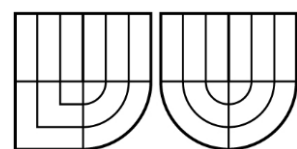


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VYUŽITÍ SENZOROVÝCH BEZDRÁTOVÝCH SÍTÍ PRO MONITOROVÁNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF MIZERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PATRIK MORÁVEK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Josef Mizera
Ročník: 3

ID: 119538
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce bude detailní návrh aplikace bezdrátové senzorové sítě pro zvolený environmentální problém. Práce se bude skládat z úvodního studia problematiky monitorování životního prostředí a průzkumem současných problémů této oblasti. Po zvolení konkrétní oblasti, kde s výhodou mohou být senzorové sítě nasazeny, student provede podrobnou analýzu situace a zpracuje návrh senzorové sítě a celé aplikace pomocí dostupných komerčních řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CENIA, Zpráva o životním prostředí České republiky v roce 2008, [online]
URL<http://www.strukturalnifondy.info/data/Zprava_ZP_CR_2008.pdf>
- [2] FENG, Z., LEONIDAS, G. Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach. Morgan Kaufmann publishers Inc., 2004. 376 s. ISBN 1-55860-914-8.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

Vedoucí práce: Ing. Patrik Morávek

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na využití bezdrátových sensorových sítí pro monitorování životního prostředí. Bezdrátové sensorové sítě se k těmto účelům v dnešní době využívají čím dál více. Tato technologie má velké výhody proti kabelovým sítím, hlavně co se týká obtížnosti jejich realizace.

Práce obsahuje popis bezdrátových sensorových sítí, normy a specifikace využívané u těchto sítí. Jaké požadavky jsou kladeny na software zpracovávající data přijatá ze sensorů, jakým způsobem je signál šířen.

Jsou zde uvedeny příklady aplikací, kde se bezdrátové sensorové sítě využívají. Z jakých důvodů se zde tyto sítě začali využívat a v čem ulehčili práci v dané oblasti, nebo jaký problém je pomocí těchto sítí řešen.

V poslední části práce je dle zadání návrh aplikace pro monitorování lesních požárů v oblasti Komonce pomocí bezdrátových sensorových sítí, kde by mohlo být využití bezdrátové sensorové sítě přínosem.

Klíčová slova: bezdrátová sensorová síť, WSN, ZigBee, IEEE, Fresnelova zóna, vlna, frekvence, senzor, WI-FI.

Abstract

This work is focused on usability of wireless sensor networks for monitoring environment. Wireless sensor networks are used more and more for this purposes. This technology has great advantages in comparison with cable networks, mainly in difficulty of their realization.

This work contains a description of wireless sensor networks, norms and specifications used for these networks. Requirements on software processing data from sensors and how the signal is distributed.

There are examples of applications where wireless networks are used. The reasons why these networks began to be used and in what way they eased the work in such area or problems that are solved by these networks.

In the last part of my work is a design of application for monitoring of forest fires in area of Komonec by using wireless sensor networks where it should be beneficial.

Key words: wireless sensor network, WSN, ZigBee, IEEE, Fresnell zone, wave, frequency, sensor, WI-FI.

Bibliografická citace mé práce:

MIZERA, J. *Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Patrik Morávek.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Využití senzorových bezdrátových sítí pro monitorování životního prostředí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Patriku Morávkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1. Bezdrátové sensorové sítě.....	9
Charakteristické vlastnosti uzlů:.....	9
1.1 Normy a specifikace.....	10
1.1.1 Standardy pro komunikaci WSN.....	10
1.2 Software	11
1.3 Bezdrátová komunikace mezi uzly	11
1.3.1 Komunikace mezi uzly v prostředí lesa.....	14
2. Aplikace bezdrátových sensorových sítí	15
2.1 Monitorování veličin těžko dostupných prostředí	15
2.2 Automatické řízení energie v budovách	16
2.3 Detekování lesních požárů pomocí bezdrátových sensorových sítí	16
2.4 Strukturální monitorování větrných elektráren pomocí bezdrátových sensorových sítí ..	19
2.5 Monitorování zemědělských skleníků za využití bezdrátových sensorů a SMS	21
2.6 Monitorování kvality vody	22
2.7 Monitorování regenerace tropických deštných pralesů	23
3. Návrh aplikace monitorování lesních požárů v oblasti Komonce pomocí WSN	24
3.1 Komonec	24
3.2 Cíle projektu.....	25
3.3 Princip detekce požáru.....	26
3.3.1 Fáze požáru.....	26
3.4 Požadavky, omezující podmínky.....	27
3.5 Analýza oblasti terénu	27
3.6 Volba sensorů.....	28
3.6.1 LibeliumWaspote	29
3.6.2 Crossbow IRIS	30
3.6.3 TinyNode 584	31

3.6.4	IMOTE2	31
3.6.5	Tabulka pro srovnání	32
3.7	Výběr komunikačního protokolu	34
3.7.1	ZigBee	34
3.7.2	6LoWPAN.....	35
3.8	Volba topologie projektu	36
3.8.1	Topologie Fully connected (plně propojená)	37
3.8.2	Topologie MESH	37
3.9	Navržená topologie	38
3.10	Popis funkce sítě.....	40
3.11	Upevnění senzorů.....	42
3.12	Kalkulace materiálu	43
Závěr	45

1. Bezdrátové senzorové sítě

Bezdrátové senzorové sítě WSN (wireless sensors network) se skládají z prostorově rozmístěných bezdrátových senzorů, které monitorují fyzikální parametry, jako je například teplota, zvuk, tlak, pohyb osob a mnoho dalších. Vývoj těchto sítí byl motivován pro vojenské aplikace například pro dohled nad bojištěm. WSN se ovšem v dnešní době nepoužívají pouze pro vojenské účely, ale jejich uplatnění se našlo v mnoha průmyslových i civilních aplikacích. Pro monitorování a kontrolu životního prostředí, pracovních stanovišť, zdravotnických aplikací, řízení dopravy i domácí automatizace. Kromě toho, že WSN obsahuje jedno nebo více čidel, je každé samostatné čidlo vybaveno radiovým vysílačem nebo jiným bezdrátovým komunikačním zařízením, malým mikro kontrolérem a zdrojem elektrické energie, většinou baterie. Každý snímač (uzel) se může od sebe lišit velikostí. Od velikosti krabice bot po velikosti minimálních rozměrů, které ovšem ještě nejsou dokonalé. Dobře fungující senzory v této velikosti musejí být ještě vyvinuty. Také náklady na tyto snímače mohou být velice rozdílné, ceny se pohybují od desetitisíců po koruny. Cena je závislá jak na velikosti provedení tak, také na složitosti a jejich schopnostech, paměti, spotřebě energie, výpočetní rychlosti a způsobu komunikace. Senzorové sítě většinou pracují na bezdrátové komunikaci typu multi-hop, což znamená, že každé čidlo v síti zasílá své naměřené informace do cílové stanice pomocí jiných uzlů[17].

Charakteristické vlastnosti uzlů:

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

1.1 Normy a specifikace

Vývojem a schvalováním norem v oblasti bezdrátových sensorových sítí se v dnešní době zabývá několik organizací. Jednou z nejvíce známých norem je IEEE, která především pracuje s fyzickou vrstvou a adresami MAC. Jedna z dalších norem pracujících o tři vrstvy výše, než IEEE, na transportní vrstvě, je norma Internet EngineeringTaskForce.

Kromě organizací jako je Mezinárodní společnost pro automatizaci, která se zabývá řešením pokrývajícím všechny protokolové vrstvy, se dnes objevují také takové organizace, které začínají využívat nestandardní specifikace, co doposud nejsou normalizovány.

1.1.1 Standardy pro komunikaci WSN

- ISA 100
 - je definována Mezinárodní společností pro automatizaci (ISA) a stanovuje normy a informace, které definují postupy pro vytvoření bezdrátových systémů pro automatizaci a životní prostředí. Více o tomto standardu lze nalézt v[12].
- IEEE 1451
 - Tento standard byl vytvořen pro usnadnění zařazení snímačů do libovolné nadřazené sítě způsobem plug and play. Další informace viz [13].
- 802.15.4.
 - Standard specifikující fyzickou vrstvu a řízení přístupu k médiu pro nízko rychlostní osobní bezdrátové sítě[13].
- ZigBee
 - Komunikační technologie založená na IEEE 802.15.4. Tato technologie je určena pro spojení nízko výkonových zařízení na malou vzdálenost asi do 75m. ZigBee využívá komunikace typu multi-hop, což umožňuje komunikaci i na větší vzdálenosti bez přímé viditelnosti. Více viz[14].

- EnOcean
 - Bezdrátová technologie získávající energii z přírodních zdrojů, která byla vyvinuta pro umožnění výroby snímačů bez baterií. Využívá se především u automatizačních systémů ve stavebnictví. Nepatří mezi stanovené normy, ale je licencována a patentována v rámci EnOcean aliance. Viz [15].

- IETF RPL
 - Protokol pro nízko úroňové a ztrátové sítě. Propojení mezi oběma routery je omezené, tyto routery obvykle pracují pouze na výpočetní výkon. Podrobnější informace jsou k dispozici, v [16].

1.2 **Software**

Spotřeba elektrické energie je jednou z nejdůležitějších věcí při vytváření softwaru pro uzly WSN, určuje totiž i jejich životnost. Tyto sítě bývají nasazeny v různých oblastech, v nepřátelských prostředích a podobně, proto se při vývoji softwaru berou v potaz tyto otázky[10]:

- Maximalizace životnosti,
- odolnost vůči chybám,
- konfigurace - snadné nastavení uzlu pomocí softwaru,
- zabezpečení,
- schopnost ovládní uzlu, i pokud je uzel v pohybu.

1.3 **Bezdrátová komunikace mezi uzly**

Aby mohla bezdrátová sensorová síť fungovat, musí mezi sebou jak senzory, tak ostatní prvky použité v síti komunikovat. Bezdrátová komunikace je založena na principu šíření elektromagnetických vln.

Šíření elektromagnetických vln je popsáno pomocí Maxwellových rovnic, které uvádějí, že mění se pole magnetické vytváří pole elektrické a mění se pole elektrické vytváří pole magnetické. Elektromagnetické vlny jsou schopny se šířit samy. Ve volném prostoru se tyto vlny šíří ve všech směrech od zdroje a mají kulový tvar. S rostoucí vzdáleností od tohoto zdroje elektromagnetických vln se zvětšuje i jejich průměr. Polarizace vlny v daném bodě je dána vektorovým součinem intenzity elektrického pole E a intenzity magnetického pole H . V ideálním případě by měla být polarizace přijímací antény stejná jako přijímané vlny, což znamená, že musí být stejná polarizace jak vysílací tak přijímací antény.

$$P = E \cdot H \quad (1.1)$$

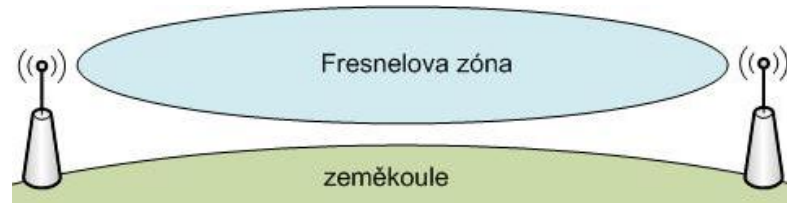
Tento vektorový součin se nazývá Poyntingův vektor. Pokud tento vektor vydělíme charakteristickou impedancí volného prostoru, získáme hustotu energie elektromagnetického pole.

$$S = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \quad [W/m^2] \quad (1.2)$$

Stále uvažujeme, že se signál šíří volným prostorem, kde je viditelnost od přijímače na vysílač. Taková situace se vyskytne jen zřídka. Jako první parametr, který narušuje přímou viditelnost, zakřivení zeměkoule, tento problém se vyskytuje zejména při velké vzdálenosti vysílače od přijímače. Zakřivení zeměkoule způsobí výškový rozdíl mezi jednotlivými zařízeními. K výpočtu výškového rozdílu použijeme základního geometrického vzorce Pythagorovy věty, k jejímu aplikování ještě bude třeba znát poloměr zeměkoule.

