

# **Elektromagnetická interference bezdrátových detektorů v průmyslu komerční bezpečnosti**

Electromagnetic interference of wireless detectors in the commercial security industry

Jan Gogela

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan GOGELA**  
Osobní číslo: **A08116**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Elektromagnetická interference bezdrátových  
detektorů v průmyslu komerční bezpečnosti**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou bezdrátových detektorů.
2. Seznamte se s problematikou elektromagnetické kompatibility.
3. Uveďte princip a funkci senzorů a detektorů využívaných v bezdrátové komunikaci.
4. Navrhněte vhodný způsob zapojení měřicí soustavy pro měření elektromagnetické interference.
5. Verifikujte naměřená data.
6. Uveďte možnosti proti zablokování komunikace senzorů a detektorů s ústřednou.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VACULÍKOVÁ, Polina; VACULÍK, Emil. Elektromagnetická kompatibilita elektromagnetických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení. 1. Praha : Is.n.I, 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8.
2. IVANKA, Ján. Systemizace bezpečnostního průmyslu I. Zlín : Is.n.I, 2010. 135 s. ISBN 80-7318-402-8.
3. ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z., RAIDA, Z. Elektromagnetické vlny a vedení. 2. rozšířené a přepracované vydání. Brno: Nakladatelství VUTIVM, 1999. ISBN 80-214-1261-5.
4. SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility : přednášky. Brno : Is.n.I, 2001. 155 s. ISBN 80-214-1573-8.
5. IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. In: Security magazin.Roč.XII, vyd 63, 1/2005, vyd. Familymedia, Praha, 2005, str. 6-7, ISSN 1210-8723
6. IVANKA, Ján. Technické prostředky bezpečnosti a elektromagnetická kompatibilita. In. Řešení krizových situací v specifickém prostředí. EDIS-Žilinská univerzita, Žilina, 2004, str.77-82, ISBN 80-8070-272-1

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ján Ivanka**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

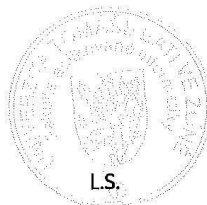
**25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**23. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

V bakalářské práci se student zabýval problematikou rušení bezdrátových detektorů. Cílem bylo navrhnout způsob jak narušit činnost detektoru pomocí generovaného elektromagnetického pole.

V teoretické části práce objasnil funkce jednotlivých detektorů, způsob detekce a komunikace s ústřednou.

V praktické části prováděl samotné rušení detektorů s cílem narušení jejich funkčnosti. Měření rušení bylo uskutečněno anténou v bezprostřední vzdálenosti od detektoru.

Student v závěru práce uvedl vyhodnocení výsledků s možnými způsoby ochrany proti rušení.

Klíčová slova:

Interference, detektor, rušení, EMC.

## ABSTRACT

In the bachelor thesis student has a dealt with the issue of wireless detektor. The objective was to design a way to disrupt the activity of the detector using generated electromagnetic field.

In the theoretical part explain the function of the detectors, the method of detection and communication with the exchange.

The practical part conducted themselves interference of detectors to impair their functionality. Interference measurements were carried out by the antenna in the immediate vicinity of the detector.

Students at work's conclusion indicated the evaluation results the possible ways of protection against interference.

Keywords:

Interference, detector, disturbance, EMC.

Děkuji všem, kteří mi v životě dali příležitost.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 DETEKTORY</b> .....	<b>12</b>
1.1 ÚVOD DO BEZDRÁTOVÝCH DETEKTORŮ .....	12
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ .....	13
1.2.1 Elektrické pole .....	13
1.2.2 Magnetické pole .....	13
1.2.3 Objev elektromagnetických vln .....	13
1.2.4 Vlnění .....	13
1.2.5 Vznik vlnění .....	14
1.2.6 Elektromagnetické vlnění.....	15
1.2.7 Mikrovlnné záření .....	15
1.3 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY VE VOLNÉM PROSTŘEDÍ.....	15
1.4 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY V NEHOMOGENNÍM PROSTŘEDÍ.....	16
1.5 MECHANIZMY ŠÍŘENÍ VLN V BLÍZKOSTI ZEMĚ.....	16
1.5.1 Přímá vlna .....	17
1.5.2 Prostorová vlna.....	17
1.6 ANTÉNNÍ SYSTÉMY.....	18
1.6.1 Anténa - obecně.....	18
1.6.2 Základní parametry .....	18
1.6.3 Mikrovlnné antény .....	18
1.7 MAXWELLOVI ROVNICE .....	19
<b>2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA</b> .....	<b>21</b>
2.1 VÝZNAM POJMU ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY .....	21
2.2 DŮVOD ZAVEDENÍ.....	21
2.3 ROZDĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY .....	22
2.4 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE .....	24
2.4.1 Zdroje rušení .....	24
2.4.2 Šíření rušení, elektromagnetické vazby .....	26
2.5 NORMY A PŘEDPISY.....	26
2.5.1 Směrnice EU č. 89/336/EEC.....	26
2.5.2 Značka CE .....	27
2.5.3 Legislativa České republiky .....	28
<b>3 VYBRANÉ DETEKTORY</b> .....	<b>30</b>
3.1 INFRAČERVENÉ DETEKTORY.....	30
3.1.1 Rozdělení.....	30
3.1.2 Pyroelement.....	30
3.1.3 Optika PIR detektoru.....	31
3.1.3.1 Fresnelova čočka.....	31
3.1.3.2 Zrcadla .....	32
3.2 MIKROVLNNÉ DETEKTORY .....	32
3.2.1 Princip .....	33
3.2.2 Dopplerův jev .....	33

<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>35</b>
<b>4 METODIKA MĚŘENÍ.....</b>	<b>36</b>
4.1 POSTUP MĚŘENÍ.....	36
4.2 MĚŘICÍ MÍSTNOST .....	36
<b>5 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE .....</b>	<b>37</b>
5.1 ROHDE &SCHWARZ SM 300 .....	37
5.2 ANTÉNA .....	37
5.3 LAKE SHORE 421 GAUSSMETR .....	37
<b>6 MĚŘENÉ PŘÍSTROJE .....</b>	<b>40</b>
6.1 JA-80P BEZDRÁTOVÝ PIR DETEKTOR .....	40
6.2 JA-80PB BEZDRÁTOVÝ PIR + GLASSBREAK DETEKTOR .....	41
<b>7 NAMĚŘENÁ DATA .....</b>	<b>42</b>
7.1 MAGNETICKÉ POLE VYZAŘOVANÉ DETEKTOREM .....	42
7.2 PREZENTACE INTERFERENCE .....	44
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>55</b>



## ÚVOD

Průmysl komerční bezpečnosti (dále jen PKB) je velmi rozsáhlá oblast služeb, která zajišťuje ochranu osob a majetku, zamezuje protiprávnímu jednání a mírní jeho následky a škody. Oblast bezpečnostního průmyslu je velmi komplexní a organizovaná, využívá zpravidla vyspělé technické a technologické prostředky, vyškolený personál a odborný management. Zabývá se mimo jiné detektivní činností, fyzickou ostrahou, převozy cenností a peněz, ochranou informací, a rozsáhlou oblast bezpečnosti tvoří také technické prvky, o malé části z nich pojednává tato práce.

Jak již bylo řečeno, PKB se dělí na několik množin, jmenovitě se jedná o strážní služby, techniku, hardware, řízení událostí a specialisty. Techniku rozdělujeme v primární části na poplachové systémy, kamerové systémy CCTV (z angl. Close Circuit Television), bezpečností osvětlení, bezpečnostní a nouzové systémy, kontrolu vstupů a instalace požárních systémů. V poplachových systémech je důležitá podmnožina, kterou můžeme nazvat prvky prostorové ochrany, v té jsou konečně pasivní a aktivní infračervené detektory, mikrovlnné detektory, ultrazvukové detektory a popřípadě jejich kombinace v duálních detektorech.

V PKB jsou detektory velmi často používané technické prvky. Používají se v rámci perimetrické, plášťové, prostorové i předmětové ochrany. Je spousta druhů detektorů a každý z nich pracuje s jinými fyzikálními veličinami a na jiném principu. Žijeme v době, kdy je prostor okolo nás zaplněn elektromagnetickým zářením o různých vlnových délkách, frekvencích a intenzitách. Toto záření pochází z rozličných zdrojů, ať už přírodních, anebo lidmi vytvořených. V PKB ale musíme zamezit tomu, aby naše detektory a přístroje byly rušeny nebo alespoň toto rušení omezit na minimum. A to z toho důvodu, aby nevznikaly falešné poplachy, chybová hlášení, a abychom zajistili celkově spolehlivý provoz a chod elektronických komponent, které spravujeme a používáme.

