evropě a 915MHz v Severní Americe. Novější senzory podporují pásmo 2,4GHz, které je také podporováno novým IEEE 802.15.4 standardem.

Mezi hlavní výhody použití ISM pásem je bezplatnost, obrovské množství využitelných frekvencí a globální dostupnost. Komunikace v pásmu ISM není vázána na konkrétní standard, čímž dává větší svobodu v implementaci energeticky úsporných síťových protokolů pro bezdrátové sensorové sítě. Na druhou stranu existují různá pravidla a omezení, jako je omezený výkon a rušení existujícími aplikacemi. Kromě toho není ISM pásmo regulováno nebo přiděleno konkrétnímu typu uživatele takže může být využito jakoukoliv bezdrátovou sítí. Tím se zvyšuje pravděpodobnost zásahu do bezdrátových sensorových sítí, které obvykle používají komunikační techniky s nízkou s nízkou spotřebou v tomto frekvenčním pásmu.

Mnoho ze současného hardwaru pro sensorové uzly jsou založeny na rádio-frekvenčním obvodovém návrhu. Novější bezdrátové senzory  $\mu$ AMPS používají 2,4 GHz transceivery kompatibilní s Bluetooth s integrovaným frekvenčním syntetizérem. Sensorové uzly MicaZ, TelosB a SunSPOT využívají stejný čip transceiveru CC2420, který využívá 2,4GHz pásmo a podporuje řadu všech technik definovaných ve standardu IEEE 802.15.4. Je třeba uvést, že se s přijetím standardu IEEE 802.15.4 byla standardizována také přenosová média využívána bezdrátovými sensorovými sítěmi. To poskytuje rozsáhle možnosti v oblasti interoperability a snadného vývoje návrhu sensorového uzlu. Další možný způsob komunikace mezi uzly sensorové sítě je infračervené záření. Tato komunikace nepodléhá žádné licenci a je robustní vůči rušení elektrickými zařízeními. Transceivery založené na infračerveném světle jsou levnější a mají méně náročnou výrobu. Mnoho notebooků, PDA a telefonů nabízí IrDA (Infrared Data Association) rozhraní. Na druhou stranu je hlavní nevýhodou požadavek přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem. Proto není infračervené záření vhodnou volbou pro přenosové médium u bezdrátových sensorových sítí. Přesto se infračervené záření použít v tvrdších podmínkách, kde je rádio-frekvenční signál utlumený, např. u komunikace pod vodou.

Neobvyklé požadavky aplikací sensorových sítí dělají výběr přenosového média náročnější. Techniky akustické komunikace již byli aplikovány v aplikacích podvodních sensorových sítí, kde rádio-frekvenční vlny mívají velký útlum.

## 6.7 Spotřeba energie

Bezdrátový sensorový uzel může být vybaven omezeným napájecím zdrojem, vzhledem k hardwarovým omezením popsaných v kapitole 6.1. Navíc pro většinu aplikací není doplnění energetických zdrojů možné. Životnost bezdrátové sensorové sítě proto silně závisí na životnosti baterie. Proto je třeba zdroje spotřebovávající energii při provozu jednotlivých uzlů analyzovat a efektivně udržovat. V „multi-hop“ sensorových sítích hraje každý uzel dvě samostatné a vzájemně se doplňující role:

- **Organizátor dat:** Hlavním úkolem každého sensorového uzlu je získat data o životním prostředí pomocí různých senzorů. Získaná data je třeba zpracovat a poslat nejbližšímu sensorovému uzlu pro „multi-hop“ doručení do základní stanice.
- **Směrovač dat:** Kromě původních dat je každý sensorový uzel zodpovědný za předání informace předané jeho sousedy. Komunikační techniky s nízkou spotřebou energie v sensorových sítích omezují komunikační rozsah uzlů. Ve velké síti je nutná „multi-hop“ komunikace, takže uzly předávají informace zaslané svými sousedy do základní stanice. Proto je sensorový uzel odpovědný za přijímání údajů zaslaných jeho sousedy a předávání těchto dat do jednu ze svých sousedů v závislosti na rozhodnutí směrování.

Operace jsou závislé na obou rolích ovlivňujících spotřebu energie v sensorovém uzlu. Kromě toho může selhání uzlů způsobit významné změny topologie a může být vyžadováno přeměrování paketů a reorganizace sítě. Z toho důvodu je úspora energie a řízení spotřeby nedílnou součástí každého komunikačního protokolu pro bezdrátové sensorové sítě. Hlavním úkolem sensorového uzlu na sensorovém poli je zachycení událostí, provedení místního zpracování a přenesení dat. Spotřeba elektrické energie tedy může být rozdělena do tří oblastí snímání, komunikace a zpracování dat, které jsou vykonávány senzory, procesorem a transceiverem.

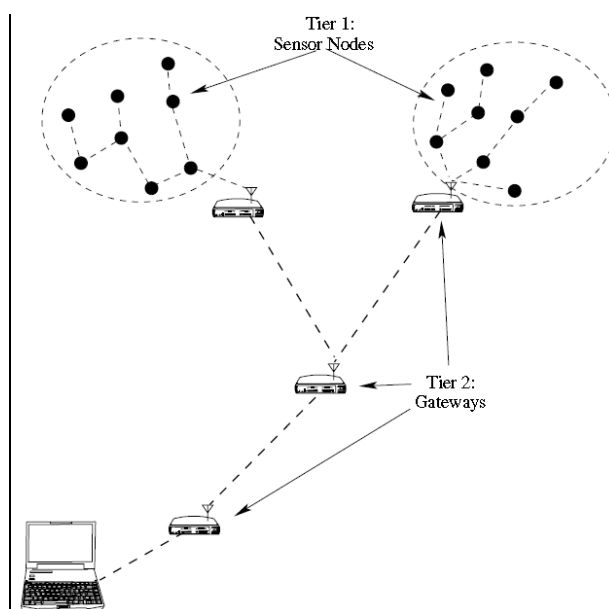


## 7 APLIKACE SENZOROVÝCH SÍTÍ V ENVIROMENTÁLNÍCH STUDIIÍCH

Všeobecné koordinační schopnosti senzorových sítí jsou využívány při realizaci nejrůznějších aplikací týkajících se životního prostředí. Tyto aplikace zahrnují sledování pohybu ptáků, malých zvířat a hmyzu, monitorování podmínek prostředí, které ovlivňují plodiny a hospodářská zvířata, zavlažování, prostředky pro monitorování rozsáhlých území a planetární výzkum, chemicko-biologické detekce, precizní zemědělství, monitoring biologického, půdního a vodního prostředí, detekce lesních požárů, meteorologický nebo geofyzikální výzkum, komplexní biologické mapování prostředí a studie znečištění životního prostředí.

### 7.1 Great Duck Island

Projekt GDI(Great Duck Island) byl vyvinut ve spolupráci mezi univerzitou Atlantic a Intel Research Laboratory v Berkeley ke studiu množství a rozšíření mořského ptactva na Great Duck Island v Maine. Síť senzorů Mica je použita k měření obsazenosti hnízd a role mikroklimatických faktorů na výběr lokalit mořskými ptáky. Přesněji řečeno je obsazenost hnízd monitorována 1 – 3 dny stejně jako změny životního prostředí v období rozmnožování a odpovídající změny v chování ptáků. Senzorová síť v lokalitě Great Duck Island využívá dvouvrstvou hierarchickou architekturu jak je uvedeno na Obrázku 27.



Obrázek 27: Dvouvrstvá architektura senzorové sítě na Great Duck Island (WSN)

V první vrstvě jsou skupiny snímačů používány k získávání informací. V této vrstvě jsou využity Mica Weather Boards, které obsahují čidla teploty, barometrického tlaku, vlhkosti, intenzity osvětlení a radiace. Přesněji řečeno jsou tyto senzory použity ke dvěma

účelům: senzory v hnízdech zjišťují obsazenost hnízd pomocí bezkontaktních infračervených radiačních a teplotních/vlhkostních senzorů, zatímco senzory snímající počasí jsou využity k monitorování mikroklimatu. Každá skupina snímačů je připojena k bráně, která shromažďuje naměřená data a zasílá je do druhé úrovně. Druhá úroveň se skládá z brán, které zajišťují spojení mezi skupinami senzorů a vzdálenou základnovou stanicí prostřednictvím „point-to-point“ komunikace na velkou vzdálenost. K tomuto účelu slouží dvě platformy: vestavěný linuxový systém vybavený kartou IEEE 802,11 a 12 dBi všesměrovou anténou s dosahem 30,5 m. Kromě toho jsou Mica uzly vybaveny 916 MHz směrovou anténou s dosahem 365,75m. Základnová stanice je připojena k internetu prostřednictvím satelitu, který umožňuje přístup k bezdrátové sensorové síti. Projekt GDI proběhl v roce 2002 a poskytl základní informace o charakteristikách mořského ptactva.

## 7.2 Monitoring sopečné činnosti

Senzorové sítě se také používají v extrémních podmínkách, kdy není možný nepřetržitý lidský přístup. Monitoring sopečné činnosti je příkladem těchto extrémních aplikací, kde může být nasazena sensorová síť u aktivních sopek k průběžnému sledování jejich činnosti a může poskytovat data v rozsahu a rozlišení, které dříve s existujícími nástroji nebylo možné.

V letech 2004 – 2005 byly provedeny dvě případové studie na dvou sopkách v Ekvádoru na důkaz využitelnosti aplikací sensorových sítí v monitorování sopečné činnosti. V roce 2004 byla použita malá sensorová síť o třech uzlech vybavená mikrofony, která sloužila ke sledování sopečné erupce sopky Tangurahua ve středním Ekvádoru. V roce 2005 byla použita sensorová síť o 16 uzlech TMote Sky vybavených seismickými a akustickými senzory. Po dobu 19 dnů sledovala sensorová síť činnost aktivní sopky Volcán Reventador v severním Ekvádoru. Sensorové uzly byli vybaveny vysokovýkonnou, externí anténou pro lepší dosah a třemi dálkovými komunikačními uzly pro přenos dat do centrálního řídicího střediska. Notebook vybavený směrovou anténou byl použit jako úložiště nashromážděných informací a k dálkovému spravování sítě. Cílem aplikace bylo sbírání seismických dat závislých na zemětřeseních v blízkosti sopky. Protože tato zemětřesení obvykle trvají méně než 60 sekund, byla u senzorů použita vysoká vzorkovací frekvence, tj. 100Hz, která omezuje lokálně uložených dat na 20 minut sopečné aktivity. Každý sensorový uzel používá lokální úložiště jako cyklickou vyrovnávací paměť a filtruje nasbíraná data krátkodobou/dlouhodobým průměrovou prahovou hodnotou pro stanovení událostí spojených s vulkanickou činností. Ve chvíli, kdy je generována událost, je ohlášena úložišti. Pokud jsou důvěryhodná data zaznamenána mnohočetným hlášením, úložiště pošle zpět příkaz ke sběru dat síti. V reakci na tento příkaz přenesou každý uzel informace uložené ve své paměti. V důsledku toho je přenášen velký objem dat do úložiště pouze v případě, je-li událost naměřena pouze malým počtem senzorů. To šetří místo úložiště i energii jednotlivých uzlů. Uzly

snímačů jsou synchronizovány pomocí FTSP(Flooding Time Synchronization protocol) a GPS jednotkami vybavenými MicaZ uzly k poskytnutí informací o umístění. Výsledkem této aplikace je poskytování důležitých informací týkajících se fyzikálních procesů při procesech uvnitř sopky.

### 7.3 Včasná detekce záplav

Senzorové sítě jsou také používány pro včasnou varovnou detekci povodní. Hlavní součástí stávajících systémů je účast osobního monitorování říčních koryt. Oproti tomu modelově založené predikční systémy mohou využívat statistických dat naměřených senzorovou sítí. Takovýto systém byl vyvinut na MIT a testován v Honduras, kde časté záplavy významně ovlivňují městský život. Monitoring povodní vyžaduje velkou plochu pokrytou senzory. Vzhledem k omezenému komunikačnímu rozsahu jednotlivých senzorů byla použita dvouvrstvá topologie sítě jak můžete vidět na obr. 27. Tři různé senzory jsou použity v nejnižší vrstvě sítě pro měření dešťových srážek, teploty vzduchu a průtoku. Tyto typy dat jsou potřebné pro predikční model. Všechny blízko umístěné senzory tvoří skupinu a jsou propojeny s druhou vrstvou komunikačních uzlů. Sběr dat a zpracování informací se provádí na výpočetních uzlech, které informují třetí vrstvu, tedy kontrolní středisko, v případě možné povodně. Celkově jsou v systému použity čtyři různé typy uzlů. Každý uzel má stejně založený systém zahrnující mikroprocesor a transceiver, ale je vylepšen pomocí sister-board podle jeho funkce:

- **Snímací uzel:** Tento uzel je vybaven jedním z čidel sledujícím srážky, teplotu vzduchu nebo průtok vody a shromažďuje informace v řádově minutových intervalech. Každý uzel je vybaven 900MHz transceiverem a předává data výpočetnímu uzlu. Zatímco srážkové a teplotní senzory jsou nad zemí, data o průtoku vody vyžadují podvodní měření. Stav vodní hladinu lze snadno změřit přímo uvnitř vodním toku. Je měřen pomocí tlakového čidla připojeného na základní desce a umístěného pod hladinou.
- **Výpočetní uzel:** každá skupina blízko umístěných senzorů je připojena na výpočetní uzel. Výpočetní uzel má v síti dvě hlavní funkce. Zaprvé je soubor dat získaných ze skupiny senzorů je dosazen do predikčního modelu, který odhaduje říční tok. V případě, že předpověď není pravděpodobná, požaduje výpočetní uzel další informace ze snímacích uzlů. Zadruhé výpočetní uzel poskytuje komunikaci mezi skupinou senzorů a kontrolním a monitorovacím uzlem na velkou vzdálenost přes 144MHz transceiver. Informace získané z různých skupin snímacích uzlů jsou sbírány uzly rozhraní. Přes dálkové komunikační techniky mohou výpočetní uzly přímo dosáhnout na uzly rozhraní. Tento dvouvrstvý přístup zlepšuje škálovatelnost systému.
- **Uzel rozhraní:** Tento uzel poskytuje uživatelské rozhraní k síti prostřednictvím vizualizace dat a umožňuje správu a údržbu sítě. Předpovědi

ve větším měřítku lze dosáhnout pomocí údajů získaných z mnoha čidel rozmístěných na různých místech.

## **7.4 Monitorování jevů v těžko dostupném prostředí**

Na kalifornské univerzitě v Berkley jsou bezdrátové sensorové sítě používány ke studiu sekvojí. Od roku 2003 začali využívat miniaturní bezdrátové senzory pro měření veličin jako je vlhkost, teplota a světlo, které jsou důležité pro růst sekvojí. V první fázi bylo na 3 sekvoje umístěno 50 senzorů kontrolujících tyto veličiny. V další fázi byli použity senzory snímající pohlcování mlhy a vody, pro získání informací o geografické poloze sekvojí. Zkoumají závislost mezi mlhami a plesnivěním a následným úhynem těchto stromů.

## **7.5 Lavinový výstražný systém měřící rychlostní spektra**

Systém použitý ve Flateyri na Islandu měří rychlost částic sněhu v proudící lavině sněhu pomocí mikrovlnného CW Doplerova radaru. Systém měří pohyb laviny v rozsahu větším než 500m. Pro získání většího prostorového rozlišení a rozsahu může být druhý radar umístěn 500m do kopce od prvního radaru. Úhel pohledu na radar činí cca. 10°. Před radarem by neměli být žádné stromy, nebo objekty, které by se mohli pohybovat ve větru. Rozsah rychlostí měřených systémem je 5 – 80m/s v rozlišení 1,5m/s. Systém je schopen rozpoznat lavinový pohyb který vede ke spuštění rozšířeného měřicího cyklu a umožňuje uložit až několik desítek událostí, z nichž každá se skládá z 54 rychlostních spekter. Jedno průměrné rychlostní spektrum je uloženo za cca. 1,5s v hlavním měřicím cyklu a méně často během průběžného měřicího cyklu. Všech 54 rychlostních spekter je uloženo během cyklu trvajícího 120s. Rychlostní spektra a typické rychlosti jsou přeneseny s řídicím a systémovým výkonem do základní stanice v pravidelných intervalech nebo ihned po měření.