Většina případů šíření signálu není tak snadná, protože má v cestě překážky. Existuje několik způsobů, kterými se signál může šířit v prostředí s nepřímou viditelností. Velmi často se pro nepřímé šíření signálu využívají VHF (very highfrequency – velmi vysoká frekvence) a UHF (ultra highfrequency). V případě, že neexistuje cesta přímé viditelnosti, jsou ale pro šíření signálů dominantní tyto parametry: difrakce, refrakce, odrazy vln. Jako difrakce vlnění se označuje ohyb vlnění, jsou to jevy, které vznikají při průchodu otvorem nebo kolem nějaké překážky a způsobují narušení vlnění. U elektromagnetických vln jsou vlny šíření kulové, tento jev pro kulové vlny je popsán pomocí Fresnelových zón. Fresnelova zóna je oblast mezi přijímačem a vysílačem, která má tvar elipsoidu, takže uprostřed tohoto elipsoidu má

Fresnelova zóna největší průměr. S rostoucí vzdáleností mezi vysílačem a přijímačem se zvětšuje také průměr této zóny.



OBRÁZEK 1 - FRESNELOVA ZÓNA

Pokud bychom chtěli kvalitní přenos, musela by tato zóna být úplně bez překážek, to ovšem není tak jednoduché, na 1000m má průměr Fresnelovy zóny v nejširším bodě cca 5,6 m, takže stačí vyšší dům, nebo stožár a Fresnelova zóna bude narušena. Narušení této zóny neznamena podstatné snížení velikosti přenášené vlny, ale vzniknou zde odražené signály, které naruší kvalitu datového toku a snižují přenosovou rychlost. V nejhorším případě by měla Fresnelova zóna být volná alespoň z 60%. Pokud není, častokrát se vyplatí pouze zvednout vysílač a přijímač výš.

Vzorec pro výpočet poloměru Fresnelovy zóny:

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1.3)$$

Kde: r ... poloměr Fresnelovy zóny v bodě P, d_2 ... vzdálenost přijímače od bodu P

n ... pořadí F. Z. λ ... vlnová délka $\lambda = \frac{c}{f}$

d_1 ... vzdálenost vysílače od bodu P

Dalším parametrem omezujícím šíření signálu v prostředí bez přímé viditelnosti je refrakce. Pokud se vlna nesoucí signál dostane na rozhraní dvou rozdílných prostředí, ve kterých je pro vlnu různá fázová rychlost, dochází zde ke změně směru šíření vlny. Refrakce je označována jako lom vlnění. Tato vlastnost je popsána pomocí Huygensova principu. Tento princip říká, že po průchodu vlny rozhraním dvou prostředí, vzniká v každém bodě nový zdroj vlnění.

Posledním z hlavních parametrů omezujících šíření vlny v prostředí bez viditelnosti je odraz vlnění. Při narazení vlny na rozhraní dvou prostředí, zde dochází k úplnému nebo částečnému odrazu zpět do prostředí. Platí zde zákon odrazu, který je platný pro všechny druhy vlnění. Zákon zní, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Odraz ovšem může být buď úplný, nebo jen částečný. Záleží na prostředí, od kterého se vlnění odráží.

1.3.1 **Komunikace mezi uzly v prostředí lesa**

Prostředí lesa způsobuje útlum radiových vln a snižuje komunikační dosah radiových zařízení. Při navrhování bezdrátové senzorové sítě v takovémto prostředí, musíme počítat se znalostmi velikosti přenosových ztrát v přítomnosti listů a stromů. Model pro útlum vzhledem k vegetaci se udává rovnicí:

$$A_{EV} = A_m \left(1 - e^{-d\gamma / A_m} \right).$$

Kde: d ... vzdálenost mezi uzly

γ ... specifický útlum na vzdálenost 1m (dB/m)

A_m ... maximální útlum konkrétního uzlu v prostředí lesa (dB).

V tomto modelu se samozřejmě počítá také s ostatními rušivými jevy a šířením signálu ve volném prostoru.

2. Aplikace bezdrátových senzorových sítí

V kapitole aplikace bezdrátových senzorových sítí bude uvedeno několik konkrétních případů, kde se WSN využívají. Bude zde znázorněno, v jakých situacích mohou bezdrátové senzorové sítě pomoci a z jakých důvodů se WSN začaly využívat. V některých kapitolách budou uvedeny škody, které vznikly dříve, než se v těchto místech začaly bezdrátové senzorové sítě využívat. Také se zde objeví některé fyzikální veličiny, které jsou monitorovány pomocí bezdrátových senzorových sítí. Z některých příkladů aplikací vyplyne, že WSN ušetří člověku práci, ale také náklady na energii.

2.1 Monitorování veličin těžko dostupných prostředí

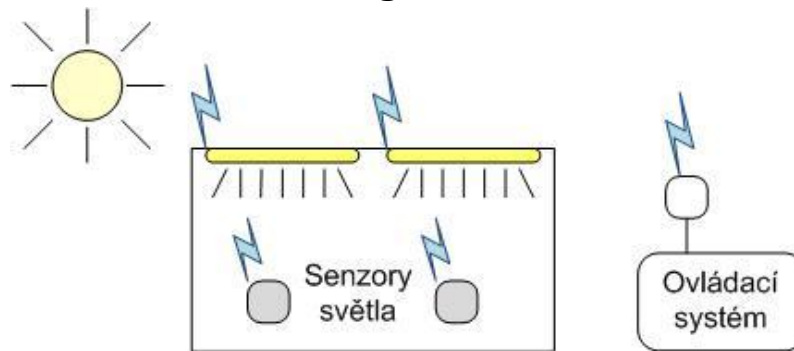
Výzkumníci v americké Kalifornii používají bezdrátové senzorové sítě ke studiím amerických národních stromů (sekvojí). Na kalifornské univerzitě Berkeley se studenti profesora Todda Dawsona nemusí bát výšek.

Do roku 2003 museli šplhat do korun až 90 metrových sekvojí s třináctikilogramovým vybavením obsahujícím senzory, datové záznamníky o velikosti malé tiskárny včetně kabelů, proto aby pak mohly pomocí těchto dat zkoumat teplotu, vlhkost, mlhu.

V roce 2003 však začal spolupracovat s profesorem počítačových věd Davidem Cullerem, který začal využívat miniaturní bezdrátové senzory pro měření kritických veličin jako je například světlo, teplota, vlhkost, bez kterých sekvoje nemohou růst.

Culler s Dawsonem v první fázi umístily na 3 sekvoje 50 senzorů, které kontrolovaly tyto veličiny. V další fázi profesor Culler objevil senzory pro snímání pohlcování vody a mlhy, která udává důležité informace o geografickém umístění sekvojí. Tyto geografické údaje jsou pro ně velice důležité, protože by chtěli pochopit proč tyto mlhy, které jsou většinou v pásech, způsobují plesnivění a následný úhyn těchto stromů[9].

2.2 Automatické řízení energie v budovách



OBRÁZEK 2 – SCHEMA ŘÍZENÍ SVĚTLA V BUDOVÁCH

Bezdrátových sítí se používá u stmívatelných zářivkových světel. Pomocí bezdrátových senzorů se v případě dostatečného okolního osvětlení automaticky ztlumí svítivost zářivky, tím pádem dochází ke snížení nákladů za energie.

Použitím těchto senzorů se vytvoří jednoduchý bezdrátový systém s minimálním poškozením stávající budovy a s velmi nízkými náklady.

Stmívatelné zářivky jsou v dnešní době vyráběny včetně předradníku se samotným bezdrátovým senzorem. To znamená, že jejich aplikování není nijak složité. Tato vlastnost je jedním z důvodů, proč se tak často montují do nově stavěných budov, ve kterých monitorují svícení v kancelářích, dílnách atd. Monitorování denního světla bezdrátovými senzory dokáže běžně ušetřit 10 – 40 % nákladů.

Bohužel tyto systémy není ekonomicky vhodné zabudovávat do starších budov, pokud tato budova neprochází kompletní rekonstrukcí. Například v USA je nyní jen z tohoto důvodu 6biliónů čtverečních metrů pracovní plochy ekonomicky neatraktivní.

Globální osvětlení spotřebuje více než 2000TWh ročně, což odpovídá asi 2,9miliardy tun CO₂ ročně. Množství spotřebované energie je u vyspělých zemí mnohem nižší (Nizozemsko 5%), než u rozvojových zemí (Tanzanie 64%). Je to způsobeno užíváním ovladatelných zářivek ve vyspělých zemích [3].

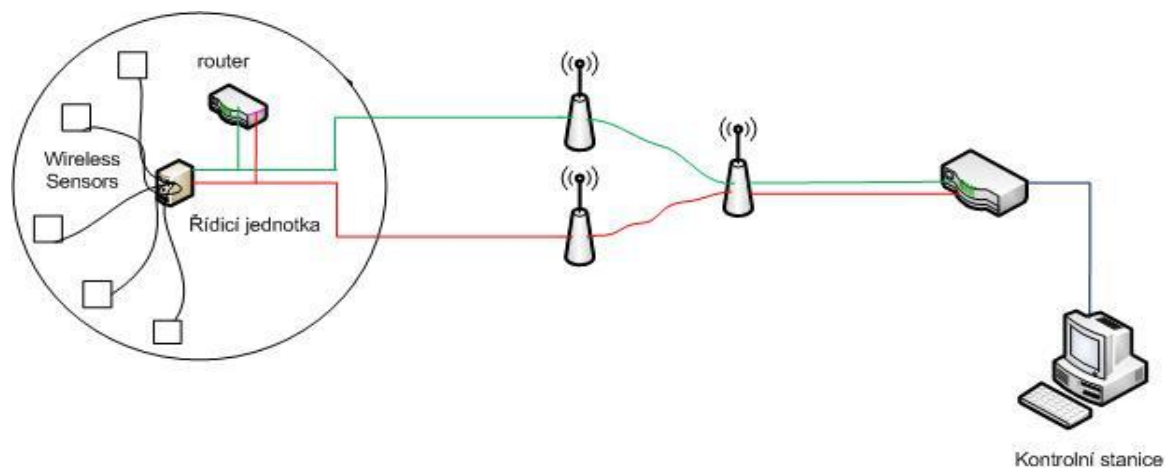
2.3 Detekování lesních požárů pomocí bezdrátových sensorových sítí

V roce 2007 v Řecku zahynulo nejméně 80 lidí a shořelo 2711km² půdy. V tom samém roce bylo v Kalifornii zdevastováno plameny 2027km² půdy a zahynulo nejméně 14 osob.

Mimo preventivní opatření je včasné zjištění požáru jediný způsob jak minimalizovat škody a oběti.

Dimap-FactorLink pod názvem SISVIA uvedla projekt pro ochranu životního prostředí, vyvinula integrovaný detekční systém lesních požárů s použitím produktů Libelium. Pokrytá plocha je cca 210ha půdy v oblasti severního Španělska. Cílem tohoto projektu bylo sledování životního prostředí, s možností upozornění a zajištění včasného varovného poplachu.

Projekt se skládá ze tří základních částí: bezdrátové senzorové sítě, komunikační síť, přijímací středisko.



OBRÁZEK 3 OBECNÉ SCHÉMA SYSTÉMU DETEKCE POŽÁRU

Ve strategických místech jsou měřeny 4 parametry každých 5 minut, a to:

- a) Teplota,
- b) vlhkost vzduchu,
- c) oxid uhelnatý (CO),
- d) oxid uhličitý (CO₂).

Tyto 4 senzory měřící uvedené parametry jsou připojeny k desce, která obsahuje elektroniku pro snadné připojení hardwaru senzorů různých plynů.

Každý ze senzorů je konfigurovatelný, napájecí napětí se řídí samostatně a je možno každý z těchto 4 druhů senzorů ovládat v reálném čase. Toto nám umožňuje zaměřit se na větší přesnost v oblasti zájmu.

Většina snímačů je ovlivněna třemi parametry: relativní vlhkost, atmosférický tlak, teplota. Proto Libelium nabízí desku, ke které jsou připojeny senzory různých plynů. Toto minimalizuje chybu a zvýší přesnost údajů.