Právě proto vznikla tato práce, aby objasnila možná rizika při použití bezdrátových detektorů v běžném prostředí plném elektromagnetického šumu. Jak dnes již velmi dobře víme, elektromagnetický šum má vliv nejen na živé organizmy, ale i na elektronické stroje, přístroje a jednotlivé součásti a vliv šumu nemůžeme označit za příznivý na funkci a na životnost používané techniky. Podrobně také popisuje vznik jednotlivých záření a konečný vliv na detektory.

Z historického pohledu můžeme datovat první elektrický zabezpečovací systém do roku 1853, kdy byl patentován firmou Hinds and Williams. Jednalo se o systém obvodů instalovaných na okna a dveře s baterií a zvonkem. V roce 1858 se začal využívat první pult centralizované ochrany (PCO), který byl vytvořen touto firmou. Na začátku 20. století se využívala převážně čidla s vibračními kontakty, obecně elektromechanická čidla. Do 50. let se využívaly PCO, založené výhradně na releových obvodech. V 60. letech se začaly vyrábět VKV čidla, která detekovala změny v elektromagnetickém poli pomocí signálu o frekvenci několika stovek MHz. Později byly vytvořeny Gunnovy diody, které pracovaly v pásmu mikrovln a započal se vývoj mikrovlnných čidel. Koncem 70. let je možno setkat se i s pasivním infračerveným čidlem (PIR). V posledním desetiletí je největší důraz kladen na využití biometrických prvků a jejich uplatnění v oblasti bezpečnosti.

V PKB jsou stále častěji používána slova jako elektromagnetická kompatibilita, susceptibilita a interference. To proto, že svět okolo nás je přeplněn zářením. Jedná se o různé záření z různých zdrojů. Ať už mluvíme o záření kosmickém, které pochází ze sluneční aktivity či jiných kosmických dějů a událostí nebo o záření, které vzniká na naší planetě, kde nejčastěji za vznikající záření může lidská tvorba a člověk samotný.

Teoretická část bakalářské práce nás seznamuje s pojmy elektromagnetické kompatibility a jejím členěním, s nimi je spojena i normotvorba v oblasti EMC, na kterou je kladen stále větší důraz, popisuje základní provedení bezdrátových detektorů a způsob komunikace se systémem ústředny. Druhý blok práce, praktická část, se věnuje samotnému rušení bezdrátových detektorů v reálném čase pomocí mikrovlnné antény s rozdílnými parametry vysílání a vysílacích signálů. Závěr shrnuje výčet pokusů a určuje úspěšnost nežádoucích vlivů působících na detektory.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 DETEKTORY

Detektory jsou technické prvky tvořené čidlem, zdrojem, plošnou deskou a popřípadě anténou, pokud jsou bezdrátové. Čidlo detektoru je prvek, který reaguje na fyzické podněty, které vznikají při činnosti pachatele. Chová se vůči svému prostředí aktivně, nebo pasivně. Pasivní detektory zachycují již zmíněné fyzikální veličiny, aniž by jakkoliv ovlivňovali sledované okolí. Aktivní činnost detektorů je jiná. Sami ovlivňují své prostředí tím, že do okolí vysílají energii a sledují změny, které vznikají.

### 1.1 Úvod do bezdrátových detektorů

„Zařízení elektronických zabezpečovacích systémů (dále jen EZS): je soubor detektorů, tísňových hlásičů, ústředen, prostředků poplachové signalizace, přenosových zařízení, zapisovacích zařízení a ovládacích zařízení, jejichž prostřednictvím je opticky nebo akusticky signalizováno na určitém místě narušení střeženého objektu nebo prostoru.“ [2]

Do kategorie EZS jsou zahrnuty prvky prostorové ochrany, které slouží ke střežení předem vytyčeného prostoru, a na něž se vztahuje česká norma ČSN EN 50131-2. Detektory zajišťující prostorovou ochranu mají velmi všestranné použití, mohou být umístěny do venkovních i vnitřních prostor, velikost snímaného prostoru může být do velké míry změněna použitím vhodnější čočky či změnou polohy přepínačů uvnitř detektoru. Použité detektory můžeme rozdělit podle způsobu komunikace na drátové a bezdrátové.

Drátové detektory mají jako přenosové médium soustavu kabelů, mezi nimiž je přívod napájení, a datové kabely, které informují ústřednu o stavu zařízení a o dění ve střežené oblasti. Komunikace může probíhat pouze od detektoru k ústředně, nebo mezi oběma navzájem, a to v simplexním, polo-duplexním nebo plně duplexním režimu. Bezdrátové detektory jsou oproti nim mnohem méně náročné na instalaci – napájení je zajištěno bateriemi vloženými do detektoru a komunikace mezi detektorem a ústřednou probíhá bezdrátově v předem zvoleném frekvenčním pásmu. Při použití bezdrátových detektorů vzniká ovšem i větší možnost rizika jejich rušení, odposlechu komunikace mezi ústřednou a detektorem nebo i celkového ohrožení jejich funkčnosti.

Než bude pozornost zaměřena na detektory, musí se vysvětlit pojmy a principy elektromagnetického vlnění.

## 1.2 Elektromagnetické vlnění

### 1.2.1 Elektrické pole

Příčinou vzniku elektrického pole jsou nevykompenzované elektrické náboje a popřípadě proměnné pole magnetické. Elektrická pole dělíme podle časové závislosti na stacionární a nestacionární. U stacionárního elektrického pole rozeznáváme případ, kdy se jedná o elektrostatické pole.

### 1.2.2 Magnetické pole

Magnetické pole vzniká při pohybu elektrického náboje, popřípadě u permanentních magnetů, kde jej indukují vázané elektrické proudy. Magnetické pole můžeme také vytvořit změnami elektrického pole. Rozlišujeme magnetická pole nestacionární a stacionární, u těch ještě zvláštní případ, pole magnetostatické. Magnetostatické pole vzniká u zmagnetovaných látek a způsobuje ho nulový výskyt volných elektrických proudů. Jako další dělení bereme homogenní a nehomogenní pole. V případě, že je intenzita pole ve všech bodech stejná a má identický směr, který můžeme znázornit indukčními čarami, myslíme tím homogenní pole. Pokud tomuto tvrzení nevyhovuje, jedná se o pole nehomogenní.

### 1.2.3 Objev elektromagnetických vln

James Clerk Maxwell (13. června 1831 – 5. listopadu 1879) v roce 1865 odvodil matematicky existenci elektromagnetických vln. Jejich rychlost byla stanovena na rychlost světla. Podstatným objevem bylo, že paprsek světla je tvořen postupnou vlnou, která je složena z elektrického a magnetického pole. Heinrich Hertz (22. února 1857 – 1. ledna 1894), který vycházel z Maxwellovi práce, dal základy vývoji bezdrátového spojení, když v roce 1872 prakticky dokázal šíření bezdrátových vln. Celé elektromagnetické spektrum nazýváme „Maxwellova duha“, tomuto spektru jsou vystaveny všechny objekty ve vesmíru, přičemž jsou hvězdy nejsilnějšími zdroji.

### 1.2.4 Vlnění

Fyzikální podstata vlnové složky všech záření, ať už se jedná o viditelné záření, gama záření, rentgenovo záření nebo elektromagnetické vlny v radiotechnice, je stejná. Každé záření má dvě povahy, první je vlnová (undulační) a druhou označujeme jako částicovou (korpuskulární). Kmity intenzity elektrického pole  $\vec{E}$  a intenzity magnetického pole  $\vec{H}$  jsou

složkami elektromagnetického vlnění. Jsou ve dvou rovinách, které jsou na sebe kolmé a tyto pole jsou ve stejné fázi. Všechna záření, výše uvedená, se ve vakuu pohybují rychlostí světla ( $c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Všechny druhy záření se liší pouze vlnovou délkou. Známá záření mají však i částicový charakter. To si můžeme představit jako proud elementárních částic, ty nazýváme fotony.

Pro výpočet frekvence existuje vzorec:  $f = \frac{c}{\lambda}$

Vlnění ovlivňuje několik faktorů:

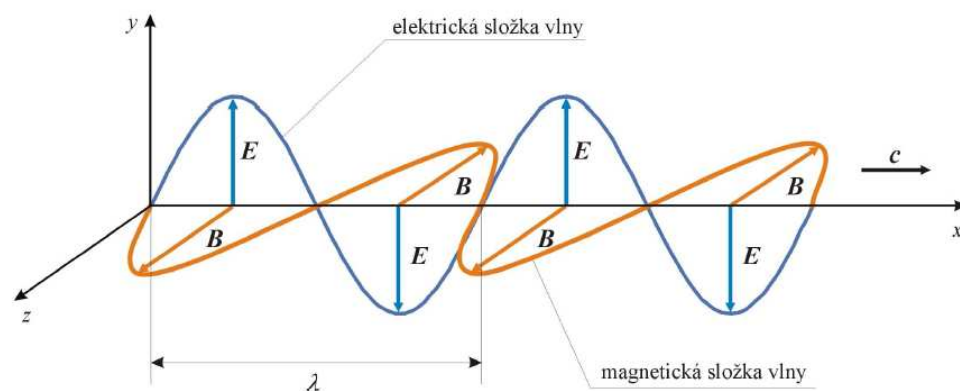
$c$  – rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] – udává, jakou rychlostí se šíří vlny prostředím od zdroje k dalším předmětům v okolí. Rychlost do značné míry ovlivňuje, jakým prostředím se vlnění šíří.