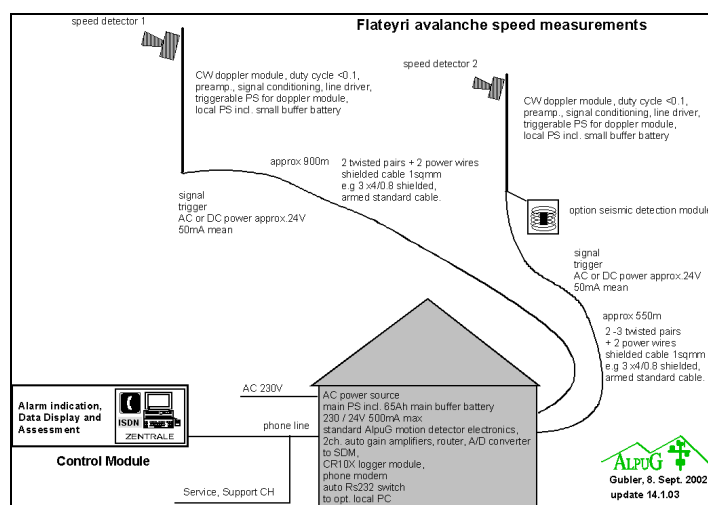
Systém je postaven na modulech použitých ve Švýcarsku pro výstražný systém pro zastavení silniční a železniční dopravy v případě zjištění laviny. Přenos dat a řízení systému jsou zprostředkovány pomocí spojení RS232 a telefonního spojení. Jsou k dispozici i další řešení. Systém je napájen síťově i záložní baterií. Průměrná spotřeba systému je menší než 50mA při 12V. V závislosti na konfiguraci a kapacitě baterií zůstane systém funkční po dobu 30 dnů v případě výpadku síťového napájení nebo může být provozován pouze z baterií a solární energie. V létě mohou být baterie nabíjeny solárními panely. Při napájení pouze z baterie v zimním období, by měl být radarový systém připraven pomocí dálkového příkazu pouze v obdobích zvýšeného nebezpečí, které v průběhu zimy nepřesahují 1 měsíc v období bez slunečního svitu. Systém Flateyri bude připojen k síťovému napájení se záložní kapacitou na 30 dní a bude automaticky vypnut před vybitím baterií.

Datalogger je založen na dataloggerech Campbell Scientific a speciální elektronice z AlpuG. Počítač s operačním systémem WIN2000/98 nebo XP vybavený telefonním modemem nebo RS232 portem je používán jako základní stanice. Jsou samozřejmě k dispozici další možnosti včetně Ethernet LAN/WAN. Stožár o výšce 5-6 m, v závislosti na místě, o průměru 219 mm, navržen tak, aby odolal síle větru a možné prašanové lavině musí být instalován jako podpora radaru a elektronických boxů. Anténa radaru má délku cca 0,7 m a průměr asi 0,3 m. Anténa není navržena tak, aby odolala plně rozvinuté prašanové lavině. Software základní stanice řídí přenos dat, zobrazuje laviny a řídící data a umožňuje úplnou kontrolu nad systémem vzdáleného dataloggeru, včetně podmínek spouštějících rozšířené měření a dálkové ovládání radarového modulu.

Systém měření rychlosti lze snadno integrovat do kompletní výstražné a kontrolní lavinové sítě. Kompletní výstražný a kontrolní systém bude navíc zahrnovat meteorologické přístroje a specifické přístroje pro měření sněhu.

### Základní sestava

Základní sestava se skládá ze dvou radarových modulů a elektronických boxů. Radarové moduly jsou upevněny na stožáru. Jsou snadno nastavitelné ve všech směrech. Moduly jsou vzduchotěsné a jsou vybaveny odvlhčujícími balíčky. Také jsou vybaveny systémem vyrovnávání tlaku zabraňující vysokým tlakovým rozdílům mezi vnitřní nádobou a okolím. Moduly obsahují systém radarových antén, radarové moduly, předzesilovač, ovládání napájení, spouštěcí systém a malé záložní baterie. Jednotlivé moduly jsou propojeny kabelem s centrálním řídicím modulem v elektronickém boxu. Podrobněji informace jsou uvedeny v Obrázku . Centrální řídicí modul obsahuje všechnu potřebnou elektroniku pro sběr dat, analýzu, ukládání, spouštění, alarm, elektrické ovládání a komunikaci. Tento systém musí být připojen k hlavnímu vypínači. Komunikace je zprostředkována pomocí telefonního modemu a RS232. Systém automaticky přepíná mezi dvěma porty a je plně dálkově ovladatelný.

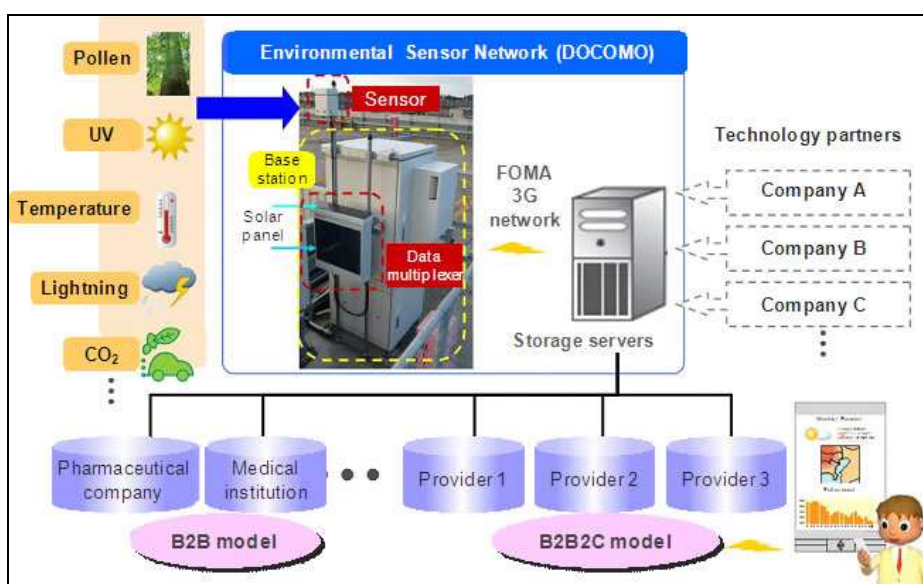


Obrázek 28: Základní sestava lavinového výstražného systému ve Flateyri

## 7.6 DOCOMO sensorová síť pro sledování životního prostředí

Japonská společnost NTT DOCOMO, INC spustila 21.12.2009 v Tokiu zkušební provoz sítě senzorů sledujících životní prostředí. Sensorová síť monitoruje pyl, oxid uhličitý, ultrafialové sluneční záření (UV) a další atmosférické podmínky, viz. Obr. 29, které mohou mít vliv na lidské zdraví a každodenní život. DOCOMO poskytuje data pro použití v nejrůznějších komerčních aplikacích, jako je předpověď počasí a další informační služby pro farmaceutické firmy, zdravotnická zařízení a městskou veřejnou správu.

DOCOMO je největší a nejhustší sensorovou sítí svého druhu v Japonsku. Sada senzorů bude nainstalována na 300 místech v regionu Kanto v okolí Tokia. Tato síť by měla být rozšířena na 2500 míst do konce března roku 2011 a v konečné fázi by měla čítat 9000 míst.



Obr. 29: Infrastruktura sensorové sítě DOCOMO (<http://www.nttdocomo.com>)

## 7.7 Projekt SEAMONSTER

SEAMONSTER (The South East Alaska Monitoring Network for Science, Telecommunications, Education, and Research) je pozemní a námořní geo-vědní výzkumný program původně provozovaný na Univerzitě Alasky Southeast v Juneau. Během 3 let počátečního provozu byl kladen důraz na pozemní hydrologické poměry v povodích pokrytých ledovcem a na obnovu dat ze senzorů v reálném čase prostřednictvím rádiové telemetrie a senzorových síťových technologií. Největším technologickým úspěchem SEAMONSTERu je nepřetržitý provoz sítě déle, než dva roky včetně období zimy.

Sít' sleduje tyto fyzikální jevy:

- zakalení vody pomocí podomácku vyrobeného snímač zakalení
- teplotu vody a vzduchu a relativní vlhkost pomocí zařízení Tmote Sky se senzorem Sensirion T/RH ,
- intenzitu světla pomocí Tmote Sky balíku obsahujícího dvě Hamamtsu světelná čidla: fotosynteticky aktivní záření (PAR) a celkové sluneční záření (TSR).
- hydro-chemii pomocí senzorů LISST
- hloubku vody pomocí senzorů Druck PDCR 1230 a Global Water WL15
- seismickou činnost

## 7.8 Nízkonákladové profilování teploty – Micro-T Mooring Systém

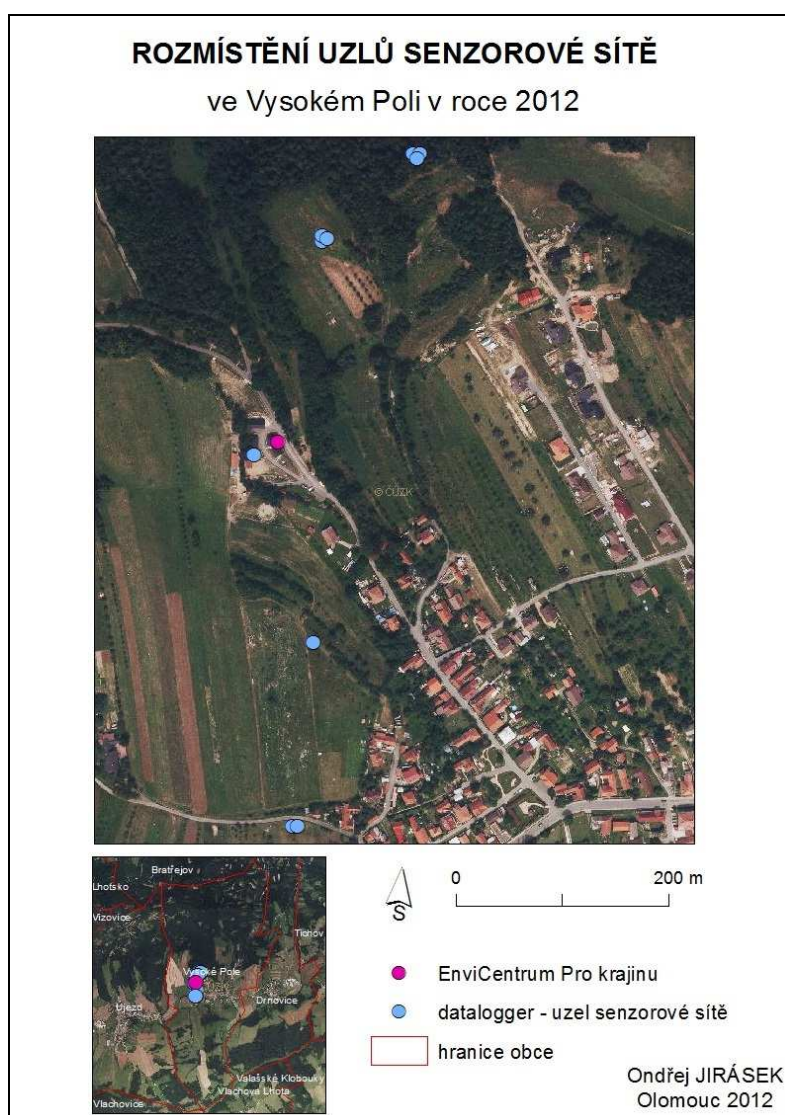
Teplota vody má mnoho důležitých účinků na biologické, chemické a fyzikální vlastnosti vody. Teplota je závislá na teplotě vzduchu, slunečním záření, větru a hloubce vody. Továrny a elektrárny generují obrovské množství horké vody, která je obvykle vypouštěna do potoků a řek. Jestliže voda není chlazena na bezpečnou úroveň před vypuštěním, bude klesat hladina rozpuštěného kyslíku a biochemická spotřeba kyslíku se zvýší. Stručně řečeno organizmy mohou mít málo kyslíku pro přežití.

Malá továrna hledala efektivní řešení teplotního profilování na nedalekém jezeře. Manažeři chtěli sledovat teplotu v různých hloubkách, aby se ujistili, že vodní odpad, který vypouštějí neovlivňuje vodní ekosystém. Na základě místních podmínek a rozpočtových omezení, NexSens technici doporučili Micro-T Mooring (kotevní) systém, který je ideálním řešením pro efektivní studium profilování teploty.

NexSens Micro-T kotevní systém se skládá z mikro-T teplotních dataloggerů s vodotěsnými pouzdry namontovanými na provaze k vytvoření teplotního řetězce. Micro-T loggery měří s přesností  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  a může fungovat mnoho let (v závislosti na intervalu vzorkování). Loggery umožňují uchování až 4096 záznamů. Micro-T software umožňuje konfigurovat vzorkovací možnosti každého loggeru, jako jsou měřicí interval, čas zahájení, či přehrávání naměřených dat. Pro odpovídající profilování teploty jsou loggery naprogramovány sběr dat ve stejném čase. Management továrny odpadních vod se může měnit v závislosti na výsledcích této studie.

## 8 NÁVRH A REALIZACE SENZOROVÉ SÍTĚ ZAMĚŘENÉ NA SRÁŽKO-ODTOKOVÉ POMĚRY VE VYSOKÉM POLI

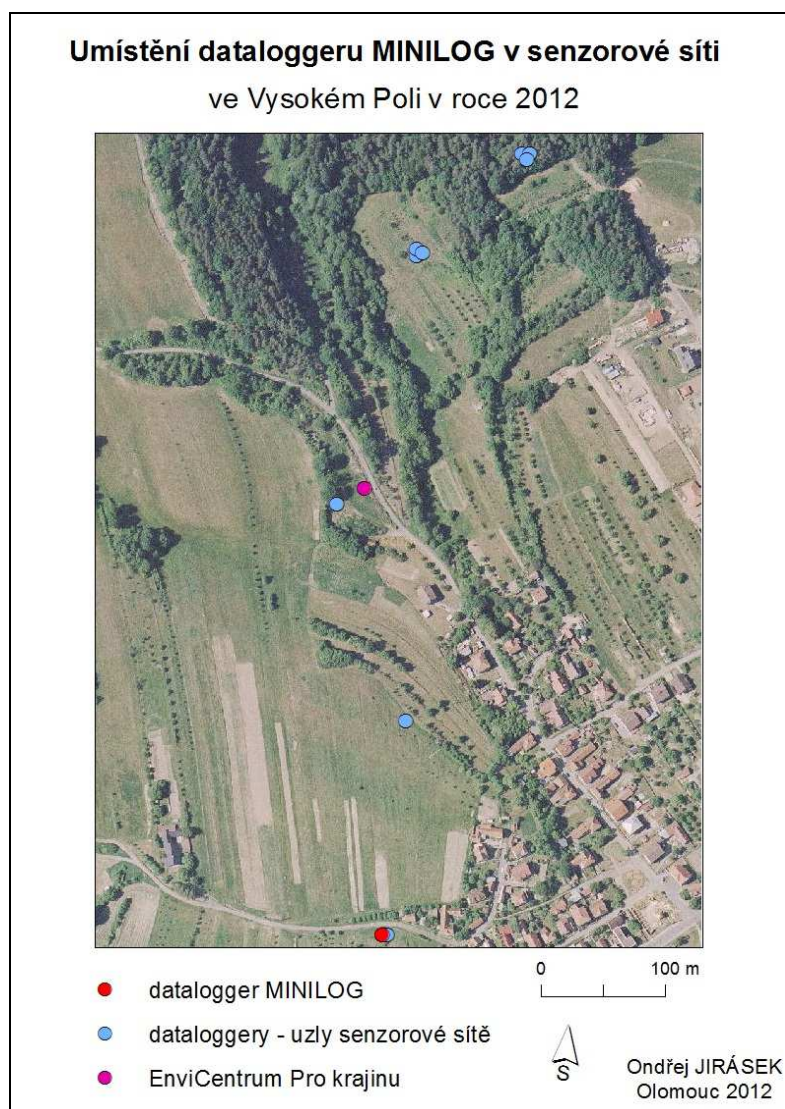
Při návrhu sensorové sítě zaměřené na srážko-odtokové poměry ve Vysokém Poli byli vybrány a použity dostupné datalogery a senzory z KGI na UP v Olomouci, které snímají veličiny související se srážko-odtokovými poměry. Pro tuto aplikaci byli vybrány senzory snímající vlhkost půdy, teplotu půdy, intenzitu srážek, teplotu vzduchu a výšku hladiny. V této kapitole bude popsáno ideální umístění jednotlivých senzorů a datalogerů a jejich skutečné umístění ve Vysokém Poli, které podléhalo různým terénním, praktickým a majetko-právním omezením.



Obr. 30: Přehledová mapa rozmístění uzlů sensorové sítě ve Vysokém Poli



## 8.1 Datalogger MINILOG



Obr. 31: Mapa umístění dataloggeru MINILOG

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.2.1 na straně 30.

Pro naši aplikaci byla vybrána studna zabezpečená betonovým poklopem ležící na souřadnicích  $17^{\circ}55'56,525''E$   $49^{\circ}10'38,908''N$ , čímž byly opatřeny všechny negativní vlivy, tedy mechanické poškození kabelů, teplotní vlivy a zcizení přístroje.