Pokud některý ze 4 měřených parametrů překročí nastavenou hranici, tak systém analyzuje informace a zašle je na hasičskou stanici. Zde budou okamžitě vědět, kde se oheň s přesností nachází, protože každý z těchto systémů využívá GPS, který poskytuje přesné informace o poloze a času. Díky real-time detekování hasiči budou vědět, jakým směrem se oheň šíří, což je důležité proto, aby znali chování ohně.

Jednou z hlavních charakteristik tohoto systému je jeho nízká spotřeba elektrické energie:

- 1) režim online 9mA,
- 2) režim hibernace 62 μ A,
- 3) režim spánku 0,7 μ A.

Systém spí, nebo většinu času hibernuje, aby se šetřila baterie. Tato doba je dána konfigurací uživatele. Po probuzení systém vyčte ze sensorů data. Pomocí rádiové komunikace je zašle do přijímacího střediska a ukládá se opět ke spánku. Každé zařízení je napájeno pomocí dobíjecí baterie, která je nabíjena solárním panelem.

Systém je možno použít ve vzdálenosti 40km, a díky jeho vysokému výkonu je spolehlivý a přesný.

Pro pomoc přenosu dat, sběr informací a jejich zaslání se zde používá MESHLIUM. Je to multiprotokolový směrovač, který je schopen propojit až 6 protokolů:

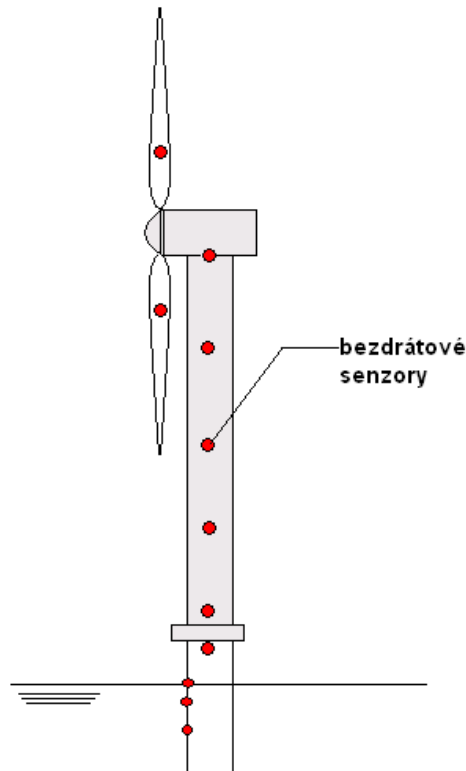
- WSN: 802.15.4 / ZigBee,
- WiFi: 2.4GHz nebo 5GHz při vysokých nebo nízkých výkon,
- GPRS: Quadband,
- Bluetooth: komunikaci s mobilními telefony nebo PDA,
- GPS,
- Ethernet.

V tomto případě MESHLIUM shromažďuje údaje z bezdrátové sítě ZigBee a zasílá je do přijímacího střediska pomocí WI-FI. MESHLIUM je napájen pomocí solárního panelu, takže je možno jej mít umístěn přímo ve venkovních podmínkách.

Až jsou data uložena v databázi, je možné je zpracovávat pomocí ovládacího panelu s grafickým informačním rozhraním. Firma SISVIA má v tomto rozhraní implementovány 2D nebo 3D mapy[7].

2.4 Strukturální monitorování větrných elektráren pomocí bezdrátových sensorových sítí

Monitorování větrných elektráren může pomoci odvrátit neplánované prostoje kvůli poruše komponent. Bezdrátové senzory se ukázaly jako levný a flexibilní systém pro toto monitorování. Díky výpočetním schopnostem, které jsou vestavěny přímo v senzoru, je systém schopen měřit dynamické odezvy. Větrné elektrárny jsou stále hodně velmi oblíbeným zdrojem elektrické energie ve větrných oblastech. I když jsou tyto elektrárny výhodné, existuje několik činitelů, které tyto zdroje energie posouvají trochu zpět. Je to například korodování nožů. Je zde možnost, že se může z pohybující se elektrárny něco uvolnit a zranit lidi v okolí. Selhání čepele způsobilo ve Skotsku v roce 2005 škody za 37,5milionu korun. Při výstavbách nových elektráren bylo povšimnuto, že těmto problémům se dá vyhnout pomocí neustálé kontroly větrných elektráren. Z důvodů nejen ekonomických se pro toto monitorování zvolily bezdrátové sensorové sítě. Jsou jednak levnější než klasické kabelové sítě, ale také se snáze instalují. V případě nouzové demontáže se také dají velice snadno odinstalovat. Pro ilustraci užitečnosti bezdrátových sítí byl tento systém zaveden ve dvou větrných elektrárnách v Německu.



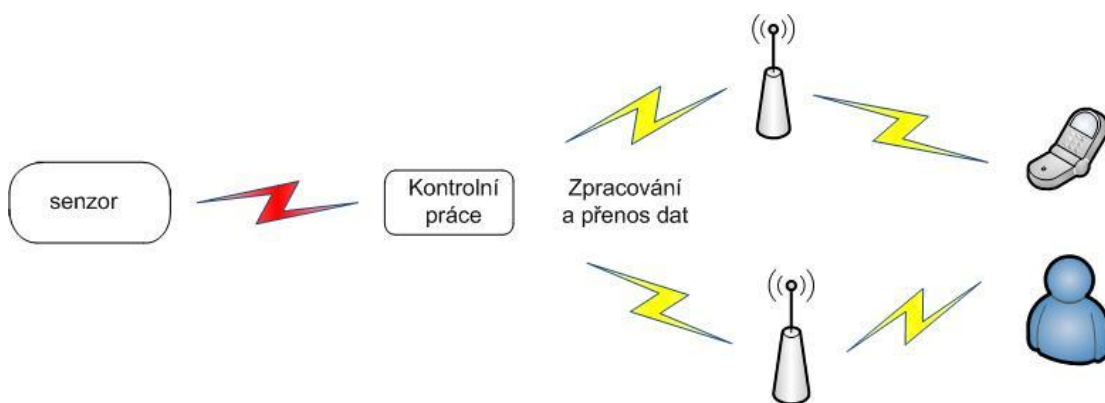
OBRÁZEK 4 LOW-COST WIMMS BEZDRÁTOVÉ SENZORY NAVRŽENÉ PRO STRUKTURÁLNÍ SLEDOVÁNÍ VĚTRNÝCH TURBÍN

Obě dvě větrné elektrárny, na kterých byla tato studie provedena, jsou ocelové věže přišroubovány k betonovému základu a generátory jsou umístěny na horní kruhové oceli. Věže jsou duté s pravidelnými ocelovými přepážkami, pro zabránění pádu celé věže. Nad každou z přepážek jsou umístěny 4 bezdrátové senzory. Ke každému z těchto senzorů jsou připojeny dva akcelometry, které zjišťují pohyb ve dvou směrech X a Y. Další dva senzory jsou umístěny ve spodní části věže. Tyto senzory měří dva směry celkového pohybu věže. Data ze senzorů jsou přenášena na notebook, který je umístěn v základně věže. Pro srovnání přesnosti a kvality jsou dva akcelometry připojeny paralelně pomocí koaxiálních kabelů. Pro vyhodnocení výsledků je zhotoven software ve vývojovém prostředí MATLAB. Tento software je nazván DIAMOND a byl navržen pro praktické zjednodušení vyhodnocení dat.

Bezdrátové sensorové sítě budou důležité pro další rozvoj větrných elektráren, protože prokázáním jejich účinnosti se budou moci demonstrovat první fáze tvorby větrných elektráren a budovat jejich první modely. Monitorování by se hlavně mělo zaměřit na dlouhodobé sledování zatížení a reakce turbíny za různých podmínek, a zároveň na polohu turbíny vzhledem k věži [6].

2.5 Monitorování zemědělských skleníků za využití bezdrátových senzorů a SMS

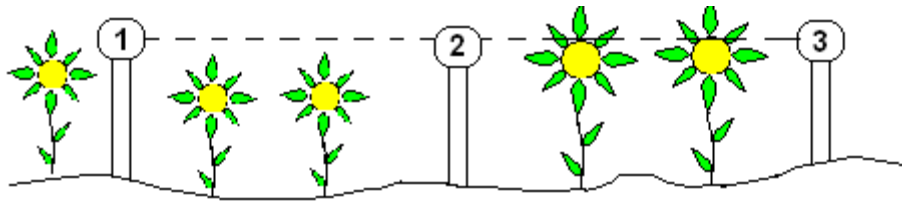
Tradiční způsob hospodaření je, že lidé navštěvují skleníky a měří ručně pomocí měřících přístrojů teplotu a vlhkost, což se zdá jako velmi časově náročný úkon. Cílem tohoto systému bylo vyvinout kontrolu teploty a vlhkosti pomocí bezdrátových senzorů a SMS zpráv. Tento systém zasílá pomocí SMS zpráv zemědělcům změny teplot a ti podle těchto změn můžou uvážit, co mají dělat pro svůj skleník. Nemusí tam chodit, zbytečně kontrolovat jaká teplota a vlhkost ve skleníku je. Pro zemědělce je využívání bezdrátových senzorových sítí vhodné i pro kontrolu vody a půdy. Tento systém je hlavně ekonomicky velice dostupný i pro menší zemědělce. Díky cenové dostupnosti bezdrátových senzorů oproti obyčejným kabelovým sítím, se může snižovat i cena, což je přínosem nejen pro samotné zemědělce, ale i pro spotřebitele.



OBRÁZEK 5 - ARCHITEKTURA SYSTÉMU

Tímto systémem se dá také podle naměřených hodnot automaticky řídit spouštění zavlažování, požárních hasičů nebo zapnutí ventilátorů. Systém sledování teploty a vlhkosti ve skleníku se osvědčil, ale do budoucna by se mohl rozvinout o další aplikace jako je například kyselost půdy [4].

V zemědělství se bezdrátových senzorových sítí (WSN) nevyužívá pouze ve sklenících, ale i v jiných oblastech. WSN mohou dokonce přispět ke snížení požárů na pastvinách. Sensory snímají velikost porostu trávy a keřů, díky nimž pastevci vědí, kam mají umístit své stádo, aby vypásalo nežádoucí vysoký porost. Tím pádem ubývá vyschlé trávy, která by mohla lehce vzplanout v požár.



OBRÁZEK 6 - SNÍMÁNÍ RŮSTU ROSTLIN

WSN používají v provincii Palermo na Sicílii v Itálii. Tento systém využily ve skleníku s cuketami. Rostlinná výroba na Sicílii v posledních letech hodně vzrostla a je ekonomicky velmi důležitá. Proto je také velmi důležitá kontrola samotného procesu dozrávání a tomu pomáhají bezdrátové senzory. Využívají se pro měření hlavních parametrů prostředí (teplota, vlhkost) uvnitř skleníku. Snímají se ale také i okolní parametry. Jeden z případů je skleník s cuketami, který je složen ze tří polí každé má asi 30m na délku a 8m na šířku, výška skleníku je 3,9m. Uprostřed tohoto skleníku jsou svisle umístěny 3 uzly ve výšce 1,4m, 2,1m, 3m. Každý ze senzorů je umístěn v krabici s baterií a měří teplotu a vlhkost vzduchu. Naměřená data jsou přenášena bezdrátovou komunikací v pásmu ISM s frekvencí 433MHz. Díky datům získaným těmito senzory se mohou pěstitelé zařídit a ovlivnit mikroklimatické podmínky (větrání, apod.)[5].

2.6 Monitorování kvality vody

Pitná voda je složitý dynamický systém zahrnující povodí, řeky, jezera recyklované vody. Bezdrátové senzorové sítě nabízí integrované nástroje pro sledování všech aspektů vodovodního systému. Poskytují správcům zdrojů vody informace, které potřebují pro zajištění vysoké kvality pitné vody, která je potřebná pro zdravý život.