$f$  – frekvence [Hz] – značí počet kmitů zdroje za jednotku času. Převrácenou hodnotou frekvence je perioda.

$\lambda$  – vlnová délka [m] – vzdálenost dvou sousedních supremum maxim, nebo minim infimum

### 1.2.5 Vznik vlnění

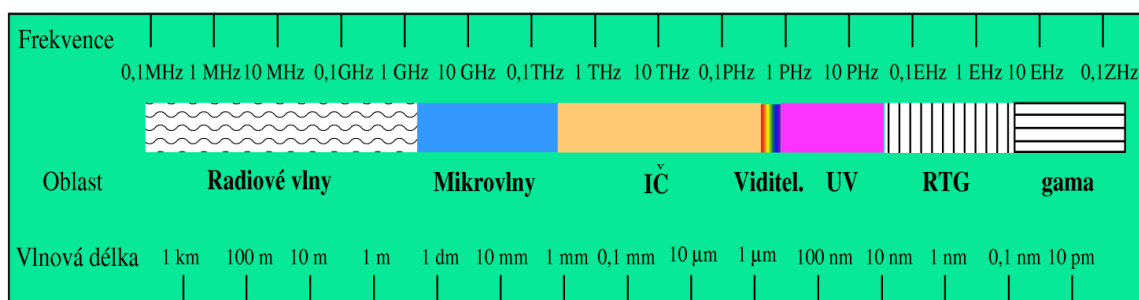
Rozeznáváme dva druhy vlnění, a to vlnění mechanické a elektromagnetické. Jako mechanické vlnění můžeme uvést hlas a různé zvuky: vlny na hladině vody, kmitající pružinu a další. Toto vlnění je charakteristické tím, že se šíří pouze ve hmotném prostředí a nemůže se šířit vakuem. Oproti mechanickému se elektromagnetické vlnění šíří vakuem bez problémů a dosahuje v něm nejvyšší rychlosti. Zdrojem elektromagnetického vlnění jsou elektricky nabitě kmitající částice. Navenek jsou tyto částice (může se jednat o kladně, nebo záporně nabitě molekuly, ionty, nebo i samotné elektrony) v elektrické nerovnováze.



Obrázek 1 – Složky vlnění

### 1.2.6 Elektromagnetické vlnění

Spektrum elektromagnetických vln je velmi obsáhlé. Pokud budeme jmenovat od nejnižších vlnových délek, tak to jsou: radiové vlny, mikrovlny, infračervené záření, viditelné světlo, ultrafialové záření, rentgenové a poslední gama záření. Vlnění o velké vlnové délce (radiové vlny) má schopnost „obtékat“ i velké překážky, což například gama záření nemá, a tak za překážkou vzniká stín. Je důležité zmínit, že s klesající vlnovou délkou roste frekvence. Vlny o velkých frekvencích nazýváme paprskem, protože se šíří prakticky přímočaře.



Obrázek 2 – Elektromagnetické spektrum

### 1.2.7 Mikrovlnné záření

Má vlnovou délku v milimetrech, vzniká v magnetronu. Nejběžněji se používá k přenosu dat (například Wi-fi – používá frekvence o hodnotách 2,4 až 5GHz). Také radary využívají ke své činnosti mikrovlnné záření. Mikrovlny jsou velmi dobře pohlcovány polárními molekulami (molekuly vody; elektrický náboj je rozložen asymetricky. V jedné části převládá náboj kladný, v druhé náboj záporný), celá molekula se rozkmitá a následně se zvýší její teplota. Tohoto jevu využívá mikrovlnná trouba. Použitá frekvence je 2,45GHz.

## 1.3 Elektromagnetické vlny ve volném prostředí

Je předpoklad, že jsme v neomezeném lineárním homogenním a zároveň izotropním prostředí. Ve zkoumaném prostoru dále nebudou žádné nucené proudy a také objemová hustota náboje je konstantně nulová. Naším předpokladem je, že zkoumané vlny budou mít uniformní charakter (amplitudy magnetického a elektrického pole budou konstantní a ve fázi). Elektrické pole vznikající v prostoru nezaplní tento daný prostor okamžitě, ale rozšíří se konečnou rychlostí, která je podmíněná vlastnostmi prostředí. Jako zdroj mějme všesměrový bodový zářič, pokud zachytíme záření, zjistíme, že emitované vlnoplochy jsou kulové povrchy se středem v zářiči. Emitovanou vlnu nazýváme kulová vlna. Pokud

budeme mít vlnu harmonického proudu, která protéká nekonečně dlouhým vodičem, budou vlnoplochy válcového tvaru. Uvedenou vlnu nazýváme válcovou vlnou. Jako poslední bereme rovinnou vlnu. To v případě, že budeme sledovat jednu z předešlých vln z téměř nekonečné vzdálenosti od zdroje a zakřivení vlnoploch bude tak malé, že je můžeme považovat za rovinné.

#### **1.4 Elektromagnetické vlny v nehomogenním prostředí**

Většina instalací zabezpečovacích a jiných systémů v PKB je budována v budovách nebo v jejich těsné blízkosti a většina bezdrátové komunikace probíhá přes stěnu nebo stěny objektu, popřípadě stromy, větve či jiné překážky. V důsledku toho je výhodná znalost chování vlnění v zástavbě a jiných specifických podmínkách. Zejména u detektorů, kdy je důležitá jejich obecnost a univerzálnost při instalaci, je důležitá všesměrová anténa. Při jejím použití ovšem vznikají vícečetné odrazy a do místa přijímače by v nejhorším možném případě mohly dojít dvě a více vln, jejichž amplituda a fázový posun by interferovaly do té míry, že by výsledný signál byl pro přijímač nečitelný (byl by zachycen šum), nebo by byl vyhodnocen jako jiná situace. Stejně tak aktivní detektory mohou po porovnání přijatého a referenčního signálu vyhodnotit situaci mylně. To v dnešní době ošetřují tzv. „učící algoritmy“.

Tento druh šíření vln je ze všech nejkomplikovanější. Energie vysílaná mezi anténami se může šířit přímo, odrazem, nebo ohybem. Samotné šíření ovlivňuje spousta faktorů, jako jsou vybavení interiéru, okolní budovy, změny v prostředí, objekty pohybující se v prostředí, kterým prochází vlnění. Výtahové a servisní šachty, tunely a chodby mohou do značné míry sloužit jako vlnovody.

#### **1.5 Mechanizmy šíření vln v blízkosti Země**

V blízkosti Země se vlny šíří podél rozhraní dvou prostředí, která mají podstatně rozdílné elektrické parametry. Vzduch se z elektrického hlediska blíží vakuu, povrch Země je částečně vodivé dielektrikum. Navíc se s vlhkostí a stupněm ionizace mění vlastnosti obou. Z geometrického hlediska je rozhraní v makroskopickém pohledu kulovité, místně je různě zvlněné a v detailu je drsné (malé terénní nerovnosti, porost, zástavba). Samotná atmosféra není homogenní a ve větších výškách je ionizována působením slunečního záření. To vše má vliv na šíření vln.



Při praktickém využití nemůžeme brát v potaz všechny dané skutečnosti, proto se pro reálné situace využívají zjednodušené modely. Každý model vezme v úvahu jen ty nejpodstatnější parametry. A při návrhu radiového spojení vybíráme ten nejvhodnější pro naši aplikaci, v úvahu bereme i kmitočet vln, vzdálenost antén a jejich polohu.

Mezi vysílací anténou a přijímačem se může vlnění přenášet pouze vzduchem. Rozeznáváme pět druhů přenosu signálu. Jmenovitě se jedná: vlna přímá, vlna prostorová, vlna povrchová, vlna ionosférická a troposférický rozptyl. Pouze první dvě však využíváme pro přenos informace mezi detektorem a ústřednou.

### 1.5.1 Přímá vlna

Přímá vlna se šíří volným prostorem atmosféry. Přibližně do hodnoty frekvence 1GHz má atmosféra skoro totožné vlastnosti jako vakuum. Při použití vyšších vysílacích frekvencí se zvyšuje útlum signálu. Atmosférické srážky (mlha, déšť) mají značný vliv na velikost útlumu signálu. Samozřejmě musí být vzata v úvahu intenzita srážek a použitá frekvence. Při použití kmitočtu 10GHz bude útlum asi 0,05dB/km, když bude záření procházet mírným deštěm (to jsou 4mm srážek za hodinu). Při použití frekvence 20GHz jsou vlivy prostředí zásadně výraznější a útlum je přibližně 10x větší.