Obr. 32: Umístění dataloggeru MINILOG a senzoru pro měření výšky hladiny ve studni ve Vysokém Poli

Pro připojení PC (notebooku) s programem MOST slouží konektor M8 umístěný na konci MINILOGU. Veškerá komunikace probíhá přes sériového rozhraní RS-232. Prostřednictvím programu MOST lze z připojeného PC měnit parametry přístroje, načítat archivovaná data i okamžité měřené hodnoty, provádět inicializace parametrických skupin a některé další funkce. Základním programovým produktem, který zajišťuje agendu spojenou s údržbou a s vytvářením parametrických i datových souborů, je program MOST. Všechny přenosy dat přes RS232, ať se jedná o parametry nebo o změřené hodnoty, se přenášejí pod protokolem FINET (binární protokol s pevným rámcem). MINILOG byl využit pro snímání teploty půdy a výšky hladiny pomocí tlakového snímače. Program MOST zajišťuje načtení archivovaných dat, jejich tabulkové a grafické zobrazení a uložení načtených dat do textového souboru, průměrování dat, vyhledávání mezních hodnot, parametrizaci MINILOGU, načítání a zobrazování aktuálních měřených hodnot při instalaci čidel a jejich kontrole.

Do dataloggeru MINILOG byly zapojeny následující senzory:

### **8.1.1 Tlakový snímač výšky hladiny LMP307**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.2 na straně 37.

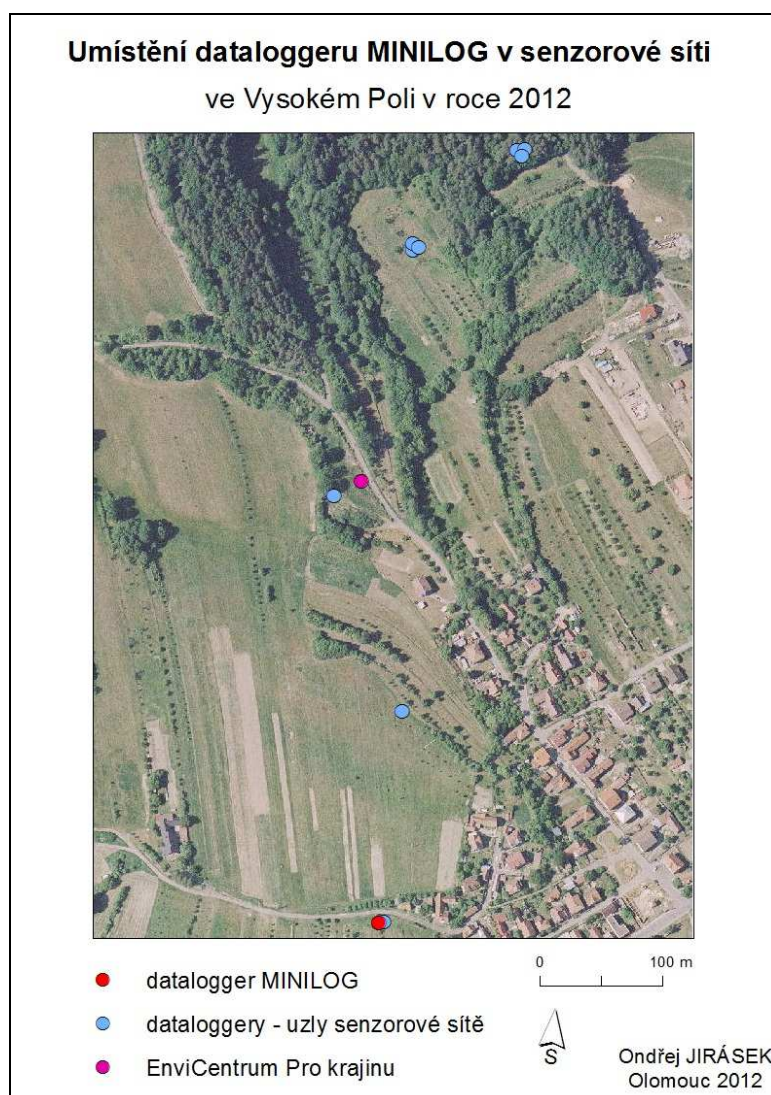
V našem případě se jedná o výše zmíněnou studnu, která nepotřebuje kvůli vyšší viskozitě vody sejmutí ochranné krytky. Tlakový snímač je nutné umístit na dno, popřípadě aspoň do takové výšky, pod kterou hladina nikdy neklesne, pokud je známá vzdálenost senzoru ode dna. V našem případě je senzor umístěn přímo u dna studny.

### **8.1.2 Teploměr PT100-XM**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.3 na straně 38.

Jelikož byl k MINILOGU připojen pouze jeden senzor PT100-XM, byla pro naši aplikaci zvolena hloubka 10 cm, od které se do budoucna dají odvodit teploty nižších vrstev a senzor byl umístěn v rovině na východní straně studny. Tím pádem lze po nějaké době určovat teplotu půdy v reálném čase ve všech hloubkách.

## 8.2 Datalogger EM50



Obr. 33: Mapa umístění dataloggeru EM 50

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.2.4 na straně 35.

EM 50 je napájen 5AAA alkalickými nebo lithiovými bateriemi. Data jsou stahována do počítače či mobilního zařízení pomocí kabelu s rozhraním jack 3,5mm/USB a zpracovány pomocí softwaru ECH<sub>2</sub>O Utility, ECH<sub>2</sub>O Utility Mobile nebo DataTrac.

Tento datalogger určený pro senzory společnosti Decagon byl také umístěn u studny na souřadnicích 17°55'56,525"E 49°10'38,908"N na východní straně skruže, z důvodu získání všech potřebných dat z jedné lokality v rámci sensorové sítě. EM50 byl zabalen do igelitu a přikryt drnem trávy kvůli vlhkosti, případné krádeži, či úmyslnému poškození.

Do tohoto dataloggeru bylo umístěno 5 senzorů EC5 na měření půdní vlhkosti.

### 8.2.1 Decagon EC 5

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.5 na straně 40.

Jelikož v naší aplikaci nešlo o řízení závlah, ale spíš modelování vlhkosti v okolí studny, a bylo k dispozici 5 těchto senzorů, byly zvoleny hloubky půdy pro měření 10, 20, 30, 40 a 50 cm. Sensory byly umístěny pod sebe do vrtu v rovině na východní straně skruže studny.



Obr. 34: Rozmístění senzorů EC 5 ve Vysokém Poli

### 8.3 Varovná srážkoměrná stanice TS-200



Obr. 35: Mapa umístění srážkoměrné stanice TS-200

Technické parametry stanice jsou popsány v kapitole 3.1.4 na straně 28.

Srážkoměrná stanice se těžko maskuje a je tedy těžké její ošetření vůči krádeži či úmyslnému poškození. Proto byl v našem případě vybrán vrchol přibližně 2 metry východně od svahu se souřadnicemi  $17^{\circ}55'56,537''E$   $49^{\circ}10'44,539''N$ , obehnaný plotem s elektrickým napětím na dostatečně odlehlem místě, aby nebyla nápadná. Toto místo v kombinaci s použitím stojanu S201 s betonovou základnovou dlaždicí splňuje podmínky pro správné měření. Výlevka je chráněna před zanesením spirálou.

Stanice STELA je nastavitelná a předává změřené hodnoty prostřednictvím GSM/GPRS komunikace do databáze na server. Nastavení parametrů i čtení naměřených data je možné provádět i lokálně přes připojené PC nebo notebook komunikačním kabelem prostřednictvím rozhraní RS-232 a konektoru K1. Nastavení parametrů záznamových kanálů i všech ostatních parametrů včetně nastavení podmínek pro automatické zasílání varovných SMS se provádí prostřednictvím programu MOST. Parametry lze měnit z PC (notebooku) po připojení kabelem nebo na dálku datovým voláním v síti GSM nebo prostřednictvím webového prohlížeče a datového serveru.

Na srážkoměrnou stanici je dále zapojen snímač půdní vlhkosti VIRRIB.

### **8.3.1 VIRRIB**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.7 na straně 41.

Jelikož se v naší aplikaci nejedná o zavlažování rostlin, nebereme v potaz průsak, bylo možné využít u srážkoměrné stanice pouze jeden tento snímač, pro který byla podle doporučení manuálu zvolena hloubka 10cm. Tento senzor byl umístěn východně od srážkoměrné stanice na rovné ploše na vrcholu svahu

## 8.4 MINICUBE



Obr. 36: Mapa umístění dataloggeru MINICUBE

Technické parametry stanice jsou popsány v kapitole 3.2.3 na straně 34.

Pro tento datalogger byla vybraná lokace přímo v areálu EnviCentra Pro krajinu ve Vysokém Poli na souřadnicích  $17^{\circ}55'53,218''E$   $49^{\circ}10'50,04''N$  v mírném svahu orientovaném na jihovýchod. Datalogger byl uzavřen do robustní plastové skříně s krytím IP66 spolu s napájecím akumulátorem a přípojnou deskou a připevněn na kovovou tyč ve výšce přibližně 1,5 metru.

K tomuto dataloggeru byli připojeni následující senzory:

#### **8.4.1 EMS 11, radiační senzor**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.8 na straně 43.

Tento senzor byl připevněn k půl metrové dřevěné lati směřující kolmo od kovové tyče pro uchycení dataloggeru v výšce přibližně 1,5 metru.

#### **8.4.2 Teploměr PT100-XM**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.3 na straně 38.

Jelikož byl k MINICUBE připojen pouze jeden senzor PT100-XM, byla pro naši aplikaci zvolena hloubka 10 cm, od které se do budoucna dají odvodit teploty nižších vrstev. Tím pádem lze po nějaké době určovat teplotu půdy v reálném čase ve všech hloubkách. Senzor byl umístěn v mírném svahu orientovaném na jihovýchod.

#### **8.4.3 VIRRIB, snímač půdní vlhkosti**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.7 na straně 41.

Jelikož se v naší aplikaci nejedná o zavlažování rostlin, nebereme v potaz průsak, bylo možné využít u srážkoměrné stanice pouze jeden tento snímač, pro který byla podle doporučení manuálu zvolena hloubka 10 cm. Tento senzor byl umístěn jižně od dataloggeru v mírném svahu.

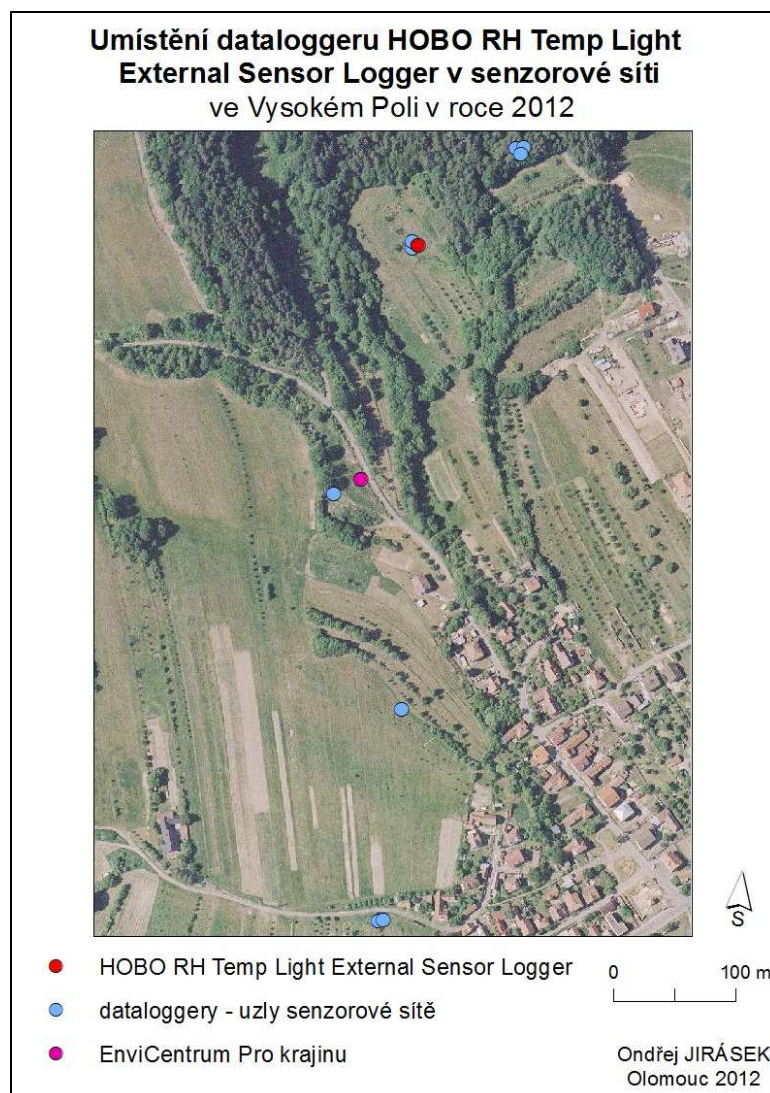
#### **8.4.4 EMS 33, teplotní senzor**

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.6 na straně 41.

Jelikož nás nezajímá přízemní teplota vzduchu, byl podle meteorologických standardů umístěn senzor 2 metry nad zemí na kovovou tyč nesoucí také datalogger. Abychom zabránili ovlivňování měření teploty slunečními paprsky, byl senzor umístěn do bílého žaluziového meteorologického krytu.



## 8.5 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger

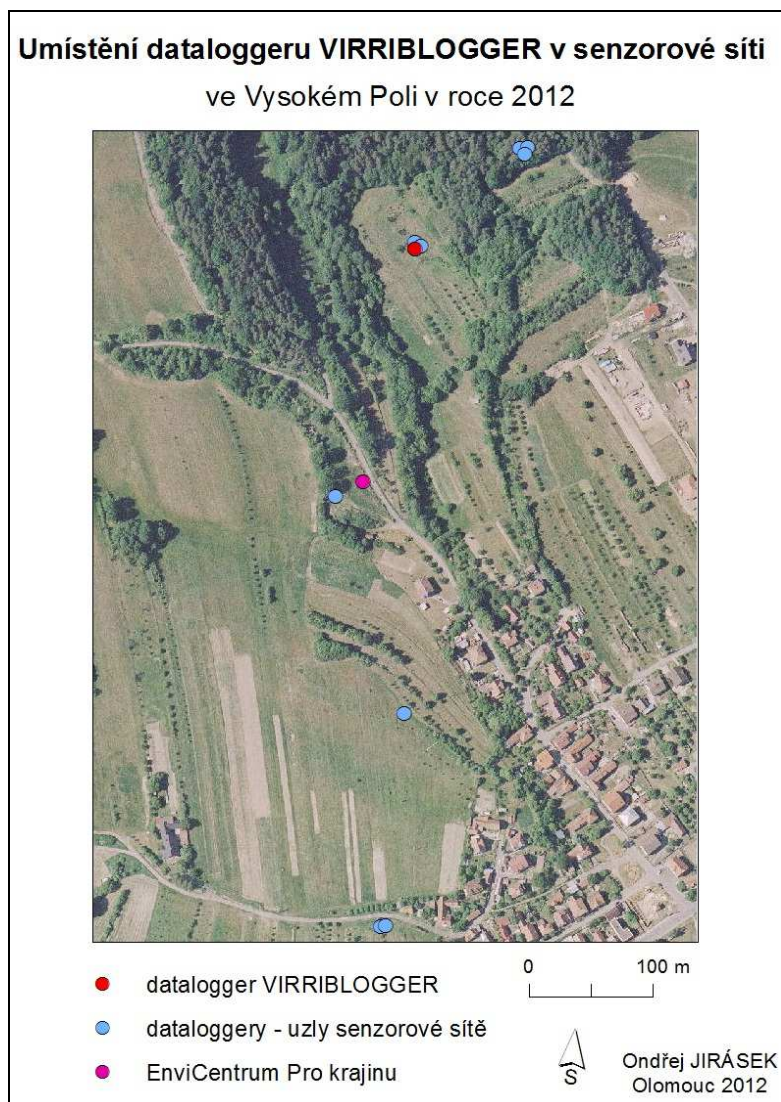


Obr. 37: Mapa umístění HOBO RH Temp Light External Sensor Loggeru

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.3.9 na straně 43.

Jelikož nás nezajímá přízemní teplota vzduchu, byl datalogger se senzorem měřícím teplotu vzduchu podle meteorologických standardů umístěn 2 metry nad zemí na kovovou tyč nacházející se na souřadnicích  $17^{\circ}55'59,501''E$   $49^{\circ}10'59,44''N$ . Tato lokalita byla vybrána blízko lesa na mýtině, kde byli umístěny další senzory, aby bylo možné měřit více veličin na jednom místě. Abychom zabránili ovlivňování měření teploty slunečními paprsky, byl senzor umístěn do bílého žaluziového meteorologického krytu.

## 8.6 VIRIBLOGGER



Obr. 38: Mapa umístění dataloggeru VIRIBLOGGER

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.2.2 na straně 33.

Tento datalogger byl umístěn na stejném místě jako HOBO RH datalogger, tedy na mýtině poblíž lesa na souřadnicích  $17^{\circ}55'59,501''E$   $49^{\circ}10'59,44''N$ . Do tohoto dataloggeru byly zapojeny 4 senzory VIRIB. VIRIBLOGGER komunikuje s počítačem prostřednictvím sériového portu. Data jsou v našem případě stahována do počítače prostřednictvím kabelu jack 3,5 mm/ USB.