Tento systém využívají například v jezeře Wivenhoe v Austrálii. Společenská vědecká a průmyslová výzkumná organizace CSIRO v Austrálii se spojila s vodoprávním úřadem pro jihovýchodní oblast Queenslandu Seqwater a spolu vyvinuli největší integrovanou bezdrátovou senzorovou síť pro monitorování pitné vody. Jezero Wivenhoe je jedním z největších zdrojů pitné vody pro jihovýchodní Queensland, jeho plocha zabírá velikost města Brisbane a zásobuje asi 1,5 milionu obyvatel. Pro sledování tak velké plochy vody je nasazeno více než 100 uzlů bezdrátové technologie, které sledují environmentální podmínky na jezeře Wivenhoe a v jeho povodí. Tato síť je ekonomicky dostupná, a jsou v ní integrovány

další okolnosti potřebné pro monitorování kvality vody, jako je například počasí, pohyb dobytka na pastvinách v povodí, vysoké srážky, sucho, znečištění okolních cest a to vše v real-time. Jen na jezeře je umístěno 45 plovoucích uzlů, které měří teplotu vody v různých hloubkách. Dalších 25 uzlů je instalováno na okolních pozemcích pro měření mikroklimatu (teplota vzduch, vlhkost vzduchu, vlhkost půdy, směr a rychlost větru). A Další asi 30 uzlů je umístěno v podobě obojků na dobytku. Tyto uzly slouží k monitorování jejich pohybu, ale dají se také využít v omezení jejich pohybu jako elektrické ploty. Všechny senzory mezi sebou spolupracují v husté síti, což znamená, že všechna data musí být přenesena do centrálního počítače pro jejich sběr a následnou analýzu. CSIRO také navrhly sluncem poháněný katamarán, který na jezeře objíždí samostatné uzly a shromažďuje z nich požadované údaje. Laserový senzor nad lodí umožňuje vyhnout se překážkám a najetí na břeh. Tento katamarán lze ovládat také pomocí webového rozhraní nebo PDA, takže není nutno jezdit k jezeru a shromažďovat data [2].

2.7 Monitorování regenerace tropických deštných pralesů

Síť bezdrátových senzorů se také využívá ke sledování regenerace deštného pralesa SpringBrook Queensland. Tyto senzory jsou zde umístěny v oblastech otevřených pastvin. Pomocí WSN se dá zkoumat regenerace starých porostů deštného pralesa. Těmito sítěmi se monitoruje mikroklimatické ukazatele (teplota, vlhkost, vlhkost listí, vlhkost půdy, směr a rychlost větru). WSN poskytují cenné informace pro zkoumání změny vlastností půdy, biologické rozmanitosti, celkové fungování deštných pralesu za dopadu změn klimatu. Síť obsahuje kolem 200 uzlů a v dnešní době by snímače měly mít schopnosti detekovat další údaje, jako je déšť, mlha, kvalita vody. Také se do sítě zahrnou uzly pro akustické monitorování žab, ptáků a netopýrů. Případně se monitorování rozšíří o video monitorování pro automatickou identifikaci druhů a kontrolu jejich trendů. Každý sluncem napájený senzor má dosah přibližně 500 m. Přenos dat je uskutečněn přes řadu dalších uzlů až do základní stanice, kde se data nahrají na webové rozhraní pro následnou analýzu. Klíčovým problémem těchto sítí je energetická nenáročnost. Přenos dat mezi uzly, zpracování audia a videa musí být řízeno tak, aby měly co nejmenší spotřebu z důvodu napájení pouze solárním panelem. Další výzkum v tomto odvětví se bude zaměřovat např. na kvalitnější řízení spotřeby energie [1].

3. Návrh aplikace monitorování lesních požárů v oblasti Komonce pomocí WSN

3.1 Komonec

Komonec je nejvyšší vrchol střední části Vizovických vrchů, severně od Luhačovic. Jeho výška je 672 m.n.m. Je umístěn mezi třemi vesnicemi, ze kterých je na něj snadný přístup a to Provodov, Podhradí, Horní Lhota.

V srpnu roku 1992 zde vypukl rozsáhlý lesní požár s rozlohou asi 30ha. Podle znaleckých posudků požár vznikl neopatrností turistů, kteří zde odhodili sklenici. V tomto suchém období způsobilo působení slunečních paprsků takové teplo, že se suchý porost lehce vznítit. Zasahovalo zde 8 hasičských sborů jak profesionálních tak i dobrovolných a z důvodu špatné dostupnosti muselo být využito i leteckého hašení.

Pokud by v roce 1992 již existoval systém detekce lesního požáru, náklady na uhašení i celkové ztráty by mohly být mnohem nižší, protože by systém zjistil, že vypukl požár téměř hned při jeho vznícení. Tím pádem by se hasičské jednotky z okolí dozvěděli o této události a okamžitě by mohly zasáhnout a nedopustit tak velké škody. Ukážeme si tři druhy požárů, které se v lesích objevují. Pokud by se v oblasti Komonce využíval nějaký detekční systém, mohli by zde hasiči zasáhnout již v případě prvním (obrázek A), to se ovšem nestalo a hasičské sbory z okolí dorazily až ve druhém případě (obrázek B), oheň nedokázaly hned zastavit kvůli nepřístupnosti, tím pádem se požár dostal až do stádia třetího (obrázek C), se kterým už se bojuje velmi těžce. Po dlouhém boji se to ovšem povedlo. Ještě týden po této události se zde střídali kontroly složené z dobrovolných hasičů okolních vesnic a hlídaly tuto oblast, aby se požár znovu nevznítit.



OBRÁZEK 7- A) MÍRNÝ POVRCHOVÝ POŽÁR, B) INTENZIVNÍ POVRCHOVÝ POŽÁR,
C) ROZVINUTÝ AKTIVNÍ POŽÁR

Téměř na vrcholu se nachází vysílač nazván Dolní Lhota, Vrch Komonec, od kterého je po požáru stále dobrý výhled na okolí, protože se stromová porost ještě nedokázal vrátit do předchozího stavu. Lesní správa zde sice vysadila nové stromy, ale než tyto stromy vyrostou do velikosti shořelých stromů, bude to trvat desítky let. Tento vysílač se v dnešní době využívá pro analogové televizní vysílání a Wi-Fi antény a je ve správě českých radiokomunikací. Vzhledem k tomu, že je vysílač téměř uprostřed celého Komonce a je od něj dobrá viditelnost na jednu z okolních vesnic Dolní Lhotu, můžeme tento vysílač využít pro naši aplikaci využití bezdrátové senzorové sítě pro monitorování lesních požárů v oblasti Komonce.



OBRÁZEK 8 - VYSÍLAČ VRCHOL KOMONEC

3.2 Cíle projektu

Cílem projektu bude návrh aplikace pro monitorování veličin v oblasti Komonce, které jsou potřebné pro zjištění požáru v dané lokalitě. Samozřejmě nejen pro tyto účely může lesní správa využít údaje naměřené pomocí uzlů. Aplikace ulehčí práci zaměstnancům lesní správy tím, že nebudou muset navštěvovat lokalitu projektu osobně a provádět měření za pomoci ručních přístrojů, ale budou moci výsledky analyzovat z kontrolní stanice nebo i z domova. Aplikace bude vybavena systémem automatického hlášení, spuštění alarmu nebo i zasíláním SMS zpráv. V návrhu projektu budou také rozkresleny polohy, kde se budou senzory nacházet a jak tyto senzory budou uchyceny nebo uloženy na jejich konečnou pozici. Samozřejmě budou také zvoleny samotné senzory, jejich výrobce, způsob napájení a životnost zdroje,

cena a dostupnost na trhu. Z tohoto bude vycházet konečná cena celé aplikace, do které budou také započítány náklady na zrealizování a zprovoznění této sítě.

3.3 Princip detekce požáru

V oblastech s vysokým výskytem požárů, je potřeba kontrolovat mnohem více parametrů, než v oblasti navrhovaného projektu, protože v těchto oblastech je velmi sucho a nesmí se dopustit žádné chyby, které by mohli způsobit obrovské škody jak na životech, tak na majetku. Na místech jako je Kalifornie se monitorují parametry jako teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, obsah oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, rychlost větru, vlhkost vegetace, kouř. Pokud by byly zvoleny pouze senzory teploty, tak by musely být rozmístěny velmi nahusto. Musí být monitorováno více veličin na více místech, aby byla aplikace spolehlivá. Při detekci požáru je třeba, aby byl tento problém co nejrychleji detekován, proto se detekuje více veličin, které jsou měřeny jednou za dobu, která bude zvolena. Pokud bude při měření zjištěna nějaká změna od hodnoty, která byla naměřena v minulém měření nebo která byla nastavena jako hraniční, musí být ihned vyslána varovná zpráva do řídicí stanice nebo pomocí SMS. Pracovník poté ověří, zda se jedná o skutečné nebezpečí nebo o planý poplach. Zpráva o tom, že někde vypukl požár, nebo že někde nejsou hodnoty takové, jaké by měly být, nemusí být postačující. Při velké rozloze celé aplikace bezdrátové sensorové sítě, by mohl nastat problém lokalizovat místo vzniku požáru. Proto je nutné samostatně senzory lokalizovat, aby se Hasiči dostali na místo co nejrychleji.

3.3.1 Fáze požáru

Požár je dělen na 4 fáze, které charakterizují vlastnosti požáru v případě, kdy požár není hašen a může se volně šířit. První fáze požáru je období od vzniku požáru po rozhoření hořlavých předmětů v okolí. Tato fáze má nízké teploty a trvá asi 10 minut. Druhá fáze má jako hlavní vlastnost prudký nárůst teploty a plochy pokryté požárem. Ve třetí fázi začnou hořet všechny hořlavé předměty v okolí, které intenzivně a stabilně hoří. V poslední čtvrté fázi zaniká požár nedostatkem hořlavého materiálu a intenzita hoření postupně klesá. Ideální řešení je začít hasit hned v první nebo na začátku druhé fáze kdy se ještě požár nerozvinul na velkou plochu.