Pokud atmosférou prostupuje záření, může docházet k rezonanci částic a molekul obsažených v atmosféře. Rezonance jsou také příčinou útlumu. Nejznatelněji se to projevuje u vodních par a kyslíku. Vlnění je výrazně utlumeno, pokud použijeme frekvenci, která je blízká rezonanční frekvenci částic obsažených v prostředí. Daný jev je velmi názorný při použití kmitočtu 60GHz v kyslíkovém prostředí. Útlum způsobený molekulami kyslíku je 15dB/km, kdežto při použití frekvence 80GHz ve stejném prostředí je útlum pouze 0,2dB/km.

### 1.5.2 Prostorová vlna

Prostorové vlny se využívají při rádiovém spojení, kmitočtové pásmo je od 30 MHz až do několika jednotek GHz. Tyto frekvence se využívají pro šíření televizního signálu, pro vysokofrekvenční vysílání rozhlasových stanic a pro využití radiotelekomunikačních služeb (mobilní telefony, armádní spoje, atd.)

## 1.6 Anténní systémy

### 1.6.1 Anténa - obecně

Anténa je bezesporu klíčovým prvkem radiokomunikačního řetězce. Pro potřeby dalšího studia šíření vln pro rádiový spoj je tedy nezbytné stručně definovat základní anténní parametry. Úkolem antény je vyzářit vlnu vedenou na vedení, ve vlnovodu či kabelu do prostoru. Na straně přijímače pak anténa vlnu šířící se v prostoru přemění na vlnu vedenou. Obě úlohy jsou reciproké, a tudíž anténní parametry jsou principiálně platné, nehledě na to, zda anténa pracuje jako vysílací či přijímací. Též je nutno poznamenat, že na anténu lze pohlížet ze dvou pohledů, a to jak z hlediska obvodového, tak též z hlediska prostorového.[7]

### 1.6.2 Základní parametry

Vstupní impedance – anténa se vysílači jeví jako výstupní zátěž. Ideální je, pokud je impedance antény stejná s impedancí kabelu a zdroje, to zabraňuje vzniku stojatého vlnění a případným ztrátám.

Šířka pásma – impedance je silně frekvenčně závislá, a to podmiňuje i šířku pásma. Anténu můžeme chápat jako frekvenční filtr.

Vyzařování – jednou z informací, která nás u antén zajímá je, jak vyzařuje energii do jednotlivých směrů prostoru. Pro toto používáme sférickou soustavu souřadnic. Směr se určuje azimutem ( $0^\circ \div 360^\circ$ ) a elevací ( $-90^\circ \div +90^\circ$ ).

Zisk antény – je poměr výkonu na vstupu referenční antény k výkonu na reálné anténě. Intenzita a směr při tom musí být totožné.

Efektivní vyzářený výkon – je součinem zisku antény a vstupního výkonu.

Polarizace antény – je určována podle polarizace emitované vlny. Rozeznáváme tři základní druhy polarizace: horizontální, vertikální a kruhovou.

### 1.6.3 Mikrovlnné antény

Mikrovlnné antény vyzařují centimetrové a milimetrové vlny a převážně se při jejich použití využívají přímé vlny. Také se dost často využívá směrových antén. Mikrovlnné antény jsou několikanásobně větší, než je velikost vyzařovaných vln. To je podmínkou pro

tvoření směrových antén. Vyzařovací charakteristika takové antény může být i 1° pro hlavní svazek vln.

Zpravidla se využívají frekvence nad 1GHz. Mezi vysílačem a přijímačem by neměla být překážka, realizuje se spojení bod-bod. Toto spojení nejlépe vystihuje použití v aplikacích, jako jsou radary a družicové spojení.

## 1.7 Maxwellovi rovnice

Maxwellovi rovnice jsou velmi důležitou součástí fyziky elektromagnetických polí. První Maxwellova rovnice má základ v Ampérově zákoně celkového proudu. Součet proudů indukovaného, vnučeného a posuvného (jedná se o časově proměnnou polarizaci dielektrika, vyvolanou změnami vnějšího elektrického pole, jeví se jako proud) se rovná křivkovému integrálu na křivce.

$$\oint_l H \cdot dl = I_{ind} + I_{vn} + \frac{d\psi}{dt}$$

Druhá rovnice je vyjádřením Faradayova indukčního zákona.

$$\oint_l E \cdot dl = -\frac{d\phi}{dt}$$

Dvě výše uvedené rovnice jsou příkladem provázanosti elektrického a magnetického pole. V prvním případě vyjadřuje, že jsou proudy vírovou složkou magnetického pole, v druhém, že změny magnetického indukčního toku vyvolávají vírové složky elektrického. Za vírové pole považujeme pole, ve kterém nemají siločáry počátek ani konec.

Gaussova věta elektrostatiky je třetí Maxwellovou rovnicí, vektor elektrické indukce z uzavřené plochy je roven náboji v prostoru.

$$\oint_S D \cdot dS = Q$$

Zákon spojitosti siločar magnetické indukce je čtvrtou Maxwellovou rovnicí.

$$\oint_S B \cdot dS = 0$$

Použité veličiny:

H- magnetické pole

E- elektrické pole

I- proud (ind- indukovaný, vn- vnucený)

D- elektrická indukce

B- magnetická indukce

$\phi$ - elektrický potenciál

$\psi$ - tok elektrického pole

## 2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

### 2.1 Význam pojmu elektromagnetické kompatibility

Elektromagnetická kompatibility je pojem pocházející z anglického jazyka (původní název je *Electromagnetic compatibility* – mezinárodně používaná zkratka je EMC). Určuje, jak je prvek, zařízení nebo elektrický systém resistentní vůči nepříznivým vlivům umělých a přírodních zdrojů elektromagnetického záření, v jejichž dosahu se nachází, a zároveň, jak a do jaké míry ovlivňuje blízké okolí svou činností. Tím je myšleno, že přístroj bude správně fungovat a zároveň neznemožní bezchybnou funkci ostatních přístrojů ve svém dosahu.

Každým rokem se vyrobí na statisíce nejrůznějších elektronických zařízení ve všech koutech světa. Tato zařízení vstupují do našich životů a nemálo jej ovlivňují, některá jsou nezbytně nutná jako kardiostimulátory v medicíně, jiná jsou užitečná jako mobilní telefony, televize, tramvaje, počítače, a bez některých bychom se naprosto obešli, ale přesto tu jsou a zlepšují pomyslnou životní úroveň. Jednoduše řečeno, jen velmi těžko budeme hledat místa, kde žije civilizovaný člověk a nemá ve svém okolí žádný elektrický nebo elektronický přístroj nebo zařízení, nebo alespoň se nepohybuje v jejich elektromagnetickém poli.

### 2.2 Důvod zavedení

I proto vznikl koncem 60. let 20. století obor zabývající se elektromagnetickou kompatibilitou. Při míře s jakou dnes používáme elektrická zařízení, aniž bychom nevěnovali pozornost jejich vzájemnému ovlivňování a působení na své okolí, by docházelo k nejrůznějším výpadkům a škodám. Některé by byly drobné a malého charakteru, ale při jiných by mohly vzniknout milionové škody či ztráty na životech. Z historie jsou známy případy pádů letadel, potopených lodí, poškození nebo zničení důlních zařízení a jiné škody způsobené právě nekompatibilitou nebo nedodržováním norem EMC. Ve všech státech a společnostech světa se věnují některé normy právě EMC. V České republice se kompatibilitě věnuje například Nařízení vlády 616/2006 o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility a mnohé další, které budou zmíněny dále v textu. Toto nařízení ovšem zahrnuje veškeré elektronické přístroje kromě telekomunikačních a radiovysílačů. V EU je její obdobou platná direktiva č. 89/336/EEC, která uvádí obecné požadavky na prodávané, expedované a

vystavované přístroje. Pokud výrobek požadavky nespĺňuje, neměl by se na území EU prodávat.

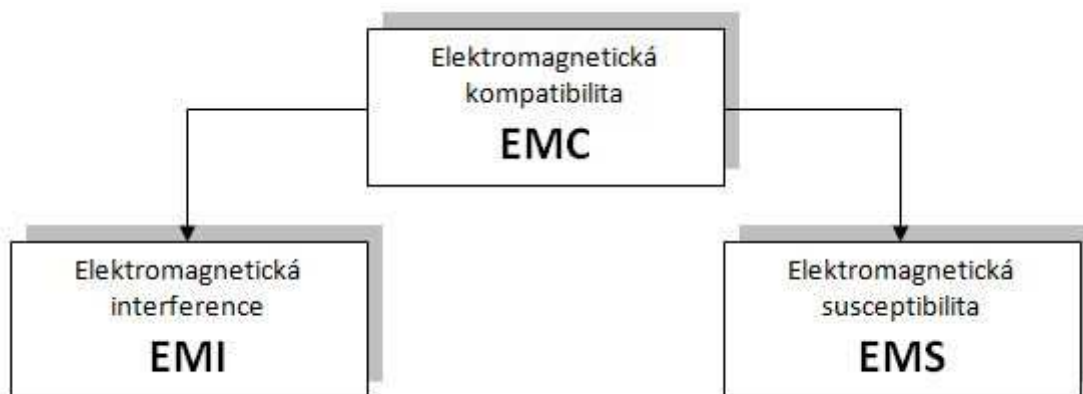
### 2.3 Rozdělení elektromagnetické kompatibility

EMC můžeme rozdělit do dvou odvětví podle zkoumaných systémů, toto rozdělení se dá považovat za nejzákladnější. Jsou to systémy biologické a technické. Výsledný vliv na tyto dva systémy může být v mnohých ohledech velice rozdílný, a to z toho důvodu, že u biologických systémů může docházet k narušení vnitřních struktur, změnám DNA atd. (při mikropohledu).