## 8.6.1 VIRRIB

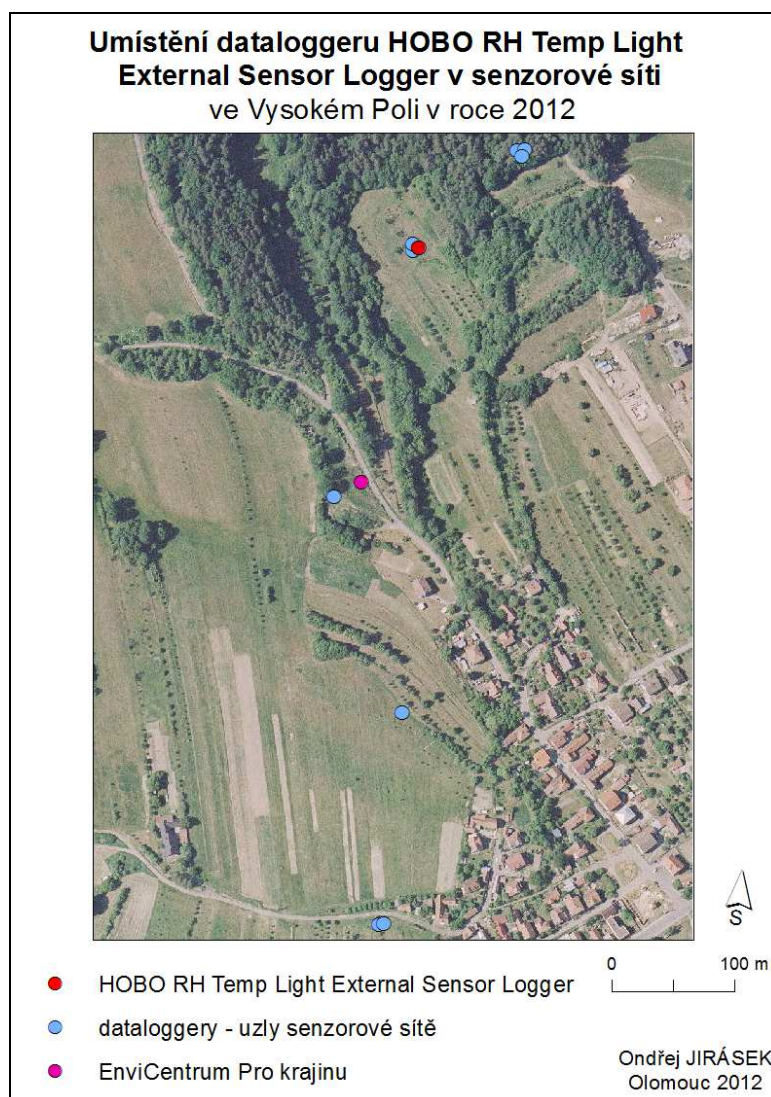
Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.3.7 na straně 41.

4 senzory VIRRIB byli umístěny v mírném svahu s jihozápadní orientací na mýtině poblíž lesa na souřadnicích 17°55'59,501"E 49°10'59,44"N do hloubek 10, 20, 30 a 50 cm.



Obr. 39: Umístění senzorů VIRRIB ve Vysokém Poli

## 8.7 HOBO Event datalogger – srážkoměr Amet



**Obr. 40:** Mapa umístění HOBO Event dataloggeru

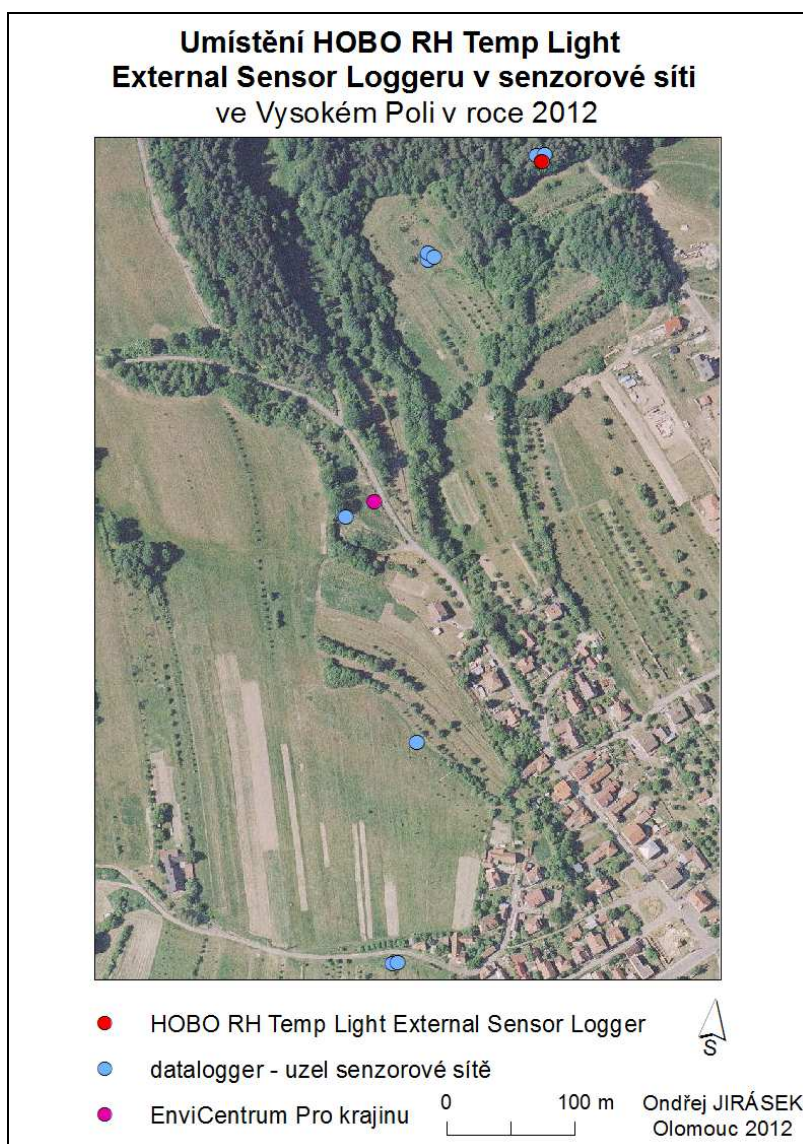
Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.3.10 na straně 45.

Tento datalogger se srážkoměrem Amet je umístěn na kovové tyči v přibližné výšce 1,5 m na mýtině blízko lesa na souřadnicích 17°55'59,501"E 49°10'59,44"N. Srážkoměr byl opatřen sítkou proti zanesení.



Obr. 41: Srážkoměr Amet s dataloggerem HOBO Ebeny

## 8.8 HOBO RH Temp Light External Sensor Logger



Obr. 42: Mapa umístění HOBO RH Temp Light External Sensor Loggeru

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.3.9 na straně 43.

Jelikož nás nezajímá přízemní teplota vzduchu, byl datalogger se senzorem měřícím teplotu vzduchu podle meteorologických standardů umístěn 2 metry nad zemí na kovovou tyč nacházející se na souřadnicích 17°55'59,468"E 49°10'59,535"N. Tato lokalita se nachází v lese a byla vybrána, aby bylo možné porovnat data a rozdíly dvou odlišných prostředí.

## 8.9 ALA module



Obr. 43: Mapa umístění datalogeru ALA module

Technické parametry dataloggeru jsou popsány v kapitole 3.2.5 na straně 36.

ALA module datalogger je umístěn na stejném místě a na stejné kovové tyči jako HOBO RH Temp Light External Sensor Logger popsáný výše, tedy v lese na souřadnicích 17°55'59,468"E 49°10'59,535"N. Na datalogger jsou připojeny následující senzory.

### 8.9.1 PT100-XM

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.3 na straně 38.

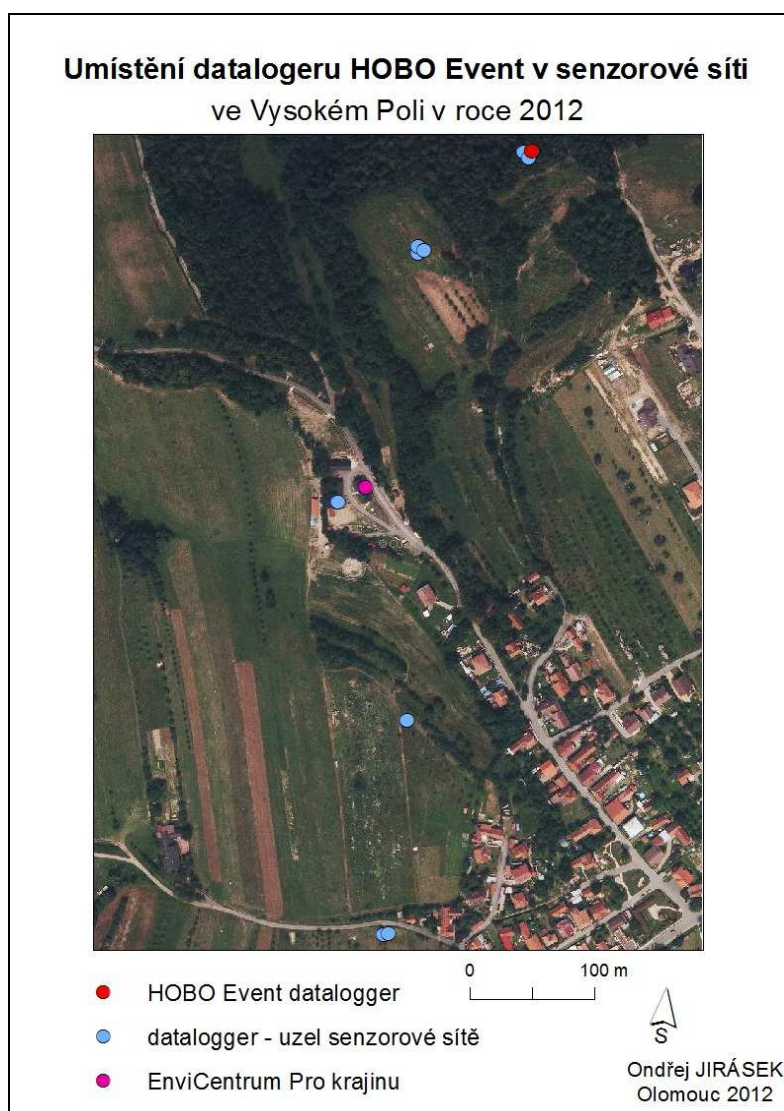
K ALA module dataloggeru bylo zapojeno 5 půdních teploměrů PT100-XM. Z tohoto důvodu byly zvoleny hloubky měření 10, 20, 30, 40 a 50 cm.

## 8.9.2 VIRRIB – snímač půdní vlhkosti

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.7 na straně 41.

K ALA module dataloggeru byly zapojeny 2 tyto senzory a byly zvoleny hloubky měření 10 a 30 cm.

## 8.10 HOBO Event datalogger se srážkoměrem Amet

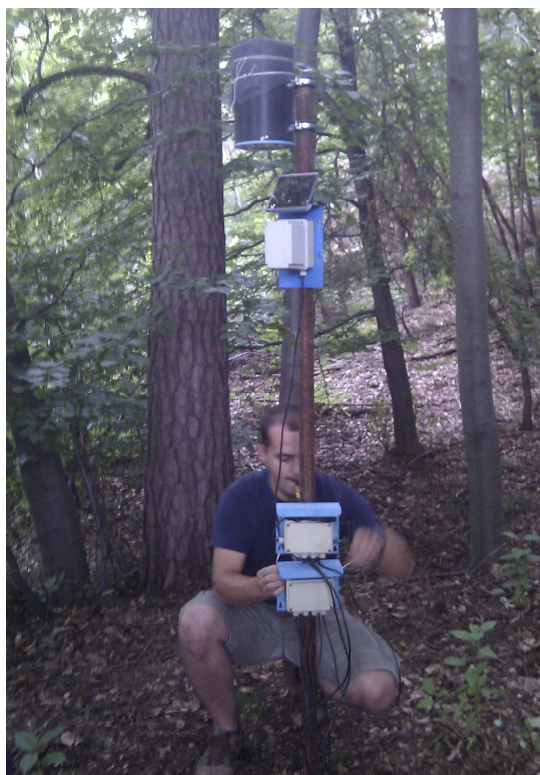


Obr. 44: Mapa umístění HOBO Event dataloggeru se srážkoměrem Amet

Technické parametry senzoru jsou popsány v kapitole 3.3.10 na straně 45.



Datalogger se srážkoměrem je umístěn na stejném místě a na sejné kovové tyči jako HOBO RH Temp Light External Sensor Logger a ALA module popsané výše, tedy v lese na souřadnicích 17°55'59,468"E 49°10'59,535"N.



Obr. 45: Umístění dataloggerů ALA module, HOBO Event datalogger a HOBO RH Temp Light External Sensor Logger ve Vysokém Poli

## 9 JEDNODUCHÉ SRÁŽKO-ODTOKOVÉ ANALÝZY

V rámci enviromentálních studií můžeme pomocí senzorů sledovat a modelovat různé přírodní jevy a děje. V rámci naší aplikace sensorové sítě se budeme zaměřovat na jednoduché srážko-odtokové analýzy týkající se eroze půdy. Jedná se o index API a parametr IPS (index předchozích srážek) využívané v metodě čísel odtokových křivek (CN).

Metoda CN křivek byla odvozena v USA pro Službu na ochranu půdy. Jedná se o srážko-odtokový model se snadno zjistitelnými vstupy, díky němuž můžeme stanovit objem přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodí do 5 - 10 km<sup>2</sup>.

Využitím hodnoty CN můžeme určit, zda ve sledované lokalitě dochází k přímému odtoku a jaká je jeho velikost. Čím je hodnota čísla CN vyšší, tím pravděpodobnější je výskyt povrchového odtoku.

Metoda CN křivek určuje objem odtoku a předpokládá, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky je roven poměru objemu vody, která může být zadržena při odtoku vzhledem k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok nezačíná okamžitě, ale až po počáteční ztrátě, která je podle Janečka (2007) součtem intercepce, infiltrace a povrchové retence. Po sérii experimentálních měření byla počáteční ztráta stanovena na 20% potenciální retence.

Základní vztah počítající objem přímého odtoku ( $H_0$ ) vyjádřil Janeček (2007) vztahem:

$$H_0 = (H_s - 0,2A)^2 / (H_s + 0,8A), H_s = 0,2A \text{ nebo } H_s > 0,2A \quad (7)$$

kde:  $H_0$  je přímý odtok [mm]

$H_s$  je úhrn návrhového deště [mm]

$A$  je potenciální retence (mm), vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek takto:

$$A = 25,4(1000/CN - 10) \quad (8)$$

Pro vypočtení parametru IPS, indexu API a následnou triangulaci pro odvození hodnot pro EnviCentrum ve Vysokém poli byli použity 3 srážkoměrné, kterým byly přiděleny identifikátory 1, 2 a 3. Jejich polohu můžete vidět v mapě na Obr. 46.



Obr. 46: Rozmístění srážkoměrných stanic pro výpoče indexu API a parametru IPS

## 9.1 Parametr IPS – index předchozích srážek

Tato metoda využívá 5denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve stupních, kdy IPS I odpovídá takovému minimálnímu obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena vodou z předcházejících dešťů. Pro návrhové účely se uvažuje IPS II pro střední nasycení vodou (Janeček, M.). Metoda IPS se v modelech pro určení obsahu vody v půdě používá zřídka. Přehled skupin IPS je zobrazen v Tabulce 21.

Tabulka 21: Přehled skupin IPS (Janeček, M., 2007)

Index IPS	Celkový úhrn předchozích srážek v [mm] za 5dnů v období	
	Mimovegetační	Vegetační
I	<13	<36
II	13-18	36-53
III	>18	>53

## 9.2 Předchozí srážkový index (API)

Jedná se o empiricky založenou metodu. API je zkratka odvozená z ang. zkratky Antecedent Precipitation Index. Často je tento index označován i jako úhrn předchozích srážek UPS. Tuto proceduru definoval A.M. Kohler. Obecný tvar vypadá takto (Kohler, A. M., 1951):

$$API_n = \sum_{i=1}^n C^i P_i \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

kde:

- n** - je celkový počet dní před výskytem příčinných srážek, obvykle se  $n$  volí 5 nebo 30
- i** - je pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován
- C** - je evapotranspirační konstanta, pro naše podmínky obvykle  $C = 0.93$
- P** - je denní úhrn srážek v milimetrech v  $i$ -tém dni před výskytem příčinných srážek

Metoda API vytváří vztah mezi snadno měřitelnou srážkou a obtížněji měřitelnou půdní vlhkostí. Využívá se v mnoha srážkoodtokových modelech jako komponenta k odhadu půdní vlhkosti.