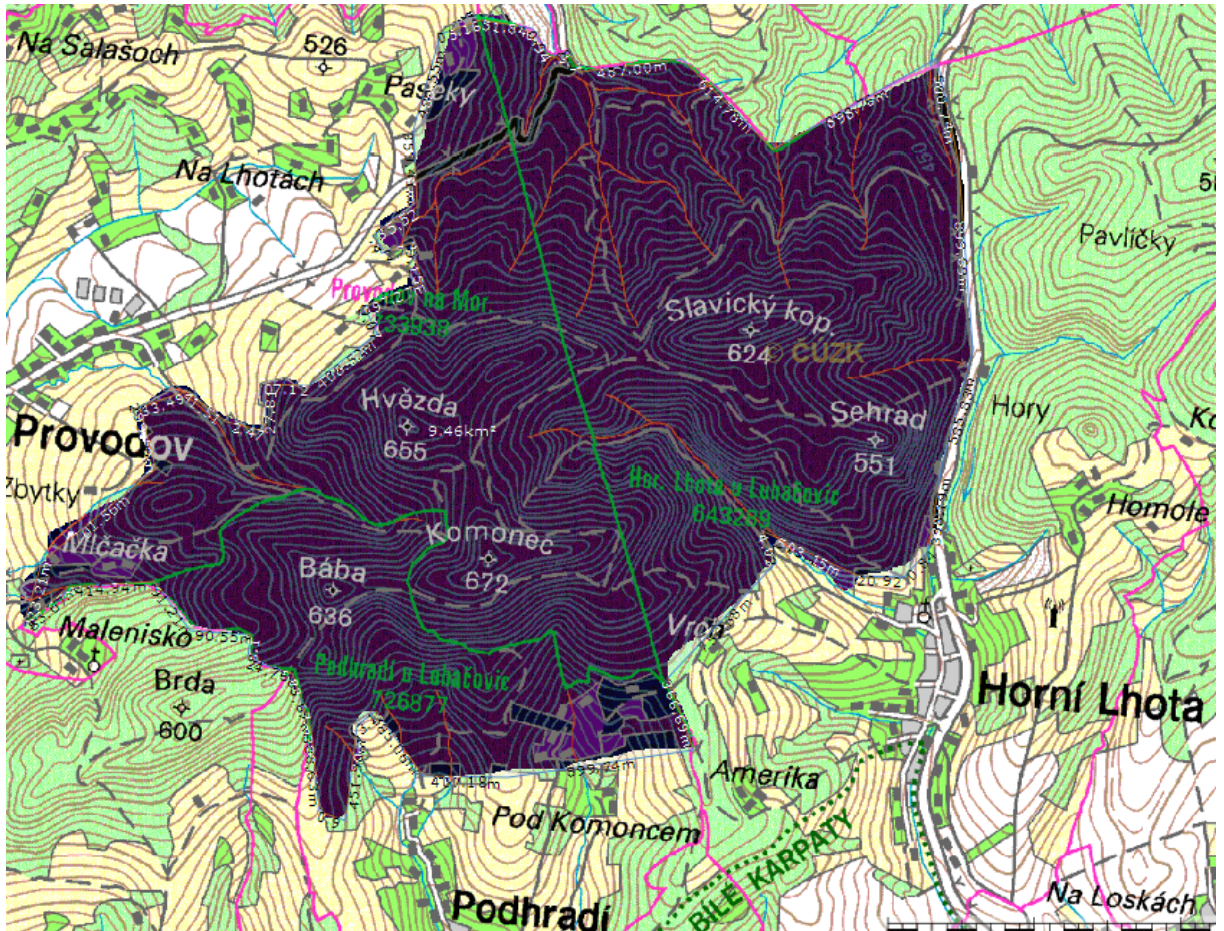
3.4 Požadavky, omezující podmínky

Požadavky na systém nejsou příliš náročné, tím že není nutno monitorovat celou škálu fyzikálních veličin, jako se monitoruje např. v Kalifornii. V oblasti Komonce se neprovádí v dnešní době žádné monitorování teploty ani jiných veličin, problém požáru by se začal řešit až po jeho vzniku, spíše až by někdo tento požár zpozoroval a oznámil. Při příležitosti využívat systému bezdrátové senzorové sítě, by byl jako hlavní požadavek nízká cena, jednoduchá nebo téměř žádná údržba komponent použitých na zprovoznění. Dále by to byla snadná obsluha programu, který naměřená data zpracovává v kontrolní stanici, a schopnost programu uložit data pro následnou analýzu. A v poslední řadě nejdůležitější věcí by byla dostatečná signalizace případného požáru pomocí SMS zpráv a spuštění alarmu.

Hlavní omezující podmínkou jsou peníze. Náklady nejsou ale jedinou podmínkou co omezují projekt. Další podmínka je samotné umístění senzorů, prostředí lesa značně komplikuje šíření signálu, což znamená, že se budou muset senzory rozmístit v menších vzdálenostech, než by tomu bylo ve volném prostoru. Z tohoto poznatku vyplývá, že bude nutno těchto senzorů aplikovat více. Je nutné uvést také nepříjemnou skutečnost. Je to možnost odcizení volně umístěných senzorů. Řešení tohoto problému nám klade další omezující podmínku. Senzor je malý, takže není velká možnost jej snadno připevnit na řetěz. Problém se dá vyřešit umístěním senzoru do koruny stromu nebo vhodným zamaskováním. V poslední řadě se vyskytuje problém napájení komponent senzorové sítě. Většina senzorů je napájena bateriemi, to je ovšem nepraktické, z důvodu údržby. Pracovník lesní správy by musel tyto baterie chodit měnit, což by nespadlo do požadavků. Napájení by šlo vyřešit baterií s životností několik let nebo i desítek let. Taková baterie neexistuje, nebo pokud ano tak je to baterie uranová, která je v české republice zakázána. Jediným dostupným řešením je využití solárního napájení, které v prostředí lesa není také ideální řešení.

3.5 Analýza oblasti terénu

Komonec se nachází v hornaté části vizovické vrchoviny. V monitorované oblasti je tedy několik vrcholů kopců a údolí, které jsou vidět na obrázku 17. Vzhledem k tomu, že terén není rovinný, a jsou zde v cestě stromy, nebude rozmístění senzorů úplně jednoduché. Pro dobrou komunikaci mezi senzory se budou muset senzory umístit v menších vzdálenostech. Na obrázku 9 je zobrazena mapa, na které je vidět oblast, která bude monitorována.



OBRÁZEK 9- MAPA MONITOROVANÉ OBLASTI KOMONCE [8]

Aplikace pro monitorování požárů v oblasti Komonce se bude nacházet mezi obcemi Podhradí, Provodov a Horní Lhota, které jsou k vidění na obrázku 9. Na obrázku 9 je také vyznačena oblast, ve které bude probíhat monitorování požárů. Vyznačená oblast vychází z katastrální mapy. Tato oblast je ve vlastnictví tří již zmíněných obcí, které mají společný vrchol Komonec a jeho okolí.

3.6 Volba senzorů

V této kapitole se bude práce zabývat volbou senzorů, které jsou pro danou aplikaci vhodné. Budou vybráni čtyři různí výrobci senzorů pro bezdrátové senzorové sítě, u každého z těchto senzorů budou popsány jeho vlastnosti. Následně bude sestavena tabulka pro přehledné

porovnání vlastností jednotlivých senzorů a z této tabulky bude vycházet konečný výběr jednoho ze čtyř popsaných senzorů.

3.6.1. LibeliumWasmote

V roce 2009 Španělská firma Libelium uvedla na trh novou platformu pro monitorování životního prostředí v rozsahu až 40km s mimořádně nízkou spotřebou. Kombinace dlouhého dosahu a nízké spotřeby umožňuje nasazení systému pro detekování požárů, povodní a životního prostředí i ve velmi vzdálených místech s nepříznivými podmínkami. Tento systém je nazván Wasmote.

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

Bezdrátové senzory jsou napájeny pomocí baterií. Každý ze senzorů nabízí 4 módy – zapnuto, spánek, hluboký spánek a hibernace. Zařízení v systému Wasmote vydrží více jak tři roky bez výměny baterie, pokud ale budou použity malé solární panely pro dobíjení baterií, může systém pracovat nepřetržitě bez výměny baterie. Pro lokalizaci zařízení lze využít zásuvného gps modulu, což by ovšem bylo příliš drahé. Sensory budou umístěny na jednom místě, tak nebude třeba, aby každý měl gps modul.

Pro monitorování životního prostředí je k dispozici modul – senzor plynů. Tento modul je schopen detekovat širokou škálu plynů: oxid uhličitý a oxid uhelnatý vznikající z lesních požárů, metan, čpavek a sirovodík z farem a odchovných zařízení, isobutan a toluen z chemických procesů. Tento modul měří také atmosférický tlak, teplotu a vlhkost vzduchu [18].



OBRÁZEK 10-LIBELIUM WASPMOTE

3.6.2 Crossbow IRIS

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

Pro navrhovanou aplikaci by byla vhodná sensorová deska CrossBow MTS400, která je schopna měřit teplotu s přesností 0,5°C a vlhkost s přesností 3,5%. Dále měří atmosférický tlak a okolní světlo[19].



OBRÁZEK 11 - CROSSBOW IRIS

3.6.3 TinyNode 584

TinyNode 584 je modul s nízkou spotřebou umístěný v jednom pouzdře jako kompletní bezdrátový subsystém s 19 konfigurovatelnými vstupy a výstupy mezi nimiž je obsaženo 6 analogových vstupů a více jako dva analogové výstupy jsou sériové rozhraní. TinyNode 584 má rychlý přechod do provozního režimu z režimu spánku. Modul je schopný pracovat s frekvencemi 433MHz, 868MHz a 915MHz známé jako pásmo ISM. Přenosová rychlost naměřených dat může být vyšší jak 153kbit/s. Dosah bezdrátové komunikace je více jak 2km. Na desce je standardně zabudovaný teplotní senzor a také 30 pinový konektor pro propojení dvou desek. Firma Tiny dodává i software podporovaný tímto modulem TinyOS[20].



OBRÁZEK 12 - TINYNODE 584

3.6.4 IMOTE2

WSN –IMOTE2 poskytuje uživatelům komplexní a nákladově efektivní platformu pro rozvoj bezdrátových senzorových sítí. IMOTE2 je moderní bezdrátová platforma sestavena pro nízkou spotřebu a má integrovaný modul pro bezdrátovou komunikaci pracující s frekvencí 2,4GHz a kompatibilní se standardem 802.15.4. IMOTE2 poskytuje platformu IPR2400 a IPR

2410CA. Tyto platformy lámou omezení výpočetních a paměťových vlastností předešlých platform. IMOTE2 nabízí také přídavné senzorové desky pod názvem ITS400, které dokáží měřit teplotu, vlhkost a další veličiny. ITS poskytují možnosti od monitorování životního prostředí po detekování vibrací půdy[21].

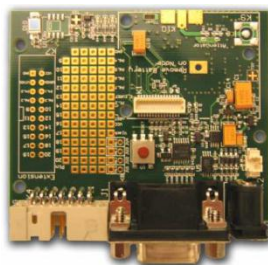


OBRÁZEK 13 - IMOTE2

3.6.5 Tabulka pro srovnání

výrobce	Libelium Wasp mote	Crossbow IRIS	TinyNode 584	Imote2
frekvence	868MHz	2,4GHz	433,868,915 MHz	2,4GHz
výdrž baterie	cca 1 rok		> 5let	
dosah	500m až 40km	více jak 500m	více jak 2km	30m s integrovanou anténou, možnost přidat externí anténu pomocí SMA konektoru
přenosová rychlost		250 kb/s	1,2 - 153 kb/s	250 kb/s
napětí zdroje	3,3 - 4,2 V	2,7 - 3,3 V	3V	3,2 - 4,5 V
vstupy/výstupy	7analogových vstupů, 8digitálních vst./výst., 1napájení, 2x UART, 1x I2C, 1xUSB	digitální vstupy/výstupy, I2C, SPI, UART	19digitálních vst./výst., 6 analogových vstupů, 2 a více analogové výstupy	mini USB, 3xUART, 2xSPI, I2C, SDIO, GPIO
provozní teplota	minus 20 °C až 65 °C	minus 40 až 85°C	minus 40 až 80°C	0 až 85°C
rozměry [mm]	75,3 x 55 x 13	58 x 32 x 7	30 x 40	36 x 48 x 9

Pro projekt zaměřený na monitorování požárů v oblasti Komonice byl vybrán senzor TinyNode. Sensory TinyNode byly zvoleny, protože jsou rozměrově nejmenší, tudíž jejich uchycení a maskování proti krádeži bude nejméně náročné v porovnání s ostatními senzory. Další velkou výhodou je vzdálenost komunikace mezi jednotlivými uzly. Tato vzdálenost je výrobcem udávána, že je více než 2km. V tomto projektu bude sice postačovat vzdálenost cca 100m, ale komunikace mezi uzly bude probíhat v prostředí lesa. Toto prostředí výrazně zkracuje vzdálenost udávanou výrobcem. Následující parametr, který přispěl ke zvolení daného senzoru, je jeho provozní teplota, která je -40 až 80°C. Ostatní senzory nemají provozní teplotu ideální pro monitorování požáru. Sensory IMOTE2 mají horní hranici vyšší, ale hranici spodní mají 0°C, což by nevyhovovalo provozu bezdrátové senzorové sítě v zimním období. Lokalita projektu je totiž v prostředí, kde se teploty dostávají někdy i hluboce pod bod mrazu. Pouze senzor Crossbow IRIS by měl provozní teploty lepší, jenomže jeho ostatní parametry jsou v porovnání s TinyNode na horší úrovni. Jednou z dalších výhod tohoto senzoru je jeho vysoký počet digitálních i analogových vstupů a výstupů, které je možno použít pro připojení různých zařízení, jako jsou např. senzory jiných veličin, než je třeba měřit, gps lokalizátory, aj. Obrovskou výhodou senzorů TinyNode je jejich životnost při napájení z baterií, životnost je udávána vyšší než 5 let, což je v porovnání například se senzory Libelium Waspnode 5x více. Toto je velice důležitý parametr, protože při vysokém počtu použitých senzorů umístěných v lese na stromech, není moc žádoucí často chodit a měnit baterie. Bylo by to jak nepraktické, tak i více nákladné. A asi poslední parametr, který vedl ke zvolení TinyNode, bylo to, že firma Tiny dodává i software TinyOS, který bude možno využít pro daný projekt. Zvolený senzorový modul má integrovaný pouze senzor teploty. Pro rozšíření bude modul připojen pomocí 30 pinového konektoru Molex ke standardní rozšiřovací desce TinyNode (Standard extension board).