EMC biologických systémů určuje míru elektromagnetického záření (nežádoucího i užitečného) v životním prostředí na živé organismy a zkoumá jeho účinky. Účinky elektromagnetického pole na libovolné formy života se velmi různí, záleží na vlastnostech, jako jsou délka expozice, intenzita, frekvence a u organismů závisí na jejich struktuře, složení a dalších rozdílnostech. Je velmi obtížné stanovit přesně účinky a konečné změny v organismech. Pokud se jedná o mikrovlnné záření a záření vyšších frekvencí, můžeme zpravidla mluvit o tepelných účincích, kdy je organismus ohříván pomocí vlnění. Toto vlnění rozkmitává atomy v buňkách a s rychlostí jejich pohybu roste i teplota. Jako netepelné účinky bereme změny v nervovém systému, cévním a imunitním systému, které vznikly po dlouhodobém pohybu v prostoru, kde byl subjekt vystaven elektromagnetickému poli o relativně nízké úrovni. Těmito a jinými účinky na lidský organismus se úzce zabývají některá odvětví lékařství.

EMC technických systémů se zabývá vzájemnými vlivy elektronických zařízení. Rozhodujícím faktorem u technických systémů je frekvence, doba expozice je v tomto případě zanedbatelná, začátek nesprávné funkce můžeme zpravidla detekovat ihned po vystavení rušivým vlivům. Po skončení expozice je jen zřídka přijímač rušení znehodnocen (buď mohou být zničeny integrované obvody, na kterých se indukovalo napětí, nebo mohl být přístroj vystaven velmi intenzivnímu záření). Většinou se přístroj vrací do původního stavu, ve kterém pracuje korektně.

EMC rozdělujeme na dvě hlavní oblasti, je to elektromagnetická interference a elektromagnetická susceptibilita.



Obrázek 3 – EMC rozdělení

Za elektromagnetickou interferenci (z ang. Electromagnetic interference, dále jen EMI) považujeme jev, kdy je energie přenášena ze zdroje do přijímače pomocí elektromagnetické vazby. EMI je zaměřena na určení zdrojů rušení a jejich popis, měření a na hodnocení přenosových cest mezi systémy. Z toho plyne, že EMI je zaměřena na nalezení příčiny a odstranění rušení.

Oproti tomu elektromagnetická susceptibilita (ang. Electromagnetic susceptibility, EMS) se zabývá odolností přijímačů proti nežádoucímu signálu. Určuje, zda může být systém ovlivňován a do jaké míry je přípustná poruchovost v daném prostředí.

Ať už se jedná o jakýkoli systém, musíme vždy pamatovat na tři prvky: zdroj rušení, způsob přenosu a přijímač rušení. Přesto je tomu v reálných podmínkách jinak. V prostoru je vždy více zdrojů a přijímačů rušení. Proto při tvorbě bereme vždy jeden systém jako zdroj a ostatní jako přijímače rušení. Tímto způsobem se vyzkouší všechny možné varianty a následně se udělá souhrn a vyhodnocení.

Zdroj rušení je prvek, který vysílá do svého okolí rušivou energii, zaměřujeme se u něj hlavně na vznik energie a její intenzitu. Z oblasti lidských výtvorů máme celou škálu zdrojů rušení od různých generátorů, relé a spínačů po číslicovou techniku, počítače a anténní systémy, za zdroj rušení ale můžeme považovat i zcela běžné elektrické vedení. Mezi přírodní zdroje rušení řadíme Slunce, elektromagnetické děje v atmosféře a jiné.

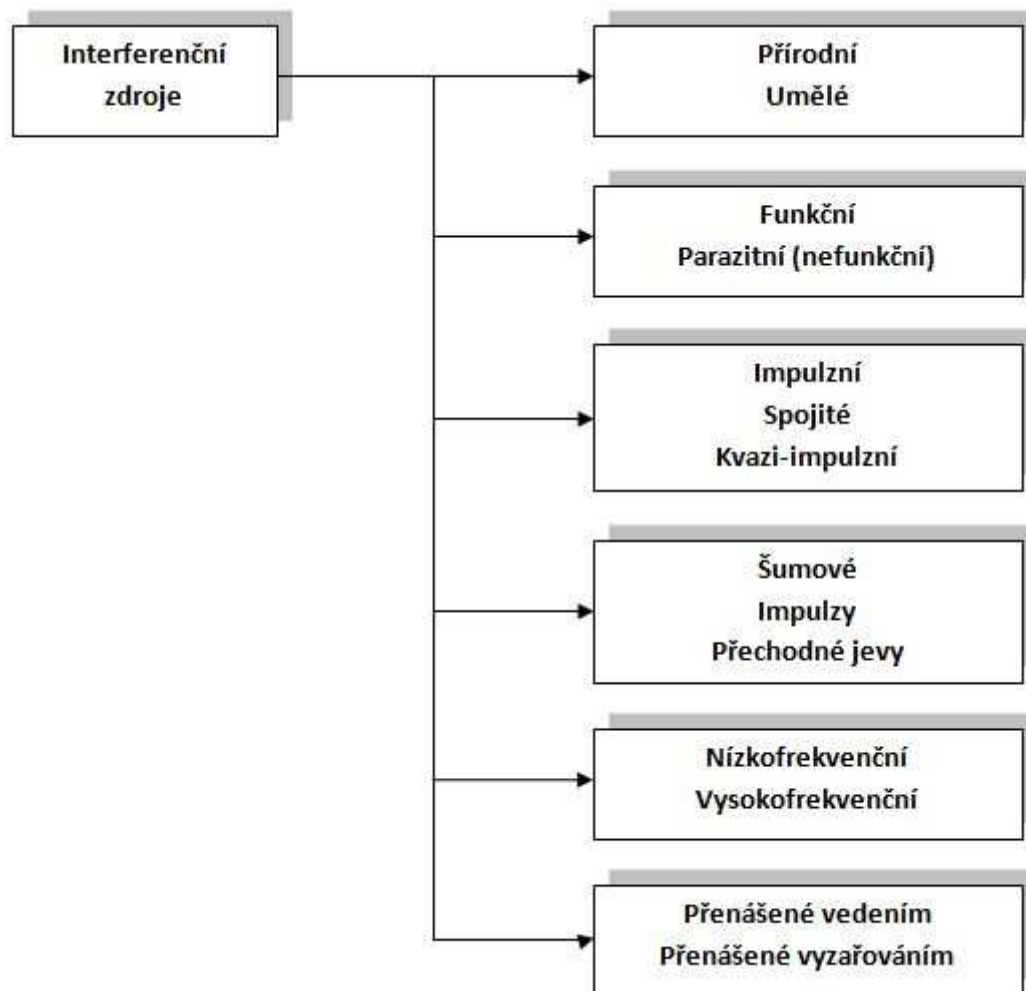
Způsob přenosu určuje, jakým způsobem se dostala energie od zdroje k přijímači. Jaké jsou mezi nimi vazby a velikost útlumu při přenosu.

Přijímač rušení je ovlivňovaný systém. V oblasti EMC se řeší jeho parametry a specifikace a je určena jeho klasifikace. Jako přijímač rušení můžeme považovat za jakoukoli vyhodnocovací jednotku, měřicí přístroj, počítač atd.

## 2.4 Elektromagnetická interference

### 2.4.1 Zdroje rušení

Pokud mluvíme o elektromagnetické interferenci, musíme nejdříve určit vznik rušení. Pokud chceme rozdělit zdroje rušení, je zapotřebí stanovit různá kritéria. Nejznámější dělení je na obrázku 4.



Obrázek 4 – Rozdělení interferenčních zdrojů

Pod přírodními zdroji rušení si můžeme představit všechny elektromagnetické atmosférické jevy, sluneční a kosmické záření, sluneční vítr a další jevy, jejichž vznik



nemůžeme ovlivnit, pouze zmírnit jejich vliv. Za umělé zdroje jsou označovány zdroje vzniklé lidskou rukou. Tyto jsou pro nás nejdůležitější.