### 9.3 Interpolace dle vzdálenosti těžišť

Vzhledem k tomu, že máme data ze tří stanic, můžeme hodnotu průměrného denního úhrnu za měřená období vypočítat pro lokalitu mimo měřená místa pomocí interpolace dle vzdálenosti těžišť. Jedná se o vážený průměr s vahami následujícího tvaru (Bauer, M., Janotová, B., 2012):

$$\text{Pro stanici } S_1: \quad w_1 = \frac{L_2 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3} \quad (10)$$

Další dvě stanice analogicky cyklickou záměnou indexů v čitateli.

$$\text{Výsledná hodnota se pak vypočítá takto:} \quad H_{t,N} = \sum_{i=1}^3 w_i H_t^i \quad (11)$$

Pro naše data bylo pro ukázkou zvoleno Envi-Centrum ve Vysokém Poli. Po přepočtu denních srážkových úhrnů pomocí váženého průměru dle vzdáleností těžišť byly rovněž vypočteny indexy IPS a API.

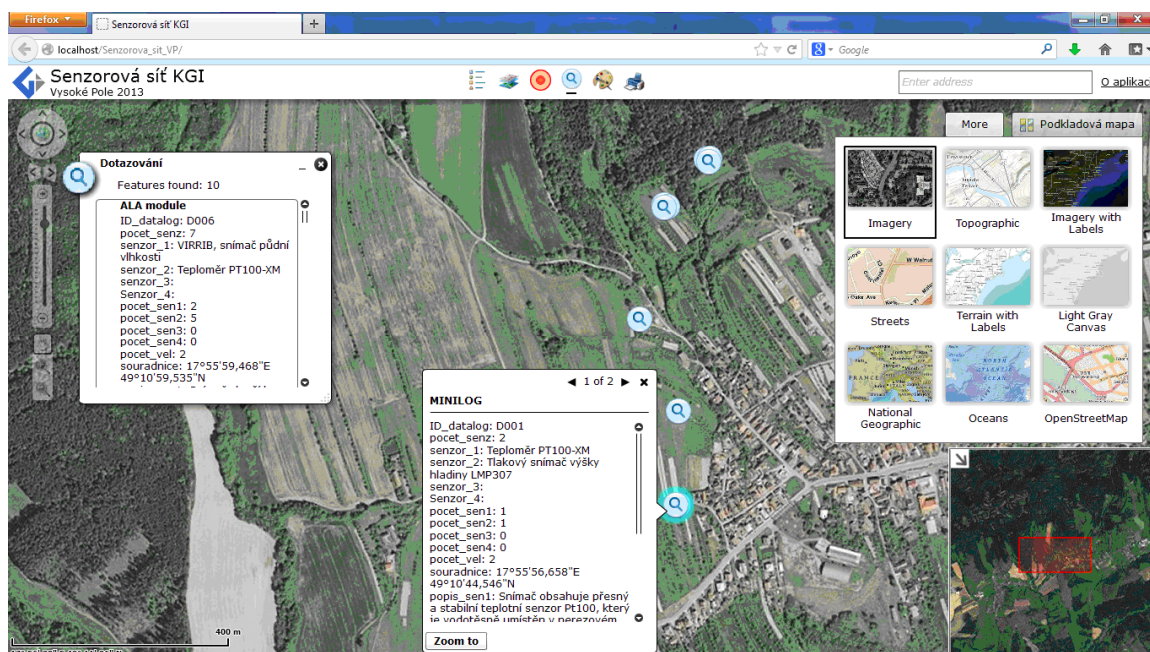
# 10 VÝSLEDKY

## 10.1 Bezdrátová senzorová síť

V blízkosti EnviCentra ve Vysokém Poli byla v rámci této práce vytvořena funkční senzorová síť zaměřená na environmentální studia a to převážně na srážko-odtokové analýzy. Senzorová síť se skládá z 10 dataloggerů propojených s 33 senzory. Měřené veličiny jsou výška hladiny, teplota půdy, půdní vlhkost, množství srážek, globální radiace, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a intenzita světla. Senzorová síť je v provozu a měří od 10. 8. 2011. Detailní popis senzorové sítě ve Vysokém Poli je uveden v kapitole 8.

## 10.2 Elektronizované schematizované rozhraní

Toto rozhraní slouží pro získávání informací o architektuře sítě. Aplikace zobrazuje rozmístění dataloggerů v terénu a informace o typu a počtu senzorů, které jsou na ně napojeny. Elektronizované schematizované rozhraní bylo vytvořeno v programu ArcGIS Viewer for Flex 3.2 Application Builder a je k dispozici na adrese: <http://gislib.upol.cz/app/jirasek13/>



Obr. 47: Aplikace představující schematizované rozhraní senzorové sítě KGI ve Vysokém Poli

V aplikaci bylo využito několik tzv. widgetů, které z pouhého informačního panelu dělají interaktivní mapovou aplikaci. Kromě standardních ovládacích prvků jako je zoom a pan je v aplikaci možné rozbalit přehledovou mapu, pomocí widgetu Legend je možné získat základní informace jak o podkladové, tak o operační vrstvě. Pomocí widgetu Layer List je možné nejen operační vrstvu zapnout a vypnout, ale také nastavit její průhlednost, přiblížit se na plný rozsah vrstvy, zobrazit detailní informace o vrstvě nebo v případě více

operačních vrstev určit jejich pořadí. Widget Locator umožňuje zobrazit na mapě hledanou adresu nebo souřadnice bodu. Widget Draw umožňuje do mapy nejen kreslit, ale také měřit plochu a vzdálenost. Pomocí widgetu Query zobrazíme po kliknutí na určitý uzel sensorové sítě informace o uzlu obsažené v atributové tabulce. Poslední widget Print umožňuje tisknout aktuální zobrazení mapového pole.

Aplikace umožňuje volbu z následujících 9 podkladových map přednastavených v Application Builderu a poskytovaných z ArcGIS Online:

- ortofoto mapa „Imagery“ dostupná na adrese :  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer)>
- ortofoto mapa s popisky „Imagery with Labels“ dostupná na adrese: <  
[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer) >
- mapa ulic „Streets“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Street\\_Map/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Street_Map/MapServer)>
- topografická mapa „Topographic“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Topo\\_Map/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer)>
- mapa reliéfu s popisky „Terrain with Labels“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Terrain\\_Base/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Terrain_Base/MapServer)>
- černobílá mapa „Light Gray Canvas“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Canvas/World\\_Light\\_Gray\\_Base/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Canvas/World_Light_Gray_Base/MapServer)>
- obecně geografická mapa „National Geographic“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/NatGeo\\_World\\_Map/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/NatGeo_World_Map/MapServer)>
- námořní mapa „Oceans“ dostupná na adrese:  
<[http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean\\_Basemap/MapServer](http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/Ocean_Basemap/MapServer)>
- topografická mapa „OpenStreetMap“ dostupná na adrese:  
<<http://www.openstreetmap.org/>>

Operační vrstva „Dataloggery“ je dostupná na adrese  
<[http://virtus.upol.cz:6080/arcgis/rest/services/vp\\_senzory/MapServer/0](http://virtus.upol.cz:6080/arcgis/rest/services/vp_senzory/MapServer/0)>

## 10.3 Srážko-odtokové analýzy

Podle dostupných dat byla vybrána 4 sledovaná období, vždy po dvou měsících a byl pro ně vypočítán parametr IPS a předchozí srážkový index (API). Jedná se o období 1. 3. – 30. 4. 2012, 1. 7. – 31. 8. 2012, 1. 10. – 30. 11. 2012 a 1. 12. 2012 – 30. 1. 2013. Tabulky s vypočtenými hodnotami pro každý den sledovaných období jsou k nahlédnutí v přílohách č. 1 – 12 .

### 10.3.1 Parametr IPS

Parametr IPS byl stanoven na základě 5 denních srážkových úhrnů a podle toho, zda se jednalo o vegetační nebo mimovegetační období. Parametr IPS má na první pohled velmi malou vypovídající hodnotu, co se týče určování průměrné hodnoty nasycenosti půdy vodou v průběhu delšího měřeného období. Navíc možností nabytí pouze 3 různých hodnot indexu je jeho přesnost značně omezena. Z tohoto důvodu nebyly pro parametr IPS vypočteny průměrné hodnoty za sledovaná období. Nejčteněji nabytou hodnotou ve všech sledovaných obdobích u tohoto parametru je hodnota IPS I. Vypočtené hodnoty IPS jsou k nahlédnutí v tabulkách uvedených v přílohách této práce.

### 10.3.2 Index API

Po stanovení denních hodnot parametrů v každém sledovaném období byly hodnoty parametrů  $API_5$  a  $API_{30}$  zprůměrovány a vneseny do Tabulek č. 22, 23 a 24 pro snadné porovnání jednotlivých hodnot v daném období pro všechna měřená místa.

Tabulka 22: Průměrné hodnoty indexů  $API_5$  a  $API_{10}$  za sledované období 1.3 – 30. 4. 2012

ID stanice	$API_5$ [mm]	$API_{30}$ [mm]
1	1,3	9,46
2	3,16	22,63
3	3,35	23,9

Tabulka 23: Průměrné hodnoty indexů  $API_5$  a  $API_{10}$  za sledované období 1.7 – 31. 8. 2012

ID stanice	$API_5$ [mm]	$API_{30}$ [mm]
1	4,62	37,03
2	11,02	75,41
3	9,29	62,89

Tabulka 24: Průměrné hodnoty indexů  $API_5$  a  $API_{10}$  za sledované období 1. 10. – 30. 11. 2012

ID stanice	$API_5$ [mm]	$API_{30}$ [mm]
1	8,52	55,08
2	15,02	102,11
3	11,14	75,47



Tabulka 25: Průměrné hodnoty indexů API<sub>5</sub> a API<sub>10</sub> za sledované období 1. 12. 2012 – 30. 1. 2013

ID stanice	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]
1	1,99	11,02
2	3,65	23,85
3	3,21	27,05

Při porovnání jednotlivých tabulek můžeme pozorovat, že hodnoty indexů API a tudíž i množství srážek ve sledovaných obdobích se značně liší. To je způsobeno volenými lokalitami umístění měřících stanic. Nejvíce se liší hodnoty měřící stanice ID 1, která je umístěna v lese.

Je tedy zřejmé, že pokud budeme chtít modelovat obsah vody v půdě pomocí srážkových dat, je vhodnější využít indexu API<sub>5</sub>, respektive API<sub>30</sub>, než parametru IPS.

### 10.3.3 Interpolace dle vzdálenosti těžišť

Nejprve bylo třeba vypočítat pro jednotlivé stanice váhu jejich měření podle vzorce (10) uvedeného v kapitole 9.3. V tabulce 26 jsou uvedeny vzdálenosti mezi stanicemi a středem EnviCentra V tabulce 27 jsou uvedeny váhy vypočtené na základě těchto vzdáleností stanic od měřeného bodu.

Tabulka 26: Vzdálenosti mezi stanicemi a EnviCentrem

ID stanice	Vzdálenost mezi stanicí a EnviCentrem [ m ]
1	257,18
2	196,87
3	191,18

Tabulka 27: Váhy naměřených hodnot stanic použitých pro interpolaci

ID stanice	Váha naměřených hodnot
1	0,243679992
2	0,370790732
3	0,385529276

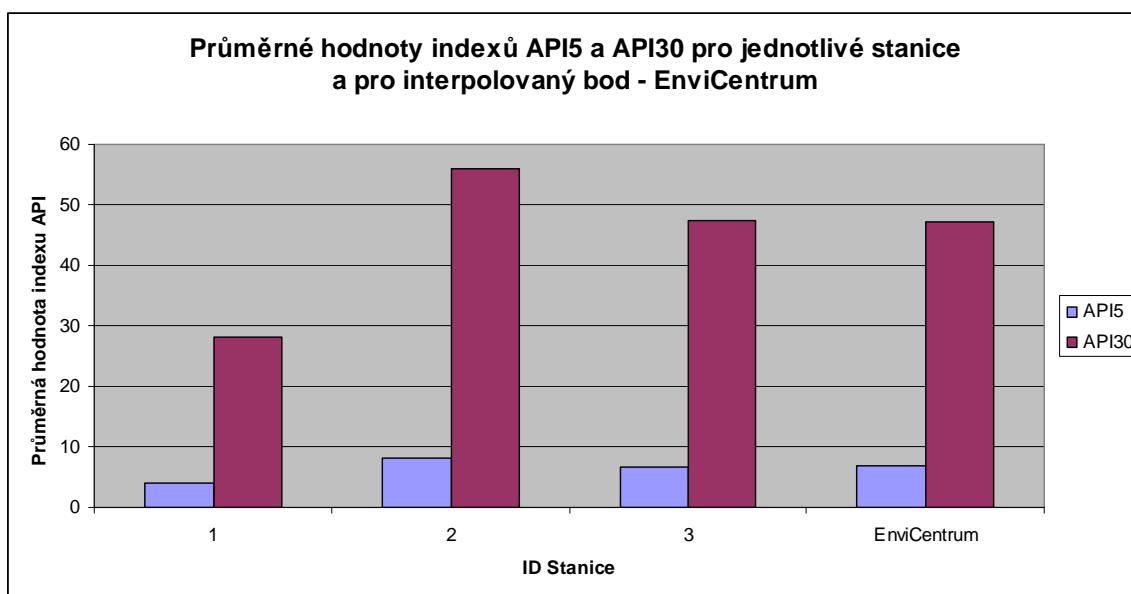
V dalším kroku byly vynásobeny naměřené srážkové úhrny jednotlivých stanic jim příslušnými vahami. Sumou těchto vah získáme odvozenou hodnotu místa u něhož postrádáme data z měření, v našem případě se jedná o EnviCentrum jehož střed se nachází na souřadnicích 17°55'54,363"E 49°10'50,69"N. Stanice 1 a 2 jsou severovýchodně a stanice 3 jižně od EnviCentra.

Tabulky odvozených hodnot a následně vypočtených indexů API a parametrů IPS pro EnviCentrum jsou k nahlédnutí v přílohách této práce. V Tabulce 27 jsou uvedeny průměrné hodnoty výpočtů pro jednotlivá období.

Tabulka 28: Průměrné hodnoty indexu API vypočtené interpolací pro EnviCentrum za jednotlivá období měření

Měřené období	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]
1. 3. – 30. 4. 2012	2,78	19,91
1.7 – 31. 8. 2012	8,79	61,23
1. 10. – 30. 11. 2012	12,53	82,95
1. 12. 2012 – 30. 1. 2013	3,94	24,38

Pro snadné porovnání výsledků byli hodnoty jednotlivých stanic a interpolovaného bodu, tj. EnviCentra, za všechna měřená období zprůměrovány a vneseny do grafu na Obr. 48.



Obr. 48: Průměrné hodnoty indexů API<sub>5</sub> a API<sub>30</sub> pro jednotlivé stanice a pro interpolovaný bod – EnviCentrum

Dle uvedených tabulek a grafu je patrné, že interpolovaný bod, tedy EnviCentrum, se výsledky nejvíce podobá Stanici 3, umístěné nejbližší k interpolovanému bodu a mající tím pádem největší váhu.

## 11 DISKUZE

V rámci této práce byla nastudovaná literatura a manuály jednotlivých senzorů a dataloggerů disponujících na KGI. Byl vytvořen soupis tohoto vybavení, detailní popis jeho parametrů a správné použití jednotlivých zařízení. Dále bylo třeba vybrat senzory a dataloggery vhodné k použití v rámci eviromentálních studií a analýz nejen pro tuto diplomovou práci, ale také pro ostatní práce vztahující se k sensorové síti KGI. Následně probíhalo zjišťování stavu vybraných zařízení a jejich zprovoznění. Vybavení KGI bylo již dříve používáno a velká část zařízení nebyla v provozuschopném stavu. Některé senzory měly přesekané komunikační kabely od jejich vykopávání z dřívější lokality, dataloggery měly vybité baterie a některá zařízení byla mechanicky poškozena. Z vybraných dataloggerů a senzorů byla následně sestavena a zprovozněna sensorová síť ve Vysokém Poli v okolí EnviCentra. Dostupné dataloggery použitelné pro sestavení sensorové sítě zaměřené na srážko-odtokové poměry nejsou nejideálnějším řešením. Nutnost pravidelného stahování dat přímo v terénu je velmi omezující a data jsou získávána se zpožděním závislém na intervalu stahování. Vhodnějším řešením by bylo rozšíření telemetrie ke všem uzlům sensorové sítě, nejlépe přes GSM/GPRS, které by umožňovalo nejen v reálném čase získávat data z jakéhokoliv počítače připojeného k internetu bez nutnosti pravidelného stahování dat přímo v terénu, ale také dálkové nastavení konfigurace dataloggerů. Senzory i dataloggery by měly být lépe zabezpečené proti krádežím, či úmyslnému poškození. Bylo by vhodné je oplotit, ale vzhledem k tomu, že síť je umístěna na soukromých pozemcích, není oplocení možné a mohlo by ovlivňovat měření. Sensorová síť ve Vysokém Poli má celoroční provoz. V nízkých teplotách jsou baterie mnohem více zatíženy a dochází k rychlejšímu vybíjení. Z tohoto důvodu by bylo vhodné v rámci rozšíření telemetrie získávat aktuální informace o stavu nabití baterie, aby nedošlo k jejímu náhlému vybití a výpadku měření.