OBRÁZEK 14- STANDARD EXTENSION BOARD

Tato deska je vybavena různými rozhraními a konektory pro připojení jiných zařízení jak od firmy TinyNode, tak od jiných výrobců. Na desce je také integrovaný senzor pro snímání

vlhkosti vzduchu, kterou je také třeba monitorovat z důvodu odhadu rychlosti šíření požáru. Dále budou na desku přidány senzory pro monitorování CO₂ a CO. Senzory budou připájeny do rozšiřující desky. Na desce jsou volné díry pro připájení senzorů, které budou muset být propojeny s odpovídajícími piny (napájení, zem, vstup, výstup senzoru). Pro snímání CO bude použit senzor od výrobce Figaro TGS 2442 a pro snímání CO₂ to bude senzor od stejného výrobce TGS 4161. Tyto senzory využívá i firma Libelium u svého modulu gases sensor board. Více informací o těchto senzorech je k nalezení na stránkách výrobce [27]. Zdrojový kód pro snímání hodnot z těchto senzorů musí být nahrán do Standard Extension Board, což lze provést přes konektor RS232, který se na desce nachází. Zdrojový kód, který je využit u modulu gases sensor board je přístupný v dokumentaci tohoto modulu, která je dostupná z [18]. Kód bude třeba přizpůsobit senzoru TinyNode 584.

3.7 Výběr komunikačního protokolu

Tato kapitola se bude zabývat komunikačními protokoly, které se u WSN využívají. Budou zde vybrány a stručně popsány některé z možných komunikačních protokolů pro dané aplikace bezdrátové senzorové sítě a následně bude zvolen jeden z protokolů, který by byl pro aplikaci vhodný z hlediska energetické náročnosti, spolehlivosti komunikace a bezchybného přenosu naměřených dat.

3.7.1 ZigBee

Zigbee je komunikační standard pro bezdrátovou komunikaci, určený pro monitorování a řízení elektroniky, často používaný u komunikace mezi bezdrátovými senzory.

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

kterého je zbytečně vysoká přenosová rychlost. Pro standard 802.15.4 je přiděleno několik radiových pásem:

- pásmo ISM 2,4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s, definováno celosvětově,
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s, definováno pro USA,
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20kb/s, definováno pro Evropu.

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

ZigBee protokol může být použit u různých typů topologií jako například hvězdicová topologie, stromová topologie nebo topologie MESH [22].

3.7.2 6LoWPAN

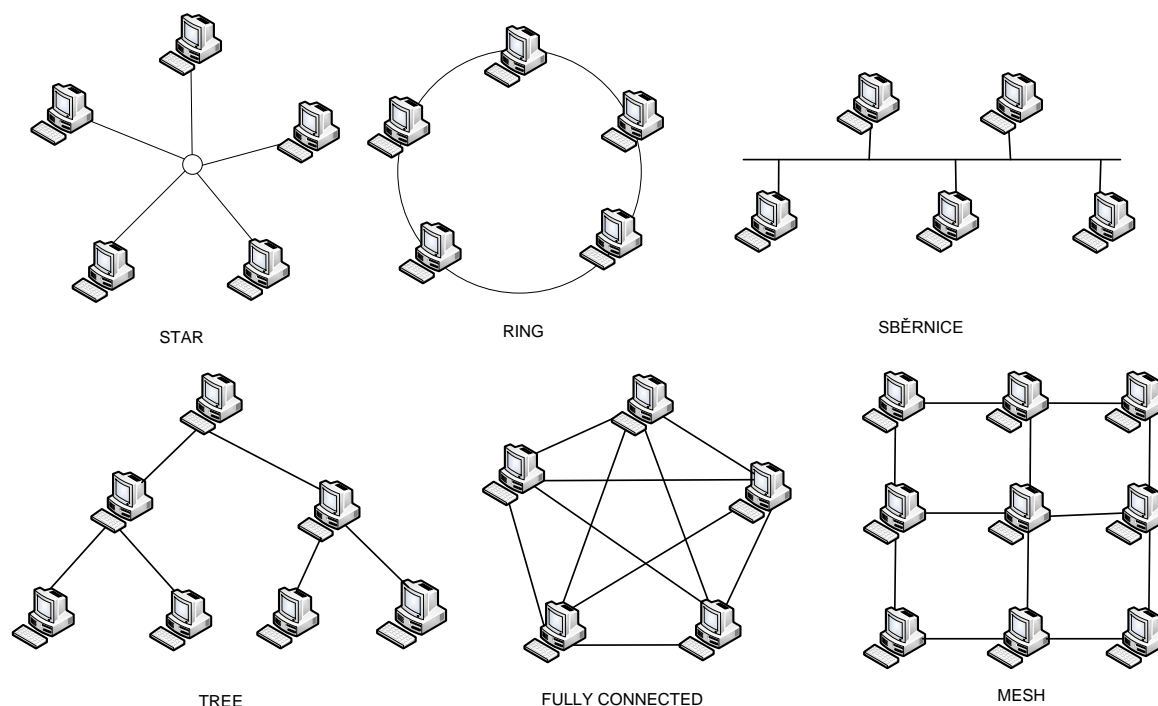
6LoWPAN je zkratkou od IPv6 over Low power Personal Area Networks. Protokol 6LoWPAN je postaven na základě bezdrátových sítí 802.15.4, pracuje s frekvencemi 868MHz, 915 MHz, 2,4GHz a poskytuje připojení bezdrátovým zařízením využívajícím síť 802.15.4. Připojení bezdrátových zařízení probíhá přes rozhraní založené na IP protokolu. Protokol 6LoWPAN byl navržen pro používání v aplikacích s nízkou spotřebou, které komunikují s ostatními zařízeními v již existující IP síti. 6LoWPAN může být zapojen ve hvězdicové, point to point, stromové, MESH topologii, ale také v jejich kombinacích. 6LoWPAN má automatické tvoření trasy a její případné opravování. Výhody tohoto protokolu jsou například: bezproblémová integrace nízkospotřebných bezdrátových zařízení do již existujících IP sítí. Dále také spolupráce s ostatními protokoly postavenými na protokolové sadě 802.15.4 jako je například ZigBee. Další velkou výhodou je dlouholetá životnost baterií použitých v zařízeních potřebných pro danou aplikaci. Charakteristické vlastnosti protokolové sady 6LoWPAN jsou malá velikost paketů (127B), nízká propustnost (250kb/s), nízká spotřeba což je důležité pro využití u bateriemi napájených zařízení, a relativně nízká cena zařízení [23].

Oba zde popsané protokoly jsou navrženy pro využití v bezdrátových sítích s nízkou spotřebou energie. Životnost baterie sensorů bude několik let při využívání protokolu ZigBee i při využívání protokolu 6LoWpan. Každý z protokolů pracuje v pásmu 868MHz

potřebném pro komunikaci mezi zvolenými senzory, což je docíleno tím, že oba protokoly jsou postaveny na standardu 802.15.4. Pro projekt bude zvolena protokolová sada ZigBee.

3.8 Volba topologie projektu

Základním problémem v komunikačních sítích je, přenos zpráv s dosažením předepsané propustnosti a kvality služeb (QoS). Kvalita služeb může být definována podmínkami jako zpoždění zprávy, bitová chybovost, ztráta paketů, náklady na vysílání, spotřeba energie apod. Na základě kvality služeb, ekonomických prostředků a aplikace, ve které bude síť provozována, je na výběr z několika topologií. Sensorová síť se skládá z uzlů, z nichž každý má měřicí vlastnosti a může přijímat a odesílat zprávy, přes bezdrátové komunikační spojení. Jedna komunikační síť se může skládat z několika podsítí s různou topologií. Základní topologie sítě jsou uvedeny na obrázku č. 14 a jsou to topologie typu: hvězda (star), kruh (ring), sběrnice (bus), strom (tree), plně propojená topologie (fully connected) a MESH. Následně budou popsány pouze dvě nejvyužívanější topologie pro bezdrátové senzorové sítě: fully connected a mesh. Jedna z těchto topologií bude zvolena pro daný projekt[24].



OBRÁZEK 15 - TOPOLOGIE SÍTÍ

3.8.1 Topologie Fully connected (plně propojená)

Plně propojená síť je komunikační síť, ve které je každý uzel propojen se všemi ostatními. Tato síť nepotřebuje používat směrování nebo přepínání. Nicméně největší nevýhodou topologie fully connected je, že počet spojení kvadraticky roste s nárůstem počtu uzlů. Tato vlastnost je nepraktická pro rozsáhlé sítě. Prakticky i síť jen se dvěma uzly je síť fully connected [24].

3.8.2 Topologie MESH

MESH sítě jsou distribuované sítě, které zpravidla umožňují komunikaci pouze se sousedícími uzly. Uzly používané v těchto sítích jsou většinou stejného druhu, takže sítě typu MESH jsou někdy označovány jako síť typu peer-to-peer. MESH sítě jsou dobré pro projekty ve velkém měřítku, jako jsou bezdrátové sensorové sítě, které jsou distribuovány přes rozsáhlou geografickou oblast např. monitorování osob, požárů, zemětřesení atd. Na obrázku č. 14 je topologie nakreslena s pravidelnou strukturou, síť ovšem nemusí mít uzly takto pravidelně rozloženy. MESH sítě jsou rozloženy tak, aby byla možná komunikace více směry mezi uzly, aby mohly uzly komunikovat i v případě výpadku jednoho z nich. Výhodou těchto sítí je, že i když jsou všechny uzly totožné, je možné některé uzly zvolit jako vedoucí uzly a je jim možno přidat určité funkce. Pokud vedoucí uzel přijde do stavu, kdy by nemohl pokračovat ve své funkci, tak může jeho funkce převzít vedlejší uzel[24].

Pro projekt bude využita topologie typu MESH. Tato topologie je nejméně náročná na baterii a je nejspolehlivější v oblasti bezdrátových sensorových sítí. V porovnání například s topologií fully connected komunikuje pouze s uzly v jejím okolí a ne se všemi. Dále je tato topologie spolehlivá v případě výpadku, některého z uzlů. Při takovémto výpadku se u topologie MESH nalezne jiná cesta, kterou je možno poslat data od uzlu k centrální stanici. Pokud by k takovému výpadku došlo například u stromové topologie tak by celá jedna větev, která je pod vyřazeným uzlem, nemohla komunikovat a zasílat naměřená data do centrální stanice. U topologie MESH je každý uzel propojen s několika uzly v jeho okolí a tím pádem může být zvoleno více přenosových cest, což u jiných topologií není možné. Možné to je pouze u

topologie fully connected. Fully connected topologie by nebyla vhodná z důvodů, že komunikace mezi všemi uzly by nefungovala z důvodu velké vzdálenosti mezi koncovými uzly. Vzdálenost mezi krajními uzly je i 6,5 km, což vybrané senzory nepodporují.