Pokud v jednom systému vzniká signál, který je pro chod druhého nezbytný, ale pro ostatní rušivý, tak takovému zdroji říkáme funkční. Ostatní zdroje označujeme jako parazitní. Ovlivňují ostatní systémy, aniž by šířily užitečné nebo potřebné informace.

Podle časového průběhu rušivého signálu můžeme vytvořit další členění. Impulzní rušení je sled impulzů (jako příklad můžeme uvést rušení vzniklé spínáním relé). Jako spojitě rušení považujeme rušení nepřetržité. Kvazi-impulzivní rušení je další možnou variantou. Určení druhu rušení je podle časového průběhu mnohdy velmi obtížné. Proto i pro tento případ byly stanoveny mezinárodní normy (v ČR se jedná o normu ČSN EN 55014). Tato norma určuje nejdelší dobu trvání signálu, kdy jej stále můžeme považovat za impulz. Délka trvání signálu nesmí být delší než 200ms a zároveň čas do dalšího rušení musí být nejméně 200ms. V tomto čase jej může tvořit i několik menších samostatných impulzů, nebo spojitá řada impulzů.

Při určování typu rušení se velice často využívá dělení do tří skupin:

- Impulz – jedná se o signály s krátkou dobou trvání a poměrně velkou velikostí. Můžeme je určit jako kladné, nebo záporné hroty. Nejčastěji vznikají při přepínání a spínání elektrických nebo elektronických systémů.
- Šum – zpravidla velmi často ovlivňují napájecí napětí. Pojem šum používaný v elektronice se liší od pojmu v EMC. V oblasti elektroniky se jako šum považuje náhodný signál, který vzniká při činnosti nějakého přístroje. V oblasti EMC se může jednat i o periodický signál (elektronický šum je podmnožinou šumu v EMC). Vzniká například při chodu elektrických motorů.
- Přechodné jevy – jako přechodné jevy považujeme náhodně vznikající jednorázové signály. Doba jejich výskytu je zpravidla v rozmezí  $10^{-3} - 10^{-1}$ s. Vznikají v rozvodné síti při náhlých zapínáních zařízení s velkým výkonem.

Velmi důležitým parametrem rušivých signálů je šířka kmitočtového pásma. Kmitočtové pásmo potřebujeme znát, pokud chceme při jeho potlačení použít filtraci. O úzkopásmovém rušení mluvíme v případě, že je rušícím signálem signál televizní nebo rozhlasový. V případě širokopásmového rušení se jedná o podstatnou část signálů vznikajících v průmyslu (můžeme zde nalézt všechny druhy časových průběhů) a všechny signály vznikající v přírodě.

To bylo pouze jedno rozdělení podle kmitočtu, další je rozčlenění na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční rušení. Nízkofrekvenční dělíme ještě dále. Do kmitočtu 2kHz mluvíme o nízkofrekvenčním energetickém rušení. To působí především na napájecí obvody a části systémů a obecně ruší všechny přístroje závislé na tvaru křivky vstupního napětí. Zdrojem jsou zpravidla nelineární zátěže ve stejné síti. Akustické nízkofrekvenční rušení má negativní vliv na telefony, informační a komunikační soustavy a systémy pro řízení a měření atd. Toto pásmo sahá do 10kHz. Rušení způsobuje většina energetických zdrojů, radary atd. Vysokofrekvenční rušení bývá nazýváno také radiovým rušením. Jeho hranice jsou 10kHz až 400GHz. Jako zdroje můžeme považovat všechny interferenční zdroje, jelikož signál, který vytvářejí, a jeho vyšší harmonické často sahají až do těchto vysokých frekvencí.

Mezi zdrojem a přijímačem rušení je vždy volný prostor, nebo prvek, který je spojuje. Proto musíme určit, jakým způsobem se rušivý signál přenáší. Za obecně základní se považuje rušení šířící se po vedení a zdroje rušení šířící se vyzařováním. I když zdroj vytváří obě formy rušení, vždy je jedna z nich majoritní.

#### **2.4.2 Šíření rušení, elektromagnetické vazby**

Rušivé zdroje ovlivňují přijímače dvěma způsoby. Za první způsob je považováno vedení rušivých proudů a napětí, které se přenáší po vedení. Je to galvanická, indukční a kapacitní vazba. Druhým způsobem šíření rušení je přenos rušivé energie pomocí elektromagnetického pole.

Elektromagnetická vazba se uplatňuje výhradně při krátkých a velmi krátkých vlnách.

### **2.5 Normy a předpisy**

Od 1. 1. 1993 existuje v Evropské unii společný trh, na kterém je zaručen volný pohyb zboží, služeb atd.

#### **2.5.1 Směrnice EU č. 89/336/EEC**

Základní požadavky směrnice jsou:

Všeobecná zařízení prodávaná na trhu musí vyhovovat směrnici. Tato zařízení nesmí generovat nepřijatelné elektromagnetické rušení a musí být sama odolná proti rušení.

Každý, kdo vyrábí, distribuuje a prodává výrobky, musí prokázat certifikátem, že jeho výrobek je v souladu se směrnicí, tj. že splňuje harmonizované evropské normy týkající se EMC, vydávané Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice (CELENEC).

Členské státy musí přijmout a publikovat zákony, předpisy a administrativní opatření nezbytná k plnění ustanovení směrnice.

Důležitým požadavkem směrnice je to, že má nejen platit v jednotlivých členských státech, ale musí v každém z nich být přeložena do národního jazyka a musí být schválena národními vládami jako zákon. [1]

### 2.5.2 Značka CE

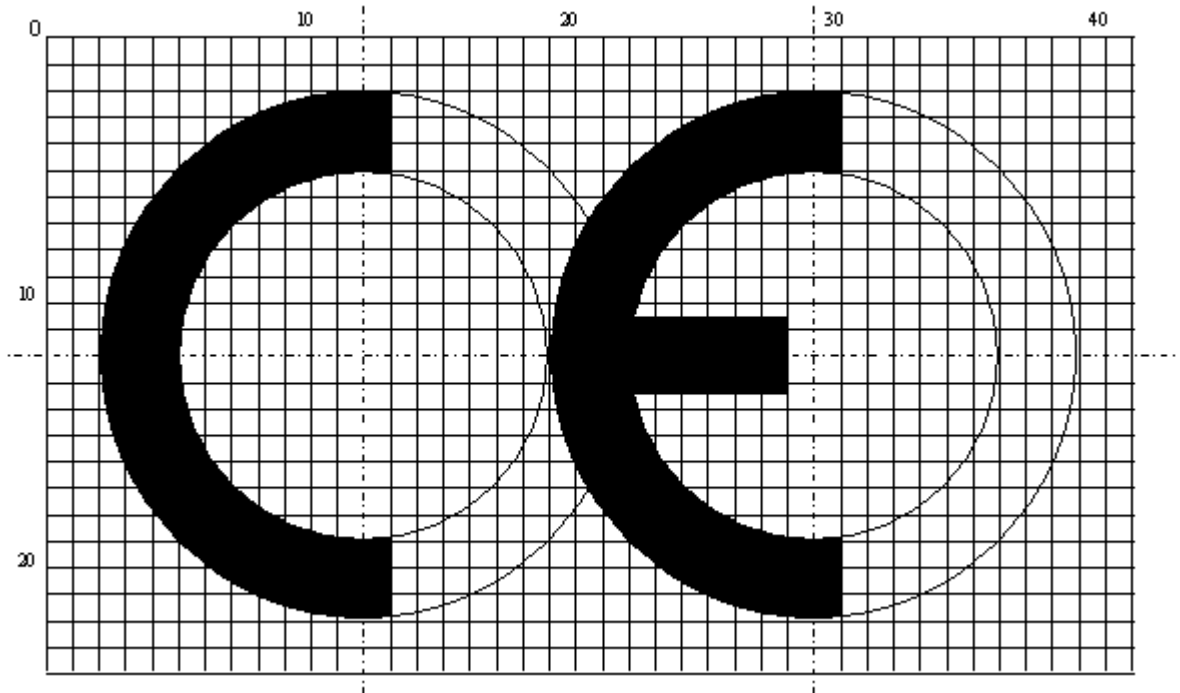
Dle zákonů EU, známých jako „New Approach Directives“, veškeré výrobky volně dostupné a samostatně prodávané v zemích EU od 1. 1. 1996 musí být označeny značkou CE (Communauté Européenne).

Značka CE není výhradní značkou EMC.

Použitím značky CE na výrobku výrobce oznamuje, že tento výrobek ve smyslu „New Approach Directives“ vyhovuje všem závazným požadavkům kladených na tento výrobek podle všech závazných předpisů vztahujících se k tomuto výrobku ve smyslu požadavků na bezpečnost, ochranu před nebezpečným napětím, EMC, hygienu, ochranu životního prostředí apod., tj. že jeho vlastnosti jsou v souladu se všemi harmonizovanými technickými předpisy EU.

Výrobce, případně dovozce, musí vědět, které směrnice EU se k danému výrobku vztahují – směrnice o EMC, nízkém napětí, telekomunikacích, strojích, hračkách apod.