Na data naměřená sensorovou sítí ve Vysokém Poli byly aplikovány jednoduché srážko-odtokové analýzy. Konkrétně se jednalo o výpočet parametru IPS a indexu API a jejich vzájemné porovnání. V metodice Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček, M., 2007) je doporučeno využití indexu IPS. Po vzájemném porovnání vhodnosti těchto dvou parametrů je však nutné konstatovat, že pro hydrologické modely počítající s nasyceností půdy je index API velmi vhodný a také se ve většině aplikací využívá. Naproti tomu parametr IPS je pro modelování nasycenosti půdy značně nevyhovující a proto pro podobné analýzy také naprosto nevhodný.

V závěru práce byla vytvořena aplikace v programu ArcGIS Viewer for Flex Application builder 3.2 představující schematizované rozhraní celé sensorové sítě a poskytující informace o jejich jednotlivých uzlech. Pokud by došlo k rozšíření telemetrie, bylo by vhodné přes schematizované rozhraní posílat dataloggerům konfigurační příkazy. Aplikace by poté představovala skutečný ovládací panel celé sensorové sítě

## 12 ZÁVĚR

Tato práce komplexně popisuje téma bezdrátových sensorových sítí. V teoretické části práce jsou popsány pojmy týkající se bezdrátových sensorových sítí jako jsou datalogger, senzor, sensorová síť, geosenzor, telemetrická stanice atd. Jsou popsány platformy sensorových sítí, jejich architektura a její jednotlivé vrstvy, standardy používané pro potřeby komunikace bezdrátových sensorových sítí a softwarové platformy vyvinuté speciálně pro bezdrátové sensorové sítě. Dále jsou rozebrány faktory jako jsou hardwarové omezení, odolnost vůči chybám, škálovatelnost, nákladovost, topologie, přenosová média a spotřeba energie, které ovlivňují návrh sensorové sítě. Na různých případových studiích jsou uvedeny konkrétní příklady využití sensorových sítí v enviromentálních studiích.

V rámci praktické části je popsáno disponující vybavení KGI použitelného pro tvorbu sensorové sítě. Jedná se o výčet senzorů a dataloggerů, jejich počet, využití a detailní popis jejich parametrů. Z vybavení disponujícího na KGI byli vybrány a zprovozněny senzory a dataloggerové hodící se pro vytvoření sensorové sítě zaměřené na srážko-odtokové poměry. Po výběru a zprovoznění dataloggerů a senzorů byly k dataloggerům připojeny senzory a proběhla jejich instalace v terénu. Dataloggerové představují uzly nově vytvořené sensorové sítě ve Vysokém Poli v blízkosti EnviCentra spolupracujícího s KGI. Dále byl popsán návrh a realizace této sensorové sítě. Celkem bylo použito 10 dataloggerů propojených s 33 senzory. Měřené veličiny sensorovou sítí jsou výška hladiny, teplota půdy, půdní vlhkost, množství srážek, globální radiace, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a intenzita světla.

Sensorovou sítí ve Vysokém Poli popisuje aplikace představující elektronizované schematizované rozhraní. Tato aplikace byla vytvořena v programu ArcGIS Viewer for Flex 3.2. Podává informace o architektuře sítě pomocí zobrazení rozmístění jednotlivých uzlů, tedy dataloggerů, a počty a typy senzorů, které jsou do jednotlivých dataloggerů zapojeny. Jedná se o interaktivní aplikaci umožňující pomocí využitých ovládacích prvků (widgetů) zapínat a vypínat jednotlivé vrstvy, měřit délku a plochu zadaných obrazců, rozbalit přehledovou mapku, rozbalit historii, tisknout mapu v aktuálním zobrazení, dotazovat se na atributy jednotlivých dataloggerů a zobrazit zadanou adresu či souřadnice v mapovém poli. Aplikace je dostupná na adrese <<http://gislib.upol.cz/app/jirasek13/>>

Na základě dat naměřených sensorovou sítí ve Vysokém Poli byly provedeny jednoduché srážko-odtokové analýzy. Konkrétně se jednalo o určení parametru IPS, neboli indexu předchozích srážek, a výpočet indexů  $API_5$  a  $API_{30}$ . Tyto výpočty probíhaly na datech naměřených 3 srážkoměrnými stanicemi za 4 měřená období vždy o délce dvou měsíců. Pro výpočty indexů  $API$  a  $IPS$  bylo potřeba data zpracovat a vypočítat denní srážkové úhrny. Tyto srážkové úhrny byli použity také pro odvození hodnot indexů  $API$  a  $IPS$  pro místo s absencí dat pomocí interpolace s využitím váženého průměru

založeného na vzdálenosti stanic od interpolovaného bodu. V našem případě byl zvolen bod reprezentující budovu EnviCentra. Po porovnání vhodnosti indexu API a parametrů IPS je nutné konstatovat, že pro hydrologické modely počítající s nasyceností půdy je index API vhodný a také se ve většině aplikací využívá. Parametr IPS je pro tyto účely naopak nevhodný a jeho využití je značně omezeno jeho přesností a vypovídající hodnotou. Na závěr byli zhodnoceny průměry výsledků pro jednotlivé stanice a pro interpolovaný bod reprezentující budovu EnviCentra. Výsledky se interpolovaný bod nejvíce podobá stanici označené ID 3, která je k interpolovanému bodu nejbližší a má tím pádem také největší váhu.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] – Akyildiz, I. F., Vuran, M. C. (2011): Wireless sensor network, *Torquay, UK*
- [2] – Janeček, M. (2007) Ochrana zemědělské půdy před erozí, *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN: 978-80-254-0973-2*
- [3] - KARL, H., WILLING, A. (2006) Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, 526 s. *ISBN 0-470-09511-3*
- [4] – Kimpl, L. (2012) Standardy pro dohledové centrum sensorové sítě, *Diplomová práce, Katedra geoinformatiky, UP v Olomouci, Olomouc*
- [5] - KOHLER M.A, LINSLEY R.K, 1951: Predicting the runoff from storm rainfall. *Weather Bureau, US Department of Commerce, Research Paper No.34, Washington.*
- [6] - Kreidl Marcel, Šmíd Radislav: Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu, *BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-158-6*
- [7] – Peng, Z. R., Tsou, M. H.(2003): Internet GIS: distributed geographic information services for the Internet and wireless networks. *Hoboken, ISBN 0471359238*
- [8] – Seinhart, M. (2010): Aplikace srážko-odtokového modelu Boussmo, *Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, Praha*
- [9] - Voženílek, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. *Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.*
- [10] - Vrzal, T., (2010), Model bezdrátové sensorové sítě realizovaný v nástroji J-SIM, *Diplomová práce, Vysoké učení technické, Brno*
- [11] - ZigBit Development Kit Users Guide. (2008). 54s. Meshnetics Doc. S-ZDK-451

### Internetové zdroje:

- [12] – AMET – sdružení Litschmann & Suchý [online] [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <<http://www.amet.cz/>>
- [13] – Bauer, M., Janotová, B., Protierozní ochrana [online] [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <[http://storm.fsv.cvut.cz/on\\_line/proz/2012\\_PROZ\\_CV\\_5.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/proz/2012_PROZ_CV_5.pdf)>
- [14] - DELIN, Kevin, et al. Environmental Studies with the Sensor Web: Principles and Practice. *Sensors [online] [cit. 2012-05-01] Dostupné z: < [www.mdpi.com/1424-8220/5/1/103/pdf](http://www.mdpi.com/1424-8220/5/1/103/pdf) >*
- [15] – DECAGON DEVICE, [cit. 2013-03-04], Dostupné z: <<http://www.decagon.com/>>
- [16] – DOMER, Měření průtoků kapalin, [cit. 2013-03-04], Dostupné z: <<http://www.domer.cz/>>

- [17] – EMS, Electro market service, [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <<http://www.emsbrno.cz/>>
- [18] – Fiedler, Elektronika pro ekologii, [cit. 2013-03-04], Dostupné z: <<http://fiedler-magr.cz/>>
- [19] – HW group, [cit. 2013-03-04], Dostupné z: <[www.hw-group.com](http://www.hw-group.com)>
- [20] - HW server s.r.o „ZigBee - novinka na poli bezdrátové komunikace"[online]. [cit. 2012-05-20] Dostupné z: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-polibezdratove-komunikace.html>>
- [21] - Kliment, Z., Matoušková, M., Analýza změn srážko-odtokových poměrů v povodí Otavy [online] [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <[http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny\\_povodni/pdf/kliment.pdf](http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/kliment.pdf)>
- [22] – Kliment, Z., Matoušková, M., Změny srážko-odtokových poměrů v pramenných oblastech povodí Otavy, [online] [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <[http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne\\_kliment\\_matouskova.pdf](http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_kliment_matouskova.pdf)>
- [23] – LEGG, G. ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <<http://www.commsdesign.com/showArticle.jhtml?articleID=192200323>>
- [24] – MEMSIC, Powerful Sensing Solutions, [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <<http://www.memsic.com/>>
- [25] – Onset, HOBO Data Loggers, [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <<http://www.onsetcomp.com/>>
- [26] - Sensor Web Enablement (SWE) | OGC, Open Geospatial Consortium, Inc [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <<http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe>>
- [27] – Worboys, M, Duckham, M, Monitoring qualitative spatiotemporal change for geosensor networks [online] [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <<http://www.spatial.maine.edu/~worboys/mywebpapers/ijgis%202006.pdf>>

## SUMMARY

This thesis describes the complex topic of wireless sensor network. In the theoretical part of the thesis describes concepts related to wireless sensor network such as datalogger, sensor, sensor network, geosensor, telemetry station, etc. There are described platforms of sensor network, their architecture and its individual layers, standards used for needs of communication of wireless sensor network and software platforms specifically developed for wireless sensor network. There are also discussed factors such as hardware restrictions, fault tolerance, scalability, cost, topology, transmission media and power consumption, which affect the design of sensor network. On various case studies are presented particular examples of using sensor network in environmental studies.

The practical of the thesis describes the applicable possessing equipment on KGI useable for creating sensor network. There are a list of sensors and dataloggers, their quantity and detailed description of the use of their parameters. From the equipment were selected and launched sensors and dataloggers suited for creating sensor network focused on rainfall-runoff relations. After selection and commissioning of dataloggers and sensors, sensors were connected with dataloggers and were installed in the field. Dataloggers represent nodes of sensor network in Vysoké Pole near EnviCentrum cooperating with KGI. Design and implementation of the sensor network was also described. Totally was included 10 dataloggers, which are connected with 33 sensors. Measured quantities by the network are height of water level, soil temperature, soil moisture, rainfall, global radiation, air temperature, humidity and light intensity.

There is an application describing the sensor network in Vysoké Pole representing electronic schematized interface. The application was developed in ArcGIS Viewer for Flex 3.1. It provides information about network architecture by showing location of individual nodes, i.e. dataloggers, and quantity and types of sensors connected to the node. It is an interactive application enabling on and off individual layers, expand the survey map, expand the history, print the current map view, inquire about attributes of individual dataloggers and search for an address or coordinates in the map by using of widgets. The application is available at <http://gislib.upol.cz/app/jirasek13/>.

Based on the data measured by sensor networks in Vysoké Pole were made simple rainfall-runoff analysis. Specifically it was the determination of the parameter IPS (index of previous rainfall) and indexes  $API_5$  and  $API_{30}$ . These calculations were carried out on the data from 3 stations in 4 periods of measuring, each in interval of two months. For the index calculations of API and IPS was needed to process the data and calculate daily precipitation totals. These totals were also used to derivation of index values for a place without data by interpolation using a weighted average based on the distance of stations from the interpolated point. In our case the chosen point representing the building of EnviCentrum. After comparing the suitability of index API and IPS, it is clear that for



hydrological models allowing with saturation of the soil the API index is really suitable and it is also used in most applications. In the other hand IPS is for this purpos contrary awkward and its using is greatly restricted by its accuracy and revealing value. In conclusion, the averages of results were evaluated for each station and interpolated point representing building of EnviCentrum. The results of the interpolated point are most similar to the results from the station with ID 3, which is the closest to interpolated point and thus has the largest weight.

**KEY WORDS:** wireless, sensor, network, enviroment, measuring, datalogger, geosensor

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

- Příloha 1 Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012
- Příloha 2 Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012
- Příloha 3 Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012
- Příloha 4 Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012
- Příloha 5 Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012
- Příloha 6 Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012
- Příloha 7 Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012
- Příloha 8 Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012
- Příloha 9 Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012
- Příloha 10 Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12. – 31.1.2012
- Příloha 11 Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12. – 31.1.2012
- Příloha 12 Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12. – 31.1.2012

## Volné přílohy

Příloha 13 DVD

### Popis struktury DVD

Adresáře:

- diplomova\_prace.pdf
- Senzorova\_sit\_VP\_AGFlex.zip
- WWW\
  - diplomova\_prace.pdf
  - default.css
  - index.html
  - cile.html
  - metody.html
  - vysledky.html
  - diskuze.html
  - zaver.html
  - summary.html
  - obrazky\
    - flex.png
    - api.jpg
    - interpolace.jpg
    - graf.jpg
    - rozmisteni\_so\_analyzy.jpg

Příloha 1: Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.3.2012	0,34				
2.3.2012	0				
3.3.2012	0				
4.3.2012	0				
5.3.2012	0				
6.3.2012	0	0,32		0,34	I
7.3.2012	0	0,00		0	I
8.3.2012	0	0,00		0	I
9.3.2012	0	0,00		0	I
10.3.2012	0	0,00		0	I
11.3.2012	0,34	0,00		0	I
12.3.2012	0,68	0,32		0,34	I
13.3.2012	0	0,95		1,02	I
14.3.2012	0	0,95		1,02	I
15.3.2012	0	0,95		1,02	I
16.3.2012	0	0,95		1,02	I
17.3.2012	0	0,63		0,68	I
18.3.2012	0	0,00		0	I
19.3.2012	0	0,00		0	I
20.3.2012	0	0,00		0	I
21.3.2012	0	0,00		0	I
22.3.2012	0	0,00		0	I
23.3.2012	0	0,00		0	I
24.3.2012	0	0,00		0	I
25.3.2012	0	0,00		0	I
26.3.2012	0	0,00		0	I
27.3.2012	0	0,00		0	I
28.3.2012	0	0,00		0	I
29.3.2012	0,34	0,00		0	I
30.3.2012	4,08	0,32		0,34	I
31.3.2012	1,02	4,11	5,38	4,42	I
1.4.2012	0	5,06	6,01	5,44	I
2.4.2012	0	5,06	6,01	5,44	I
3.4.2012	0	5,06	6,01	5,44	I
4.4.2012	0	4,74	6,01	5,1	I
5.4.2012	0	0,95	6,01	1,02	I
6.4.2012	1,36	0,00	6,01	0	I
7.4.2012	0,68	1,26	7,27	1,36	I
8.4.2012	0	1,90	7,91	2,04	I
9.4.2012	0	1,90	7,91	2,04	I
10.4.2012	0	1,90	7,91	2,04	I
11.4.2012	0	1,90	7,59	2,04	I
12.4.2012	0	0,63	6,96	0,68	I
13.4.2012	1,36	0,00	6,96	0	I
14.4.2012	0	1,26	8,22	1,36	I
15.4.2012	0	1,26	8,22	1,36	I
16.4.2012	3,74	1,26	8,22	1,36	I
17.4.2012	0	4,74	11,70	5,1	I

18.4.2012	0	4,74	11,70	5,1	I
19.4.2012	0	3,48	11,70	3,74	I
20.4.2012	0	3,48	11,70	3,74	I
21.4.2012	0	3,48	11,70	3,74	I
22.4.2012	2,04	0,00	11,70	0	I
23.4.2012	0	1,90	13,60	2,04	I
24.4.2012	0	1,90	13,60	2,04	I
25.4.2012	0	1,90	13,60	2,04	I
26.4.2012	0	1,90	13,60	2,04	I
27.4.2012	0	1,90	13,60	2,04	I
28.4.2012	0	0,00	13,60	0	I
29.4.2012	0	0,00	13,28	0	I
30.4.2012	0	0,00	9,49	0	I

Příloha 2: Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.3.2012	0				
2.3.2012	0				
3.3.2012	0				
4.3.2012	0				
5.3.2012	0				
6.3.2012	0	0,00		0	I
7.3.2012	0	0,00		0	I
8.3.2012	0	0,00		0	I
9.3.2012	0	0,00		0	I
10.3.2012	0	0,00		0	I
11.3.2012	0,74	0,00		0	I
12.3.2012	2,22	0,69		0,74	I
13.3.2012	0	2,75		2,96	I
14.3.2012	0	2,75		2,96	I
15.3.2012	0	2,75		2,96	I
16.3.2012	0	2,75		2,96	I
17.3.2012	0	2,06		2,22	I
18.3.2012	0	0,00		0	I
19.3.2012	0	0,00		0	I
20.3.2012	0	0,00		0	I
21.3.2012	0	0,00		0	I
22.3.2012	0	0,00		0	I
23.3.2012	0	0,00		0	I
24.3.2012	0	0,00		0	I
25.3.2012	0	0,00		0	I
26.3.2012	0	0,00		0	I
27.3.2012	0	0,00		0	I
28.3.2012	0	0,00		0	I
29.3.2012	1,11	0,00		0	I
30.3.2012	9,25	1,03		1,11	I
31.3.2012	4,07	9,63	12,39	10,36	I
1.4.2012	0	13,42	16,17	14,43	I