3.9 Navržená topologie

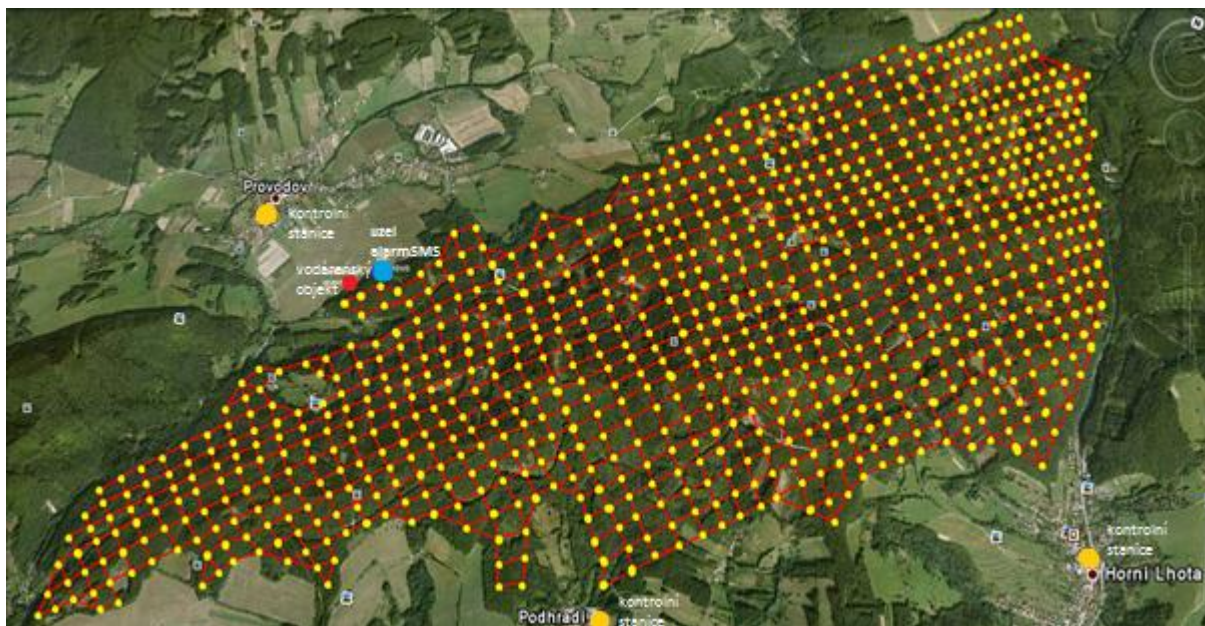
V této kapitole bude zobrazena navržená topologie pro vyznačenou oblast v obrázku 9. Při realizaci projektu budou senzory rozmístěny dle navržené topologie ve vzdálenostech 100 maximálně 150m, protože v takovémto prostředí není možné jednoznačně navrhnout vzdálenost. Existuje více problémů pro navržení přesné vzdálenosti, např. nerovnoměrné rozmístění stromů, nepřístupnost místa a další. Vzdálenost mezi senzory je v některých případech vyšší než 200m. Tyto případy se vyskytují u koncových uzlů, kde senzor nemá kolem sebe všechny senzory ve čtvercovém rozmístění, ale jedna nebo dvě cesty možné komunikace probíhají úhlopříčně. Tato varianta nastane pouze v případě výpadku uzlu, který je v přímé cestě. V návrhu je vidět, že i některé nekoncové uzly jsou od sebe dál než ostatní, důvodem jejich oddálení byla neexistence stromu v požadovaném místě. Vzdálenosti jsou zvoleny tak nízké z důvodů účinnosti aplikace. I když senzory dokáží komunikovat na vzdálenost 2km a více, tak nemohou být od sebe tak vzdáleny z důvodu brzké detekce požáru. Pokud by senzory byly 2km vzdáleny, tak by požár, vzniklý v bodě mezi dvěma senzory, mohl být detekován až v takové fázi, kdy by byl těžce zastavitelný. Zvolené senzory poskytují komunikaci mezi sebou na vzdálenost vyšší než 2km z toho plyne, že komunikace bude spolehlivě probíhat i při náhodné vyšší vzdálenosti. Pro aplikaci bezdrátové sensorové sítě, bude třeba využít 856 senzorů zvoleného typu, aby byla aplikace účinná. Kontrolní stanice mohou být umístěny například na úradech všech tří obcí, které jsou vlastníky oblasti navrženého projektu, nebo mohou být umístěny kdekoliv, kde je přístup k síti internet. Kontrolní stanice, které jsou v navržené topologii zobrazeny oranžovými body, budou připojeny pomocí virtuální privátní sítě (VPN) k bráně (gateway) Digi ConnectPort x4 znázorněné na obrázku 16., která bude umístěna ve vodárenském objektu. Vodárenský objekt je vyznačen červeným bodem v obrázku 17. V tomto objektu se nachází server poskytovatele bezdrátového internetu pro obec Provodov.



OBRÁZEK 16 - GATEWAY DIGI CONNECTPORT X4

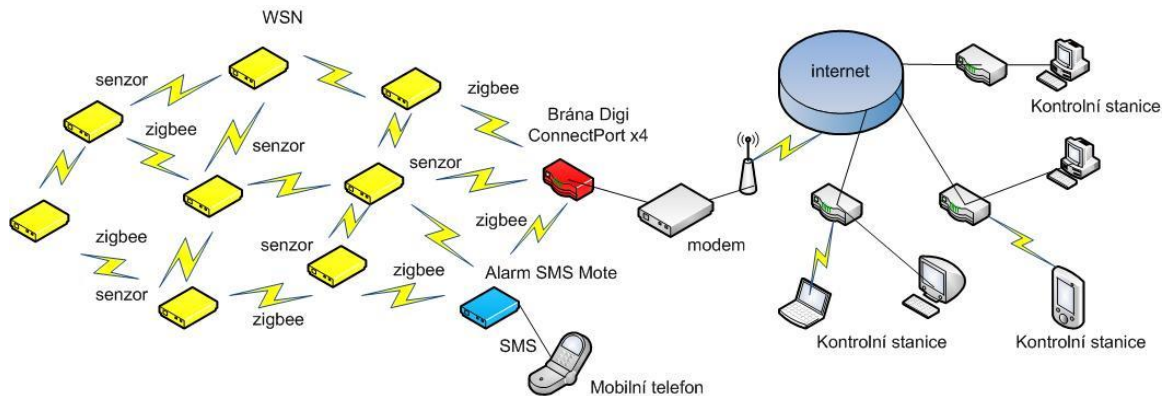
Digi ConnectPort x4 je bezdrátová WAN (wide area network) brána s integrovanou virtuální privátní sítí, která poskytuje připojení ze vzdálených míst a zařízení. Tato brána shromažďuje data MESH sítě k transportu těchto dat do kontrolních stanic, které budou vybaveny aplikací TinyOS pro jejich zpracování. Digi ConnectPort x4 podporuje ZigBee/802.15.4/868MHz, DigiMesh 2,4GHz/900MHz a také Wi-Fi nebo Ethernet. Brána je dále vybavena portem Ethernet pro přímé připojení k síti, usb portem, má vyměnitelnou anténu, která je dodávána se zařízením, a také interní paměť 32MB. Zařízení dokáže pracovat v teplotách -30 až 70°C a relativní vlhkosti 5 až 95%. S těmito vlastnostmi je možné zařízení umístit do vnějších prostor, avšak z důvodu ochrany proti odcizení bude umístěno v budově vodárenského zařízení, do které správce povolil přístup. Více informací o této bráně naleznete [25].

Na obrázku č. 17 je znázorněna topologie MESH v dané oblasti.



OBRÁZEK 17 - TOPOLOGIE SÍŤ

Schéma topologie sítě s použitými prvky je znázorněno na obrázku č. 18. Ve schématu nejsou znázorněny všechny senzory, co budou použity v bezdrátové senzorové síti, ale je jich znázorněno pouze několik pro ukázkou komunikace.

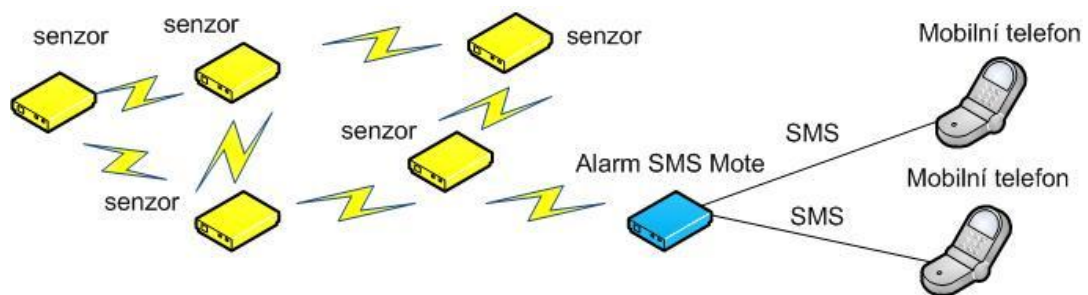


OBRÁZEK 18 - SCHÉMA TOPOLOGIE SÍTĚ

3.10 Popis funkce sítě

Senzory budou nastaveny pomocí dodávaného softwaru TinyOS. Snímání veličin bude nastaveno v časovém intervalu po 10 minutách, což je dostatečná časová vzdálenost, aby byl požár zjištěn ve správnou dobu, a aby nebyl příliš velký nápor na baterii. Po změření veličin budou data v každém senzoru porovnány s prahovými hodnotami měřených veličin, které budou v senzoru nastaveny také pomocí programu TinyOS. Prahové hodnoty budou v senzorech nastaveny pro CO 500ppm (parts per milion = částic na milion). Množství 500 ppm je 0,05% CO v ovzduší, což už je pro člověka nebezpečná hodnota. Množství CO₂ bude nastaveno na hodnotu 50000ppm, což odpovídá pětiprocentní koncentraci CO₂ ve vzduchu [28]. Maximální hodnota teploty bude nastavena na 60°C. Je to z důvodu, že senzor není umístěn přímo v centru ohně a teplota u něj nemusí dosahovat maximálních teplot. V případě přímého vystavení senzoru slunci by zase teplota mohla dosáhnout teplot i kolem 50°C, což by mohlo vést k spuštění planého poplachu. Vlhkost vzduchu bude nastavena na 30%, protože s rostoucím žářem se vlhkost vzduchu snižuje. Při naměření nežádoucích hodnot budou data odeslána směrem do brány, přes kterou jsou připojeny počítačové stanice, které zpracovávají přijatá data, umístěné v obcích. V době, kdy nedochází k měření veličin a posílání dat, jsou senzory v režimu spánku. V síti funguje každý senzor jako router, přijme data od jiného senzoru a pomocí směrovací tabulky data zašle přes další senzor až do

kontrolní stanice. Kontrolní počítačové stanice také porovnávají přijatá data, protože nebudou přijímat pouze data v případě poplachu, ale i data pokud k poplachu nedojde. Naměřená data mimo stav poplachu budou do kontrolní stanice, ve které budou uloženy, odesílána dvakrát za týden. Poplach bude také vyhodnocovat uzel „alarm SMS“, který je v navržené topologii na obrázku 17 zobrazen modře. Alarm SMS je zařízení, které dokáže komunikovat s bezdrátovou senzorovou sítí a se sítí GPRS. Tato vlastnost dává schopnost síti posílat SMS zprávy na standardní mobilní telefony. Software v tomto zařízení je rozdělen na dvě části, první část kontroluje ZigBee komunikaci a druhá část kontroluje funkce SMS. Hlavní program v uzlu čeká na přijetí dat z ostatních zařízení v ZigBee komunikaci. Pokud budou přijatá data shodná s daty, která vyvolávají poplach, bude vyvolána funkce sendAlarmSMS() na zvolené číslo nebo po případě na více čísel. Číslo bude patřit pověřené osobě nebo nejbližší hasičské stanici v okolí. Po odeslání alarmující SMS se uzel vrací do čekacího stavu. Zaslání SMS jde také vyřešit z kontrolních stanic, což ale nemusí být tak spolehlivé. Například pokud dojde k výpadku proudu, tak by kontrolní stanice byly vypnuty a systém by SMS nemohl odeslat. Při využití bezdrátového uzlu Alarm SMS bude alarmující SMS zaslána i při výpadku proudu v okolí. Na obrázku 19. je jednoduše znázorněn příklad zapojení uzlu Alarm SMS. Tento uzel bude umístěn v topologii na okraj mezi poslední uzel a bránu umístěnou v budově vodárenského zařízení. Software nahraný do uzlu Alarm SMS je volně stažitelný ze stránek firmy Libelium a je možno ho upravovat a redistribuovat [26].