Značka CE se nepůjčuje, nedá se koupit, nikde se nedá vyzvednout povolení značku používat. Osoba odpovědná za výrobek připevní značku CE na vlastní odpovědnost a vystaví prohlášení o konformitě výrobků s požadavky zákonů, rovněž na vlastní odpovědnost. [1]



Obrázek 5 – Značka CE

### 2.5.3 Legislativa České republiky

Zákon číslo 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky ve znění pozdějších předpisů řeší výhradně problematiku EMC. K zákonu se váže nařízení vlády číslo 169/1997, kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility ve znění nařízení vlády číslo 282/2000 Sb. Zákon číslo 22/1997 Sb. Jedním z hlavních cílů zákona číslo 22/1997 bylo provázání českých zákonů a nařízení se směrnicí Evropské unie 89/336/EEC a na základě uvedené směrnice začleňovat do naší legislativy po úpravě evropské standardy.

Ochranu telekomunikací před nežádoucími vlivy prostředí řeší samostatný zákon, neboť jsou zde jiné požadavky na výrobky, jedná se o zákon číslo 151/2000 Sb. o telekomunikacích. Telekomunikacemi se zabývá ještě vyhláška ministerstva hospodářství číslo 26/1996 o způsobu, podmínkách a postupu při ověřování a schvalování telekomunikačních koncových zařízení.

Popisy a vysvětlení všech českých norem, které se týkají EMC a byly harmonizovány s evropskými a mezinárodními normami, by vydaly na celou další práci, a tak zde bude uvedeno pouze jejich značení:

- ČSN EN 50000

- ČSN EN 55000
- ČSN EN 60000
- ČSN EN 61000
- ČSN CISPR XX
- ČSN IEC YYY
- ČSN IEC 1000-X-Y

U prvních tří norem se poslední trojčíslí nahrazuje číslem dané normy, ČSN EN 61000 za své označení umísťuje číslo normy. U ostatních jsou čísla norem uvedeny na pozicích X nebo Y.

Normy týkající se přímo detektorů a jejich správné funkce jsou jmenovitě například:

ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-3: Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu

a

ČSN EN 61000-6-1 ed. 2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-1: Kmenové normy - Odolnost - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu.

### 3 VYBRANÉ DETEKTORY

Níže uvedené detektory patří mezi nejpoužívanější v prostorové ochraně v oblastech zabezpečení. Ultrazvukové detektory jsou používány jen velmi zřídka a zpravidla je nahrazují detektory mikrovlnné.

#### 3.1 Infračervené detektory

Infračervené detektory využívají schopnosti všech předmětů, které mají teplotu v rozmezí 0°K až 560°K, vyzařovat infračervené záření. To zaznamenává čidlo detektoru, které je nazýváno pyroelement podle pyroelektrického jevu. Signál se zpracovává a za specifických podmínek je vyvolán poplach.

##### 3.1.1 Rozdělení

Infračervené detektory rozlišujeme podle dvou kritérií: 1) podle způsobu detekce na aktivní a pasivní infračervené detektory (dále pouze PIR detektory) a 2) podle spojení s ústřednou na drátové a bezdrátové. Nejběžnějšími a na trhu nejčastěji nabízenými jsou PIR detektory, které bývají jak drátové, tak i bezdrátové. Pak záleží už jen na uživateli a použité aplikaci, zda využije bezdrátové spojení, anebo investuje do kabeláže.

PIR detektory aktivně svou činností neovlivňují okolní prostředí, ve kterém působí. Pouze zachycují infračervené záření ze sledovaného prostoru.

##### 3.1.2 Pyroelement

Pyroelement je nejdůležitější součástí PIR detektoru. Pyroelektrický materiál je složený převážně ze slitin lithia a tantalu. Vyrábí se tak, aby byl co nejcitlivější na elektromagnetické záření mezi 8 a 14 $\mu$ m. Pro upřesnění, lidské tělo vyzařuje infračervené záření o vlnové délce přibližně 9,4 $\mu$ m. Pyroelektrický materiál se umísťuje mezi dvě elektrody. Ty jsou připojeny na vstup obvodu na bázi tranzistoru FET. FET tranzistory jsou dostatečně citlivé pro toto použití. Působením přijatého tepelného záření vzniká na povrchu materiálu elektrický náboj a elektrodami protéká proud. Důležitým faktem je, že tento jev vzniká pouze při změnách teploty.

V PIR detektorech je střežená oblast dělena na jednotlivé segmenty, právě z důvodu použití pyroelementu. Pokud by nebyla dělená, a v prostoru by se objevil objekt se zvýšenou teplotou, byla by výsledná změna malá. Pokud ale rozdíl teplot zaznamenávají

jednotlivé segmenty, je výsledná změna větší. U dražších detektorů se využívá dvojitý pyroelement.

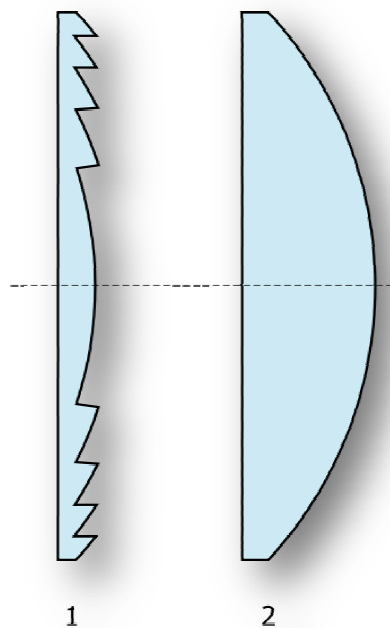
### 3.1.3 Optika PIR detektoru

Mezi pyroelementem a střeženým prostorem je vždy instalována optika. Zpravidla se jedná o Fresnelovi čočky, nebo zrcadlo. Mimo funkci soustředění paprsku optika určuje snímaný úhel a dosah detektoru a počet snímaných zón. Pro PIR detektory je charakteristické, že pro rychlou detekci narušitele je ideální, aby se pohyboval po trajektorii tvaru kružnice se středem v detektoru. Pokud se pohybuje přímo proti detektoru, narůstá zde doba, než je vyvolán poplach a zároveň vzdálenost, kterou subjekt urazí ve střežené oblasti. To způsobuje fakt, že i když je prostor střežen, není přijímáno infračervené záření z celé oblasti a v místech, kde nejsou detekční zóny, vznikají hluchá místa.

#### 3.1.3.1 Fresnelova čočka

Je první z obecně nejrozšířenějších optik, je levná a zároveň kvalitní. To ji předurčuje pro použití v detektorech nižší až střední kvality. Vyrábí se jako čočka normální, ale jsou odstraněny ty části materiálu, které se aktivně nepodílejí na lomu záření. Na níže uvedeném obrázku je patrná podobnost mezi upravenou Fresnelovou (1) a normální nezmenšenou čočkou (2). Jako nejlevnější, a nejjednodušší výroba těchto čoček, se jeví vylišování z plastu. Pro PIR detektory se používá optická soustava několika čoček, které byly vylišovány jako jeden kus, jako průhled detektoru.

Nevýhodou Fresnelových čoček je jejich nemožné přesné zaostření na pyroelement. Amplituda výstupního signálu pak nedosahuje takových hodnot jako třeba při použití zrcadel. Dochází také k vyšší míře vzniku planých poplachů. Protiopatřením bývá nutnost detekce objektu ve více zónách (uvádí se 4 - 8).



Obrázek 6 – Fresnelova čočka x normální čočka

I když je na trhu velmi pestrá nabídka čoček, můžeme základní druhy rozdělit na:

- Standardní vějíř
- Úzký vějíř s velkým dosahem
- Širokoúhlý vějíř
- Kruhová
- Svislá bariéra

### 3.1.3.2 Zrcadla

Jako první generace zrcadel byly v PIR detektorech používány kovová nedělená zrcadla. Od těch se později přešlo k plastovým, na které byla napařena kovová vrstva. Aby se odfiltrovaly nežádoucí složky záření (viditelné světlo), je zrcadlo opatřeno černou vrstvou. Viditelné světlo je pohlceno a odráží se pouze IR záření.

Oproti Fresnelovým čočkám je nevýhodou ztížená změna detekční charakteristiky, ta je dána již při výrobě zrcadla. Nespornou výhodou je přesné zaostření. Důsledkem je vyšší úroveň signálu a větší odstup signálu a šumu.

## 3.2 Mikrovlnné detektory

Mikrovlnné detektory rozdělujeme do dvou kategorií: na detektory a bariéry. Každý z nich využívá mikrovlny, ale oba pracují trochu jinak. Mikrovlnné detektory jsou monolitní.



Využívají princip Dopplerova jevu. Zachycují odraženou vlnu a vyhodnocují frekvenční změnu. Druhým typem jsou bariéry, detektor je složen ze dvou samostatných částí. V jednom místě je vysílač a v druhém přijímač. Vyhodnocuje se intenzita elektromagnetického pole.