2.4.2012	0	13,42	16,17	14,43	I
3.4.2012	0	13,42	16,17	14,43	I
4.4.2012	0	12,39	16,17	13,32	I
5.4.2012	0	3,79	16,17	4,07	I
6.4.2012	1,85	0,00	16,17	0	I
7.4.2012	1,48	1,72	17,89	1,85	I
8.4.2012	0	3,10	19,27	3,33	I
9.4.2012	0	3,10	19,27	3,33	I
10.4.2012	0	3,10	19,27	3,33	I
11.4.2012	0	3,10	18,58	3,33	I
12.4.2012	0,74	1,38	16,52	1,48	I
13.4.2012	0	0,69	17,21	0,74	I
14.4.2012	0	0,69	17,21	0,74	I
15.4.2012	0	0,69	17,21	0,74	I
16.4.2012	9,62	0,69	17,21	0,74	I
17.4.2012	0,37	9,63	26,15	10,36	I
18.4.2012	0	9,29	26,50	9,99	I
19.4.2012	0	9,29	26,50	9,99	I
20.4.2012	1,85	9,29	26,50	9,99	I
21.4.2012	0,37	11,01	28,22	11,84	I
22.4.2012	4,07	2,41	28,56	2,59	I
23.4.2012	0	5,85	32,35	6,29	I
24.4.2012	0,37	5,85	32,35	6,29	I
25.4.2012	0	6,19	32,69	6,66	I
26.4.2012	0	4,47	32,69	4,81	I
27.4.2012	0	4,13	32,69	4,44	I
28.4.2012	0	0,34	32,69	0,37	I
29.4.2012	0	0,34	31,66	0,37	I
30.4.2012	0	0,00	23,05	0	I

Příloha 3: Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1. 3. – 30. 4. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.3.2012	1,2				
2.3.2012	0,2				
3.3.2012	0				
4.3.2012	0				
5.3.2012	0				
6.3.2012	0	1,30		1,4	I
7.3.2012	0	0,19		0,2	I
8.3.2012	0	0,00		0	I
9.3.2012	0,2	0,00		0	I
10.3.2012	0,2	0,19		0,2	I
11.3.2012	1	0,37		0,4	I
12.3.2012	3,8	1,30		1,4	I
13.3.2012	0,8	4,84		5,2	I
14.3.2012	0,2	5,58		6	I
15.3.2012	0	5,58		6	I
16.3.2012	0	5,39		5,8	I

17.3.2012	0	4,46		4,8	I
18.3.2012	0	0,93		1	I
19.3.2012	0	0,19		0,2	I
20.3.2012	0	0,00		0	I
21.3.2012	0	0,00		0	I
22.3.2012	0	0,00		0	I
23.3.2012	0	0,00		0	I
24.3.2012	0	0,00		0	I
25.3.2012	0	0,00		0	I
26.3.2012	0	0,00		0	I
27.3.2012	0	0,00		0	I
28.3.2012	0	0,00		0	I
29.3.2012	2,8	0,00		0	I
30.3.2012	8	2,60		2,8	I
31.3.2012	4,2	10,04	17,11	10,8	I
1.4.2012	0	13,95	19,90	15	II
2.4.2012	0	13,95	19,72	15	II
3.4.2012	0	13,95	19,72	15	II
4.4.2012	0	11,35	19,72	12,2	I
5.4.2012	0	3,91	19,72	4,2	I
6.4.2012	2	0,00	19,72	0	I
7.4.2012	1,8	1,86	21,58	2	I
8.4.2012	0,2	3,53	23,25	3,8	I
9.4.2012	0	3,72	23,25	4	I
10.4.2012	0	3,72	23,06	4	I
11.4.2012	0	3,72	22,13	4	I
12.4.2012	1,2	1,86	18,60	2	I
13.4.2012	0	1,30	18,97	1,4	I
14.4.2012	0	1,12	18,79	1,2	I
15.4.2012	0	1,12	18,79	1,2	I
16.4.2012	7,4	1,12	18,79	1,2	I
17.4.2012	0,4	8,00	25,67	8,6	I
18.4.2012	0	7,25	26,04	7,8	I
19.4.2012	0	7,25	26,04	7,8	I
20.4.2012	2,2	7,25	26,04	7,8	I
21.4.2012	0,2	9,30	28,09	10	I
22.4.2012	2,8	2,60	28,27	2,8	I
23.4.2012	0,2	4,84	30,88	5,2	I
24.4.2012	0,4	5,02	31,06	5,4	I
25.4.2012	0	5,39	31,43	5,8	I
26.4.2012	0	3,35	31,43	3,6	I
27.4.2012	0	3,16	31,43	3,4	I
28.4.2012	0	0,56	31,43	0,6	I
29.4.2012	0	0,37	28,83	0,4	I
30.4.2012	0	0,00	21,39	0	I



Příloha 4: Hodnoty naměřené stanicí I a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.7.2012	0			0	
2.7.2012	0			0	
3.7.2012	0,34			0	
4.7.2012	0			0	
5.7.2012	0			0	
6.7.2012	0,34	0,32		0,34	I
7.7.2012	0,68	0,63		0,68	I
8.7.2012	2,38	1,26		1,36	I
9.7.2012	0	3,16		3,4	I
10.7.2012	0	3,16		3,4	I
11.7.2012	0	3,16		3,4	I
12.7.2012	0	2,85		3,06	I
13.7.2012	0,68	2,21		2,38	I
14.7.2012	0,68	0,63		0,68	I
15.7.2012	0	1,26		1,36	I
16.7.2012	0	1,26		1,36	I
17.7.2012	13,94	1,26		1,36	I
18.7.2012	0	14,23		15,3	I
19.7.2012	2,04	13,60		14,62	I
20.7.2012	0,68	14,86		15,98	I
21.7.2012	2,72	15,49		16,66	I
22.7.2012	0	18,02		19,38	I
23.7.2012	0	5,06		5,44	I
24.7.2012	0	5,06		5,44	I
25.7.2012	1,36	3,16		3,4	I
26.7.2012	5,44	3,79		4,08	I
27.7.2012	0	6,32		6,8	I
28.7.2012	0	6,32		6,8	I
29.7.2012	20,4	6,32		6,8	I
30.7.2012	1,02	25,30		27,2	I
31.7.2012	0,34	24,98	49,01	26,86	I
1.8.2012	0,34	20,24	49,33	21,76	I
2.8.2012	0,34	20,55	49,64	22,1	I
3.8.2012	0,34	20,87	49,64	22,44	I
4.8.2012	0,34	2,21	49,96	2,38	I
5.8.2012	0	1,58	50,28	1,7	I
6.8.2012	0	1,26	49,96	1,36	I
7.8.2012	0	0,95	49,33	1,02	I
8.8.2012	0	0,63	47,11	0,68	I
9.8.2012	0,34	0,32	47,11	0,34	I
10.8.2012	0	0,32	47,43	0,34	I
11.8.2012	0	0,32	47,43	0,34	I
12.8.2012	0,34	0,32	47,43	0,34	I
13.8.2012	0	0,63	47,11	0,68	I
14.8.2012	0,34	0,63	46,48	0,68	I
15.8.2012	0	0,63	46,80	0,68	I
16.8.2012	0,34	0,63	46,80	0,68	I
17.8.2012	0,34	0,95	34,15	1,02	I

18.8.2012	0,34	0,95	34,47	1,02	I
19.8.2012	0	1,26	32,88	1,36	I
20.8.2012	0	0,95	32,25	1,02	I
21.8.2012	0	0,95	29,72	1,02	I
22.8.2012	0	0,63	29,72	0,68	I
23.8.2012	0	0,32	29,72	0,34	I
24.8.2012	0	0,00	29,72	0	I
25.8.2012	0,34	0,00	28,46	0	I
26.8.2012	0	0,32	23,72	0,34	I
27.8.2012	0	0,32	23,72	0,34	I
28.8.2012	0	0,32	23,72	0,34	I
29.8.2012	0	0,32	4,74	0,34	I
30.8.2012	0	0,32	3,79	0,34	I
31.8.2012	0	0,00	3,48	0	I

Příloha 5: Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.7.2012	0				
2.7.2012	0				
3.7.2012	0,37				
4.7.2012	0				
5.7.2012	1,48				
6.7.2012	5,92	1,7205		1,85	I
7.7.2012	4,07	7,2261		7,77	I
8.7.2012	5,18	11,0112		11,84	I
9.7.2012	0	15,4845		16,65	I
10.7.2012	0	15,4845		16,65	I
11.7.2012	0	14,1081		15,17	I
12.7.2012	0	8,6025		9,25	I
13.7.2012	4,44	4,8174		5,18	I
14.7.2012	4,07	4,1292		4,44	I
15.7.2012	0	7,9143		8,51	I
16.7.2012	0	7,9143		8,51	I
17.7.2012	23,31	7,9143		8,51	I
18.7.2012	0	29,5926		31,82	I
19.7.2012	8,14	25,4634		27,38	I
20.7.2012	2,96	29,2485		31,45	I
21.7.2012	4,44	32,0013		34,41	I
22.7.2012	0	36,1305		38,85	II
23.7.2012	0	14,4522		15,54	I
24.7.2012	0	14,4522		15,54	I
25.7.2012	5,18	6,882		7,4	I
26.7.2012	12,21	8,9466		9,62	I
27.7.2012	0	16,1727		17,39	I
28.7.2012	2,22	16,1727		17,39	I
29.7.2012	29,6	18,2373		19,61	I
30.7.2012	0	45,7653		49,21	II
31.7.2012	0	40,9479	105,6387	44,03	II
1.8.2012	0	29,5926	105,6387	31,82	I

2.8.2012	0	29,5926	105,6387	31,82	I
3.8.2012	0	27,528	105,2946	29,6	I
4.8.2012	0	0	105,2946	0	I
5.8.2012	2,22	0	103,9182	0	I
6.8.2012	0	2,0646	100,4772	2,22	I
7.8.2012	3,33	2,0646	96,6921	2,22	I
8.8.2012	0	5,1615	94,9716	5,55	I
9.8.2012	0	5,1615	94,9716	5,55	I
10.8.2012	0	5,1615	94,9716	5,55	I
11.8.2012	4,44	3,0969	94,9716	3,33	I
12.8.2012	0	7,2261	99,1008	7,77	I
13.8.2012	0	4,1292	94,9716	4,44	I
14.8.2012	0	4,1292	91,1865	4,44	I
15.8.2012	0	4,1292	91,1865	4,44	I
16.8.2012	0	4,1292	91,1865	4,44	I
17.8.2012	0	0	69,5082	0	I
18.8.2012	0	0	69,5082	0	I
19.8.2012	0	0	61,938	0	I
20.8.2012	0	0	59,1852	0	I
21.8.2012	0	0	55,056	0	I
22.8.2012	0	0	55,056	0	I
23.8.2012	1,11	0	55,056	0	I
24.8.2012	1,85	1,0323	56,0883	1,11	I
25.8.2012	3,7	2,7528	52,9914	2,96	I
26.8.2012	4,81	6,1938	45,0771	6,66	I
27.8.2012	0	10,6671	49,5504	11,47	I
28.8.2012	0	10,6671	47,4858	11,47	I
29.8.2012	0,37	9,6348	19,9578	10,36	I
30.8.2012	0	8,2584	20,3019	8,88	I
31.8.2012	0,74	4,8174	20,3019	5,18	I

Příloha 6: Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.7 – 31. 8. 2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.7.2012	0				
2.7.2012	0				
3.7.2012	0				
4.7.2012	0				
5.7.2012	2				
6.7.2012	5,4	1,86		2	I
7.7.2012	3,2	6,88		7,4	I
8.7.2012	5	9,86		10,6	I
9.7.2012	0	14,51		15,6	I
10.7.2012	0	14,51		15,6	I
11.7.2012	0	12,65		13,6	I
12.7.2012	0	7,63		8,2	I
13.7.2012	4	4,65		5	I
14.7.2012	3,6	3,72		4	I
15.7.2012	0,4	7,07		7,6	I

16.7.2012	0	7,44		8	I
17.7.2012	18	7,44		8	I
18.7.2012	0	24,18		26	I
19.7.2012	5,4	20,46		22	I
20.7.2012	2,6	22,13		23,8	I
21.7.2012	3,6	24,18		26	I
22.7.2012	0	27,53		29,6	I
23.7.2012	0	10,79		11,6	I
24.7.2012	0	10,79		11,6	I
25.7.2012	4,4	5,77		6,2	I
26.7.2012	10,4	7,44		8	I
27.7.2012	0	13,76		14,8	I
28.7.2012	2	13,76		14,8	I
29.7.2012	25	15,62		16,8	I
30.7.2012	0	38,87		41,8	II
31.7.2012	0	34,78	88,35	37,4	II
1.8.2012	0	25,11	88,35	27	I
2.8.2012	0	25,11	88,35	27	I
3.8.2012	0	23,25	88,35	25	I
4.8.2012	0	0,00	88,35	0	I
5.8.2012	2	0,00	86,49	0	I
6.8.2012	0	1,86	83,33	2	I
7.8.2012	2,6	1,86	80,35	2	I
8.8.2012	0	4,28	78,12	4,6	I
9.8.2012	0	4,28	78,12	4,6	I
10.8.2012	0	4,28	78,12	4,6	I
11.8.2012	3,8	2,42	78,12	2,6	I
12.8.2012	0	5,95	81,65	6,4	I
13.8.2012	0	3,53	77,93	3,8	I
14.8.2012	0	3,53	74,59	3,8	I
15.8.2012	0	3,53	74,21	3,8	I
16.8.2012	0	3,53	74,21	3,8	I
17.8.2012	0	0,00	57,47	0	I
18.8.2012	0	0,00	57,47	0	I
19.8.2012	0	0,00	52,45	0	I
20.8.2012	0	0,00	50,03	0	I
21.8.2012	0	0,00	46,69	0	I
22.8.2012	0	0,00	46,69	0	I
23.8.2012	1,2	0,00	46,69	0	I
24.8.2012	1,6	1,12	47,80	1,2	I
25.8.2012	3,2	2,60	45,20	2,8	I
26.8.2012	4,2	5,58	38,50	6	I
27.8.2012	0,2	9,49	42,41	10,2	I
28.8.2012	0	9,67	40,73	10,4	I
29.8.2012	0,4	8,56	17,48	9,2	I
30.8.2012	0	7,44	17,86	8	I
31.8.2012	0,8	4,46	17,86	4,8	I

Příloha 7: Hodnoty naměřené stanicí I a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.10.2012	0				
2.10.2012	0				
3.10.2012	0				
4.10.2012	7,82				
5.10.2012	2,72				
6.10.2012	0,34	9,80		10,54	I
7.10.2012	24,48	10,12		10,88	I
8.10.2012	1,02	32,88		35,36	I
9.10.2012	0,68	33,83		36,38	II
10.10.2012	1,7	27,19		29,24	I
11.10.2012	0	26,24		28,22	I
12.10.2012	0,34	25,93		27,88	I
13.10.2012	0,34	3,48		3,74	I
14.10.2012	0	2,85		3,06	I
15.10.2012	3,74	2,21		2,38	I
16.10.2012	16,66	4,11		4,42	I
17.10.2012	0	19,60		21,08	I
18.10.2012	1,7	19,29		20,74	I
19.10.2012	2,72	20,55		22,1	I
20.10.2012	4,76	23,08		24,82	I
21.10.2012	0	24,03		25,84	I
22.10.2012	4,42	8,54		9,18	I
23.10.2012	2,38	12,65		13,6	I
24.10.2012	0	13,28		14,28	I
25.10.2012	0	10,75		11,56	I
26.10.2012	0,68	6,32		6,8	I
27.10.2012	31,96	6,96		7,48	I
28.10.2012	0	32,57		35,02	I
29.10.2012	0	30,36		32,64	I
30.10.2012	0	30,36		32,64	I
31.10.2012	0,68	30,36	100,87	32,64	I
1.11.2012	0,68	30,36	101,50	32,64	I
2.11.2012	0	1,26	102,13	1,36	I
3.11.2012	0,34	1,26	102,13	1,36	I
4.11.2012	0	1,58	95,18	1,7	I
5.11.2012	15,98	1,58	92,65	1,7	I
6.11.2012	0,34	15,81	107,19	17	I
7.11.2012	0	15,49	84,74	16,66	I
8.11.2012	0	15,49	83,79	16,66	I
9.11.2012	0	15,18	83,16	16,32	I
10.11.2012	1,7	15,18	81,58	16,32	I
11.11.2012	0	1,90	83,16	2,04	I
12.11.2012	0	1,58	82,84	1,7	I
13.11.2012	1,02	1,58	82,53	1,7	I
14.11.2012	0	2,53	83,48	2,72	I
15.11.2012	0	2,53	80,00	2,72	I
16.11.2012	0	0,95	64,50	1,02	I