OBRÁZEK 19 - NÁZORNÁ UKÁZKA KOMUNIKACE ALARM SMS

V obcích budou přijatá data kontrolována pověřenou osobou v programu TinyOS, který bude nainstalován v kontrolní stanici. TinyOS je jednoduché systémové prostředí, které není moc náročné na systémové prostředky. TinyOS zajišťuje správné volání pro naplánované události. Program TinyOS je možno nainstalovat do programového prostředí Linux, MAC OS X a Windows. Také jsou k dispozici virtuální stroje s předinstalovanou podporou pro TinyOS,

kteří je jednodušší nainstalovat, než instalace do běžných OS. Při instalaci v běžném operačním systému je možnost instalace přes některou z distribucí Linuxu nebo ruční instalace, která je složitější a vyžaduje doinstalování několika potřebných aplikací. Často používanou distribucí je např. Debian. Debian je operační systém skládající se ze základního programového vybavení a dalších nástrojů nutných pro provoz počítače. Více o těchto instalacích je k nahlédnutí na webových stránkách TinyOS [29]. Budou zachytávána data naměřených hodnot z uzlů, ale také stav baterií v jednotlivých uzlech, který budou pověřené osoby kontrolovat a popřípadě zařídí jejich výměnu. Zasláná data není třeba kontrolovat při každém jejich přijetí, ale bude postačující hodnoty překontrolovat např. jednou za týden. Ve výpisu bude také vidět, zda nějaký uzel nekomunikuje, což by mohlo být způsobeno např. jeho poruchou nebo odcizením.

3.11 Upevnění senzorů

Z důvodů možné krádeže, ale také z důvodů komunikace budou senzory umístěny do výšky na kmeny stromů. Samotné senzory budou umístěny do krabičky doporučené výrobcem. Rozměry krabičky jsou 120mm x 78mm x 27mm a její barva bude černá. Krabička je sériově vyráběna výrobcem Hammond. Přesný náčrt s výky je zobrazen v uživatelském manuálu TinyNode Standard Extension Board, který je k nahlédnutí na stránkách firmy TinyNode [20]. Senzory i v jejich pouzdře předepsaném výrobcem budou umístěny do ptačích budek, které budou zavěšeny na stromech. Ptačí budky jsou v lese běžnou záležitostí, tak nebudou lákat pozornost případných zlodějů. Názorná ukázka budky je na obrázku 19.



OBRÁZEK 20 - BUDKA PRO UMÍSTĚNÍ SENZORU

Budka má rozměry 11 x 11 x 14 cm, tudíž se do ní senzory bez problému vlezou i v jejich pouzdře. Senzory budou do budky vloženy po odejmutí její střechy, která se poté opět přilepí nazpět. Průchod do budky musí být zacelen, aby do ní nevniklo drobné ptactvo. Otvor bude zacelen sítkou, aby se měřené veličiny v případě požáru dostaly co nejrychleji k sensorům. Ve střeše budky bude provrtán otvor v průměru antény TinyNode, kterým bude tato anténa prostrčena, aby nedošlo k vysokému útlumu signálu.

3.12 Kalkulace materiálu

Ceny za kus, nebo za balení.

Senzor TinyNode 584	91eur/ks,
Standard Extension Board	55eur/ks,
Držák baterie	5 eur/ks,
Ptačí budka	63 Kč/ks,
Uzel Alarm SMS	150eur,
Krabička Hammond	212 Kč/ks,
Figaro TGS 2442	7,5 USD/ks,
Figaro TGS 4161	19,25 USD/ks,
Gateway Digi ConnectPort x4	449 USD.

Pro daný projekt je třeba 856 senzorů Tiny node a 856 držáků baterie. Pro celý projekt bude třeba 856 krabiček Hammond a 857 ptačích budek. Pro přepočítání EUR a USD na koruny byl použit kurz ze dne 7.5.2011 24,8kč = 1 EUR a 17,1kč = 1 USD.

Celková cena:

Senzor TinyNode 584	91 x 856 x 24,8	=	1 931 820,8,-
Standard Extension Board	55 x 856 x 24,8	=	1 167 584,-
Držák baterie	5 x 856 x 24,8	=	106 144,-
Ptačí budka	63 x 857	=	53991,-

Uzel Alarm SMS	150 x24,8	=	3720,-
Krabička Hammond	212 x 857	=	181 684,-
Figaro TGS 2442	7,5 x 856 x 17,1	=	109 782,-
Figaro TGS 4161	19,25 x 856 x 17,1	=	281 773,8,-
Gateway Digi ConnectPort x4	449 x 17,1	=	<u>7677,9,-</u>
Celkem:			3 844178,- Kč.

Kalkulace byla provedena bez zakoupení kontrolních počítačových stanic nebo jiných zařízení jako je například pda.

Závěr

Práce byla zaměřena na využití bezdrátových senzorových sítí a jejich použití v monitorování životního prostředí. Je zde uvedeno, z jakých důvodů jsou využívány. V čem spočívají výhody bezdrátových sítí v porovnání s kabelovými sítěmi. Jakým způsobem je šířen bezdrátový signál.

Dále jsou zde uvedeny konkrétní aplikace, kde se bezdrátové senzorové sítě využívají, jakým způsobem pomáhají a jaké fyzikální veličiny jsou v těchto aplikacích monitorovány.

V poslední části práce byla zvolena konkrétní aplikace pro využití WSN. Aplikace se zabývá monitorováním lesních požárů v oblasti Komonce.

V poslední části práce je popsáno několik typů senzorů, které by byly pro tento projekt vhodné. Poté jsou zde popsány dva možné komunikační protokoly a několik možných topologií sítě. Z každé z těchto tří částí je zvolena jedna možnost, která vyhovuje danému projektu. Byla navržena také samotná architektura sítě, která se skládá z 856 senzorových uzlů, jednoho Alarm SMS uzlu a jedné brány ConnectPort x4. Také je zde popsáno, na kterých místech je možno vyhodnocování dat, jakým způsobem bude hlášen případný požár a jakým způsobem budou senzory uchyceny na stromy v oblasti lesa. V poslední části byla provedena kalkulace materiálu potřebného pouze na sestavení sítě WSN. Kalkulace nezahrnuje kontrolní PC stanice ani pracovní činnost provedenou při realizaci projektu.

Z pohledu na předběžnou cenu a na množství vyskytnutých požárů v monitorované oblasti, by projekt neměl velké uplatnění, a jeho realizace by byla nevyužita. Vytvoření takové sítě je vhodné pro oblasti s častým výskytem požáru.

Literatura

- [1] Darren More, Dr Michael Brunig, Dr Tim Wark. CSIRO. *Monitoring Rainforest Regeneration*. [Online] 2009. [Citace: 11. 10. 2010.] <http://research.ict.csiro.au>.
- [2] Dr Matt Dunbabin, Dr Raja Jurdak, Dr Michael Brunig. CSIRO. *Water Quality Monitoring*. [Online] 2009. [Citace: 15. 10. 2010.] <http://research.ict.csiro.au>.
- [3] Fergus O'Reilly, Joe Buckely. Use of Wireless Sensor Networks for Fluorescent Lighting Control with Daylight Substitution. [Online] [Citace: 15. 10. 2010.] <http://www.sics.se/>.
- [4] IZZATDIN ABDUL AZIZ, MOHD HILMI HASAN, MOHD JIMMY ISMAIL, MAZLINA MEHAT, NAZLEENI SAMIHA HARON. Remote Monitoring in Agricultural Greenhouse Using Wireless Sensor. [Online] [Citace: 17. 10. 2010.] <http://www.ijens.org>.
- [5] Pedro Mestre, IAENG, Carlos Serodio, Raul Morais, Jorge Azevedo, Pedro Melo-Pinto. Vegetation Growth Detection Using Wireless Sensor Networks. [Online] 2010. [Citace: 17. 10 2010.] <http://www.iaeng.org>. ISBN: 978-988-17012-9-9.
- [6] R. Andrew Swartz, Jerome P. Lynch, Bert Sweetman, Raimund Rolfes, Stephan Zerbst. Structural Monitoring of Wind Turbines using Wireless. [Online] 2008. [Citace: 17. 10. 2010.] <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/spujol/Papers/Lynch.pdf>.
- [7] Solobera, Javier. libelium. *Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Waspote*. [Online] 9. 4 2010. [Citace: 25. 10. 2010.] <http://www.libelium.com/libeliumworld/articles/101031032811>.
- [8] 29. Státní zpráva zeměměřičství a katastru. [Online] [Citace: 5. 11. 2010.] <http://www.cuzk.cz/>.
- [9] Yang, Sarah. UC Berkeley News. *Redwoods go high tech: Researchers use wireless sensors to study California's state tree*. [Online] 2003. [Citace: 3. 11. 2010.] http://berkeley.edu/news/media/releases/2003/07/28_redwood.shtml.
- [10] Adam Dunkels, Niclas Finne, Joakim Eriksson, and Thiemo Voigt. *Run-Time Dynamic Linking for Reprogramming Wireless Sensor Networks*. 2006. ISBN:1-59593-343-3.
- [11] Seybold, John S. *Introduction to RF propagation*. místo neznámé : John Willey & sons. ISBN: 978-0-471-65596-1.
- [12] International society of automation. [Online] [Citace: 10. 11. 2010.] www.isa.com.
- [13] IEEE STANDARDS ASSOCIATION. [Online] [Citace: 15. 11. 2010.] <http://standards.ieee.org/>.
- [14] Stanislav Safaric, Kresimir Malaric. *ZigBee wireless standard*. Zadar, Chorvatsko : s.n., 2006.

- [15] EnOcean. [Online] [Citace: 10. 11. 2010.] <http://www.enocean.com/>.
- [16] IETF Tools. [Online] [Citace: 25. 11. 2010.] <http://tools.ietf.org/>.
- [17] Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. *Wireless Sensor Networks: A Survey*. 2002.
- [18] Libelium. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.libelium.com/waspote>.
- [19] Crossbow. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] www.xbow.com.
- [20] Tinynode. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.tinynode.com>.
- [21] Memsic. [Online] [Citace: 20. 2. 2011.] <http://www.memsic.com>.
- [22] Alliance, ZigBee. ZigBee Alliance. [Online] [Citace: 10. 4. 2011.] <http://www.zigbee.org/>.
- [23] Jennic. Jennic - Technology for a changing world. [Online] [Citace: 10. 4. 2011.] <http://www.jennic.com/>.
- [24] D.J. Cook, S.K. Das, John Wiley. *Wireless Sensor Networks: Technologies, Protocols and Applications*. [Online] 2004. [Citace: 25. 4. 2011.] <http://citeseerx.ist.psu.edu>.
- [25] VerizonWireless. [Online] [Citace: 10. 5. 2011.] <http://opennetwork.verizonwireless.com>.
- [26] Sensor-Networks. [Online] [Citace: 10. 5. 2011.] <http://www.sensor-networks.org>.
- [27] FIGARO. [Online] [Citace: 17. 5. 2011.] <http://www.figarosensors.com>.
- [28] Lukeš Miroslav. Produkty hoření. [Online] [Citace: 25. 5. 2011.] <http://www.hzscr.cz>.
- [29] TinyOS. [Online] [Citace: 28. 5. 2011.] <http://docs.tinyos.net>.

seznam obrázků:

Obrázek 1 - fresnelova zóna	13
Obrázek 2 – schema řízení světla v budovách	16
Obrázek 3 obecné schéma systému detekce požáru	17
Obrázek 4 Low-cost WiMMS bezdrátové senzory navržené pro strukturální sledování větrných turbín	20
Obrázek 5 - architektura systému	21
Obrázek 6 - snímání růstu rostlin	22
Obrázek 7- a) mírný povrchový požár, b) intenzivní povrchový požár,	24
Obrázek 8 - vysílač vrchol komonec	25
Obrázek 9- mapa monitorované oblasti komonCE [8]	28
Obrázek 10-Libellium Waspnote	30
Obrázek 11 - crossbow IRIS	31
Obrázek 12 - TinyNode 584	31
Obrázek 13 - imote2	32
Obrázek 14- standard extension board	33
Obrázek 15 - topologie sítí.....	36
Obrázek 16 - gateway Digi connectport x4	39
Obrázek 17 - topologie sítě.....	39
Obrázek 18 - schéma topologie sítě	40
Obrázek 19 - názorná ukázka komunikace alarm SMS	41
Obrázek 20 - budka pro umístění senzoru.....	42