17.11.2012	0	0,95	64,50	1,02	I
18.11.2012	0	0,95	62,92	1,02	I
19.11.2012	0	0,00	60,39	0	I
20.11.2012	0	0,00	55,97	0	I
21.11.2012	0	0,00	55,97	0	I
22.11.2012	0	0,00	51,86	0	I
23.11.2012	1,02	0,00	49,64	0	I
24.11.2012	0	0,95	50,59	1,02	I
25.11.2012	0	0,95	50,59	1,02	I
26.11.2012	0	0,95	49,96	1,02	I
27.11.2012	0	0,95	20,24	1,02	I
28.11.2012	0	0,95	20,24	1,02	I
29.11.2012	1,36	0,00	20,24	0	I
30.11.2012	0	1,26	21,50	1,36	I

Příloha 8: Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.10.2012	0,74				
2.10.2012	0				
3.10.2012	0				
4.10.2012	9,99				
5.10.2012	1,11				
6.10.2012	0	11,01		11,84	I
7.10.2012	42,18	10,32		11,1	I
8.10.2012	0	49,55		53,28	III
9.10.2012	0	49,55		53,28	III
10.10.2012	0	40,26		43,29	II
11.10.2012	0	39,23		42,18	II
12.10.2012	0	39,23		42,18	II
13.10.2012	0,37	0,00		0	I
14.10.2012	0	0,34		0,37	I
15.10.2012	4,44	0,34		0,37	I
16.10.2012	23,53	4,47		4,81	I
17.10.2012	0	26,36		28,34	I
18.10.2012	0	26,36		28,34	I
19.10.2012	0	26,01		27,97	I
20.10.2012	0	26,01		27,97	I
21.10.2012	0	21,88		23,53	I
22.10.2012	0	0,00		0	I
23.10.2012	0	0,00		0	I
24.10.2012	0	0,00		0	I
25.10.2012	0	0,00		0	I
26.10.2012	0	0,00		0	I
27.10.2012	57,35	0,00		0	I
28.10.2012	0,37	53,34		57,35	III
29.10.2012	0,37	53,68		57,72	III
30.10.2012	0	54,02		58,09	III
31.10.2012	3,7	54,02	130,62	58,09	III
1.11.2012	3,33	57,46	133,37	61,79	III

2.11.2012	0,74	7,23	136,47	7,77	I
3.11.2012	0	7,57	137,16	8,14	I
4.11.2012	0	7,23	127,87	7,77	I
5.11.2012	29,23	7,23	126,83	7,77	I
6.11.2012	1,85	30,97	154,02	33,3	I
7.11.2012	0	29,59	116,51	31,82	I
8.11.2012	0,37	28,90	116,51	31,08	I
9.11.2012	0	29,25	116,85	31,45	I
10.11.2012	0	29,25	116,85	31,45	I
11.11.2012	0	2,06	116,85	2,22	I
12.11.2012	0,74	0,34	116,85	0,37	I
13.11.2012	0	1,03	117,20	1,11	I
14.11.2012	0	0,69	117,20	0,74	I
15.11.2012	0	0,69	113,07	0,74	I
16.11.2012	0	0,69	91,19	0,74	I
17.11.2012	0	0,69	91,19	0,74	I
18.11.2012	0	0,00	91,19	0	I
19.11.2012	0	0,00	91,19	0	I
20.11.2012	0	0,00	91,19	0	I
21.11.2012	0	0,00	91,19	0	I
22.11.2012	0	0,00	91,19	0	I
23.11.2012	2,22	0,00	91,19	0	I
24.11.2012	0	2,06	93,25	2,22	I
25.11.2012	0	2,06	93,25	2,22	I
26.11.2012	0	2,06	93,25	2,22	I
27.11.2012	0	2,06	39,92	2,22	I
28.11.2012	0	2,06	39,57	2,22	I
29.11.2012	4,44	0,00	39,23	0	I
30.11.2012	0	4,13	43,36	4,44	I

Příloha 9: Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.10. – 30.11.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.10.2012	0,6				
2.10.2012	0				
3.10.2012	0				
4.10.2012	7,4				
5.10.2012	0				
6.10.2012	0	7,44		8	I
7.10.2012	30,4	6,88		7,4	I
8.10.2012	0,2	35,15		37,8	I
9.10.2012	0	35,34		38	II
10.10.2012	0	28,46		30,6	I
11.10.2012	0	28,46		30,6	I
12.10.2012	0	28,46		30,6	I
13.10.2012	0,4	0,19		0,2	I
14.10.2012	0	0,37		0,4	I
15.10.2012	3,4	0,37		0,4	I
16.10.2012	19	3,53		3,8	I

17.10.2012	0,2	21,20		22,8	I
18.10.2012	0	21,39		23	I
19.10.2012	0	21,02		22,6	I
20.10.2012	0	21,02		22,6	I
21.10.2012	0	17,86		19,2	I
22.10.2012	0	0,19		0,2	I
23.10.2012	0	0,00		0	I
24.10.2012	0	0,00		0	I
25.10.2012	0	0,00		0	I
26.10.2012	0	0,00		0	I
27.10.2012	42	0,00		0	I
28.10.2012	0,2	39,06		42	II
29.10.2012	0	39,25		42,2	II
30.10.2012	0,4	39,25		42,2	II
31.10.2012	0,6	39,62	96,91	42,6	II
1.11.2012	2,8	40,18	96,91	43,2	II
2.11.2012	0,6	3,72	99,51	4	I
3.11.2012	0	4,09	100,07	4,4	I
4.11.2012	0	4,09	93,19	4,4	I
5.11.2012	22,4	3,72	93,19	4	I
6.11.2012	1,8	23,99	114,02	25,8	I
7.11.2012	0,2	23,06	87,42	24,8	I
8.11.2012	0	22,69	87,42	24,4	I
9.11.2012	0	22,69	87,42	24,4	I
10.11.2012	0	22,69	87,42	24,4	I
11.11.2012	0	1,86	87,42	2	I
12.11.2012	0,8	0,19	87,42	0,2	I
13.11.2012	0	0,74	87,79	0,8	I
14.11.2012	0	0,74	87,79	0,8	I
15.11.2012	0	0,74	84,63	0,8	I
16.11.2012	0	0,74	66,96	0,8	I
17.11.2012	0	0,74	66,77	0,8	I
18.11.2012	0	0,00	66,77	0	I
19.11.2012	0	0,00	66,77	0	I
20.11.2012	0	0,00	66,77	0	I
21.11.2012	0,2	0,00	66,77	0	I
22.11.2012	0	0,19	66,96	0,2	I
23.11.2012	1,6	0,19	66,96	0,2	I
24.11.2012	0,2	1,67	68,45	1,8	I
25.11.2012	0	1,86	68,63	2	I
26.11.2012	0	1,86	68,63	2	I
27.11.2012	0	1,67	29,57	1,8	I
28.11.2012	0	1,67	29,39	1,8	I
29.11.2012	3,6	0,19	29,39	0,2	I
30.11.2012	0	3,35	32,36	3,6	I



Příloha 10: Hodnoty naměřené stanicí 1 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12. – 31.1.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.12.2013	0				
2.12.2013	0				
3.12.2013	0				
4.12.2013	0				
5.12.2013	0				
6.12.2013	0	0		0	I
7.12.2013	0	0		0	I
8.12.2013	0	0		0	I
9.12.2013	0	0		0	I
10.12.2013	0	0		0	I
11.12.2013	0	0		0	I
12.12.2013	0	0		0	I
13.12.2013	0	0		0	I
14.12.2013	0	0		0	I
15.12.2013	8,16	0		0	I
16.12.2013	1,02	7,59		8,16	I
17.12.2013	3,06	8,54		9,18	I
18.12.2013	0,68	11,38		12,24	I
19.12.2013	0	12,02		12,92	I
20.12.2013	0	12,02		12,92	I
21.12.2013	0	4,43		4,76	I
22.12.2013	0	3,48		3,74	I
23.12.2013	0	0,63		0,68	I
24.12.2013	0	0,00		0	I
25.12.2013	0,68	0,00		0	I
26.12.2013	0	0,63		0,68	I
27.12.2013	0	0,63		0,68	I
28.12.2013	1,02	0,63		0,68	I
29.12.2013	0	1,58		1,7	I
30.12.2013	0	1,58		1,7	I
31.12.2013	0	0,95	13,60	1,02	I
1.1.2014	0	0,95	13,60	1,02	I
2.1.2014	0	0,95	13,60	1,02	I
3.1.2014	0	0,00	13,60	0	I
4.1.2014	2,72	0,00	13,60	0	I
5.1.2014	2,72	2,53	16,13	2,72	I
6.1.2014	0	5,06	18,66	5,44	I
7.1.2014	0	5,06	18,66	5,44	I
8.1.2014	0	5,06	18,66	5,44	I
9.1.2014	0,34	5,06	18,66	5,44	I
10.1.2014	0	2,85	18,97	3,06	I
11.1.2014	0	0,32	18,97	0,34	I
12.1.2014	0	0,32	18,97	0,34	I
13.1.2014	0	0,32	18,97	0,34	I
14.1.2014	0	0,32	18,97	0,34	I
15.1.2014	0	0,00	11,38	0	I
16.1.2014	0	0,00	10,43	0	I

17.1.2014	0	0,00	7,59	0	I
18.1.2014	0	0,00	6,96	0	I
19.1.2014	0	0,00	6,96	0	I
20.1.2014	0	0,00	6,96	0	I
21.1.2014	4,76	0,00	6,96	0	I
22.1.2014	0	4,43	11,38	4,76	I
23.1.2014	0	4,43	11,38	4,76	I
24.1.2014	0,68	4,43	11,38	4,76	I
25.1.2014	0	5,06	11,38	5,44	I
26.1.2014	0	5,06	11,38	5,44	I
27.1.2014	0	0,63	11,38	0,68	I
28.1.2014	0	0,63	10,43	0,68	I
29.1.2014	0	0,63	10,43	0,68	I
30.1.2014	23,8	0,00	10,43	0	I
31.1.2014	0,68	22,13	32,57	23,8	I

Příloha 11: Hodnoty naměřené stanicí 2 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12. – 31.1.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.12.2012	0				I
2.12.2012	0				I
3.12.2012	0				I
4.12.2012	0				I
5.12.2012	0				I
6.12.2012	0	0,00		0	I
7.12.2012	0	0,00		0	I
8.12.2012	0	0,00		0	I
9.12.2012	0	0,00		0	I
10.12.2012	0	0,00		0	I
11.12.2012	0	0,00		0	I
12.12.2012	0	0,00		0	I
13.12.2012	0	0,00		0	I
14.12.2012	0	0,00		0	I
15.12.2012	8,51	0,00		0	I
16.12.2012	1,48	7,91		8,51	I
17.12.2012	4,81	9,29		9,99	I
18.12.2012	1,11	13,76		14,8	II
19.12.2012	0,37	14,80		15,91	II
20.12.2012	0	15,14		16,28	II
21.12.2012	0	7,23		7,77	I
22.12.2012	0	5,85		6,29	I
23.12.2012	0	1,38		1,48	I
24.12.2012	0,37	0,34		0,37	I
25.12.2012	2,59	0,34		0,37	I
26.12.2012	0,37	2,75		2,96	I
27.12.2012	1,11	3,10		3,33	I
28.12.2012	2,59	4,13		4,44	I
29.12.2012	0,37	6,54		7,03	I

30.12.2012	0	6,54		7,03	I
31.12.2012	0	4,13	22,02	4,44	I
1.1.2013	0	3,79	22,02	4,07	I
2.1.2013	0	2,75	22,02	2,96	I
3.1.2013	1,48	0,34	22,02	0,37	I
4.1.2013	5,55	1,38	23,40	1,48	I
5.1.2013	6,66	6,54	28,56	7,03	I
6.1.2013	0	12,73	34,75	13,69	II
7.1.2013	0	12,73	34,75	13,69	II
8.1.2013	0	12,73	34,75	13,69	II
9.1.2013	0,37	11,36	34,75	12,21	I
10.1.2013	0	6,54	35,10	7,03	I
11.1.2013	0	0,34	35,10	0,37	I
12.1.2013	0,37	0,34	35,10	0,37	I
13.1.2013	0,37	0,69	35,44	0,74	I
14.1.2013	0	1,03	35,79	1,11	I
15.1.2013	2,96	0,69	27,87	0,74	I
16.1.2013	2,96	3,44	29,25	3,7	I
17.1.2013	0	6,19	27,53	6,66	I
18.1.2013	0	5,85	26,50	6,29	I
19.1.2013	0	5,51	26,15	5,92	I
20.1.2013	0,37	5,51	26,15	5,92	I
21.1.2013	5,92	3,10	26,50	3,33	I
22.1.2013	0	5,85	32,00	6,29	I
23.1.2013	0	5,85	32,00	6,29	I
24.1.2013	2,96	5,85	31,66	6,29	I
25.1.2013	0	8,60	32,00	9,25	I
26.1.2013	0	8,26	31,66	8,88	I
27.1.2013	0	2,75	30,62	2,96	I
28.1.2013	0	2,75	28,22	2,96	I
29.1.2013	0	2,75	27,87	2,96	I
30.1.2013	12,95	0,00	27,87	0	I
31.1.2013	1,11	12,04	39,92	12,95	I

Příloha 12: Hodnoty naměřené stanicí 3 a vypočtené indexy API a parametr IPS za období 1.12.2012 – 31.1.2012

Datum	Denní srážkový úhrn [mm]	API <sub>5</sub> [mm]	API <sub>30</sub> [mm]	5 denní srážkový úhrn [mm]	IPS
1.12.2012	0				
2.12.2012	0				
3.12.2012	0				
4.12.2012	0				
5.12.2012	0				
6.12.2012	0	0,00		0	I
7.12.2012	0,2	0,00		0	I
8.12.2012	0	0,19		0,2	I
9.12.2012	0	0,19		0,2	I
10.12.2012	0	0,19		0,2	I
11.12.2012	0	0,19		0,2	I

12.12.2012	0	0,19		0,2	I
13.12.2012	0	0,00		0	I
14.12.2012	0	0,00		0	I
15.12.2012	5	0,00		0	I
16.12.2012	1,2	4,65		5	I
17.12.2012	3,6	5,77		6,2	I
18.12.2012	0,8	9,11		9,8	I
19.12.2012	0,4	9,86		10,6	I
20.12.2012	0	10,23		11	I
21.12.2012	0	5,58		6	I
22.12.2012	0	4,46		4,8	I
23.12.2012	0	1,12		1,2	I
24.12.2012	0	0,37		0,4	I
25.12.2012	4	0,00		0	I
26.12.2012	0,8	3,72		4	I
27.12.2012	0,6	4,46		4,8	I
28.12.2012	2	5,02		5,4	I
29.12.2012	0,2	6,88		7,4	I
30.12.2012	0	7,07		7,6	I
31.12.2012	0	3,35	18,80	3,6	I
1.1.2013	0	2,60	18,80	2,8	I
2.1.2013	0	2,05	18,80	2,2	I
3.1.2013	1,4	0,19	18,80	0,2	I
4.1.2013	4,6	1,30	20,20	1,4	I
5.1.2013	5	5,58	24,80	6	I
6.1.2013	0	10,23	29,80	11	I
7.1.2013	0	10,23	29,60	11	I
8.1.2013	0	10,23	29,60	11	I
9.1.2013	0	8,93	29,60	9,6	I
10.1.2013	0	4,65	29,60	5	I
11.1.2013	0	0,00	29,60	0	I
12.1.2013	0	0,00	29,60	0	I
13.1.2013	0	0,00	29,60	0	I
14.1.2013	0	0,00	29,60	0	I
15.1.2013	0,6	0,00	24,60	0	I
16.1.2013	2,8	0,56	24,00	0,6	I
17.1.2013	0	3,16	23,20	3,4	I
18.1.2013	0	3,16	22,40	3,4	I
19.1.2013	0	3,16	22,00	3,4	I
20.1.2013	0,6	3,16	22,00	3,4	I
21.1.2013	10,6	3,16	22,60	3,4	I
22.1.2013	0	10,42	33,20	11,2	I
23.1.2013	0,2	10,42	33,20	11,2	I
24.1.2013	2	10,60	33,40	11,4	I
25.1.2013	0,2	12,46	31,40	13,4	II
26.1.2013	0	12,09	30,80	13	II
27.1.2013	0	2,23	30,20	2,4	I
28.1.2013	0	2,23	28,20	2,4	I
29.1.2013	0	2,05	28,00	2,2	I
30.1.2013	13,6	0,19	28,00	0,2	I
31.1.2013	5,2	12,65	41,60	13,6	II