### 3.2.1 Princip

Detektor funguje na principu radaru. Ve vysílací části je umístěna mikrovlnná anténa a vysílá záření o dané frekvenci. Záření prochází prostředím a od předmětů v okolí se odráží zpět k přijímací části detektoru. Pokud není v prostoru zachycen pohyb, je vše v pořádku.

Jakmile se ve střežené oblasti vyskytne osoba nebo předmět, který se pohybuje, je odražená vlna pozměněná. Je to způsobeno Dopplerovým jevem. Oproti vyslané vlně s referenční frekvencí má vracející se vlna jinou frekvenci. Ta se vyhodnocuje, a pokud je změna dostatečná, vyhlásí se poplach.

### 3.2.2 Dopplerův jev

Jedná se o závislost odražených vln na pohybu objektu. V tomto případě dochází vždy ke změně frekvence a vlnové délky. Rozeznáváme tři případy: pohybuje se zdroj záření, pozorovatel nebo oba.

Pohybující se zdroj:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_z}{f}} = f \frac{v}{v - v_z}$$

Pohybující se pozorovatel:

- Směrem od zdroje

$$f = \frac{\frac{vt}{\lambda} + \frac{v_p t}{\lambda}}{t} = \frac{v + v_p}{\lambda} = f \left(1 + \frac{v_p}{v}\right)$$

- Směrem ke zdroji

$$f = \frac{\frac{vt}{\lambda} - \frac{v_p t}{\lambda}}{t} = \frac{v - v_p}{\lambda} = f \left(1 - \frac{v_p}{v}\right)$$

Pohybuje se zdroj i pozorovatel:

$$f' = f \frac{v \pm v_p}{v \pm v_z}$$

Význam veličin:

f- frekvence v prostředí;

f'- frekvence vlnění;

t- čas;

v- rychlost šíření vlnění;

v<sub>p</sub>- rychlost pozorovatele;

v<sub>z</sub>- rychlost zdroje;

λ- vlnová délka;

λ'- vzdálenost vlnoploch o jedné fázi.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 METODIKA MĚŘENÍ

### 4.1 Postup měření

V úvodu měření bylo provedeno zapojení ústředny a její následná aktivace ústředna firmy Jablotron a k ní přiřazeny dva bezdrátové PIR detektory, jmenovitě JA-80P a JA-80PB. Pomocí Gaussmetru a Hallovy sondy se přeměřila magnetická indukce vyzařovaná z detektoru a to ve vzdálenosti přibližně 5-10mm od desky plošných spojů.

Pro samotné měření interference byl na pracovní stůl umístěn PIR detektor tak, aby nezachycoval žádné infračervené záření vyjma případu testování funkce. Na přední stranu, přibližně do středu plochy, byla umístěna všesměrová anténa s frekvenčním rozsahem 100kHz – 2GHz.

Signálový generátor byl aktivován s frekvenční modulací o velikosti 25kHz a testované frekvence v rozsahu od 868MHz do 869MHz po kroku 5kHz. Okolí frekvence 868,1MHz a 868,5MHz vyžadovalo podrobnější testování. Amplituda výstupního signálu se rovnala 1V a celkový vyzářený výkon byl nastaven na 19,9mW.

Pro přenos signálu z frekvenčního generátoru do antény jsem použil stíněný koaxiální kabel.

Naměřená data budou umístěna do tabulek a klíč k měření bude následující:

- 0 – Běžný provoz – detektor reaguje normálně a bezchybně.
- 1 – Nečinnost – detektor přestal reagovat, k obnovení funkce nutný reset zařízení.
- 2 – Snížená detekční citlivost – detektor zaregistruje pohyb nejdříve na 4tý pokus.
- 3 – Výpadek komunikace – detektor reaguje, ale poplachová zpráva nebyla doručena na ústřednu.
- 4 – Sabotáž, výjimka – vyhlášena sabotáž či jiné výše neuvedené stavy.

### 4.2 Měřicí místnost

Měření proběhlo v učebně 54/315. Uvedenou místnost můžeme zařadit do prostředí třídy 1 – vnitřní. Nejedná se o 100% čisté laboratorní prostředí bez elektromagnetického záření z cizích nespécifikovaných zdrojů. Teplota v místnosti byla 21°C a vlhkost 70%.

## 5 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

### 5.1 Rohde & Schwarz SM 300

Signálový generátor s frekvenčním rozsahem od 9kHz do 3GHz. Umožňuje širokou paletu možností úpravy výstupního signálu.

**Vybrané parametry** – převzato z webu testera: [www.testequipmentconnection.com](http://www.testequipmentconnection.com)

Frekvenční rozsah: 9 kHz až 3 GHz typy

Modulace: AM, FM,  $\phi$ M, puls a I / Q

NF výkon: 20 Hz až 80 kHz

SSB fázový šum  $<-95$  dBc ( $f_c = 1$  GHz, 20 kHz offset, 1 Hz měření šířky pásma)

Úroveň nejistoty  $<1$  dB ( $f_c > 100$  kHz, úroveň  $> -120$  dBm,  $20^\circ\text{C}$  až  $30^\circ\text{C}$ )

Grafické uživatelské rozhraní

USB rozhraní



Obrázek 7 – SM 300

### 5.2 Anténa

Všesměrová anténa ze sady Rohde & Schwarz HZ-11 pro použití frekvencí v rozsahu 100kHz – 2GHz.

### 5.3 LakeShore 421 Gaussmetr

**Parametry** – převzato z webu výrobce: <http://www.lakeshore.com/mag/ga/gm421ts.html>

Kontakty: spínací (NO), rozpínací (NC) a časté (C)

Kontakt hodnocení: 30 V DC na 2A

Rozsah:  $\pm 3$  V

Stupnice:  $\pm 3$  V =  $\pm$  FS na vybrané oblasti

Frekvenční odezva: DC až 400 Hz

Přesnost: závislé na použité sondě

Okolní teplota: 15 až 35 ° C při jmenovitém přesnost, 5 - 40 ° C s omezenou přesností

Příkon: 100, 120, 220, 240 VAC (+5%, -10%), 50 nebo 60 Hz, 20 VA

Rozměry: 216 mm šířka x 89 mm x H 318 mm D (8,5 × 3,5 V v × 12,5 mm), poloviční rack

Hmotnost: 3 kg (6,6 lbs)

Schválení: CE



Obrázek 8 – Gaussmetr – přední panel

#### Model 421 Rear Panel

- 1 Line Input Assembly
- 2 Serial I/O Interface
- 3 Relay Terminals
- 4 Corrected Analog Output
- 5 Monitor Analog Output
- 6 Probe Input



Obrázek 9 – Gaussmetr – zadní panel

Axial Probes



	L	D	A	Active area	Stem material	Frequency range	Usable full scale ranges	Corrected accuracy (% rdg)	Operating temp range	Temp coefficient (max) zero	Temp coefficient (max) calibration
MMA-2502-VH	2 in ±0.063 in	0.25 in dia ±0.006 in	0.015 in ±0.005 in	0.030 in dia (approx)	Aluminum	DC and 10 Hz to 400 Hz	30 G, 300 G, 3 kG, 30 kG	±0.25% to 30 kG	0 °C to +75 °C	±0.09 G/°C	-0.04%/°C
MNA-1904-VH	4 in ±0.125 in	0.187 in dia ±0.005 in	0.005 in ±0.003 in		Fiberglass epoxy						
MMA-2502-VG	2 in ±0.063 in	0.25 in dia ±0.006 in	0.015 in ±0.005 in		Aluminum		300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			
MNA-1904-VG	4 in ±0.125 in	0.187 in dia ±0.005 in	0.005 in ±0.003 in		Fiberglass epoxy						

Obrázek 10 – Hallova sonda a vlastnosti

Slovníček pojmů:

Active area – aktivní oblast

Stem material – materiál stonku

Frequency range – frekvenční rozsah

Usable full scale ranges – Použitelnost plného rozsahu stupnice

Corrected accuracy – opravená přesnost

Operating temp range – provozní teplotní rozsah

Temp koeficient – teplotní koeficient

## 6 MĚŘENÉ PŘÍSTROJE

### 6.1 JA-80P bezdrátový PIR detektor

Bezdrátový detektor primárně určený k detekci pohybu osob ve vnitřních prostorech budov. Patří k základnímu vybavení při řešení prostorové ochrany.

**Vybrané parametry:** převzato z webu výrobce: [www.jablotron.cz](http://www.jablotron.cz)

Napájení Lithiová baterie typ LS(T)14500 (3,6V AA / 2,4Ah)

Komunikační pásmo 868 MHz, protokol Oasis

Komunikační dosah cca 300m (přímá viditelnost)

Prostředí dle ČSN EN 50131-1 II. vnitřní všeobecné

Rozměry, váha 110 x 60 x 55 mm, 100g

Klasifikace dle ČSN EN 50131-1, ČSN EN 50131-2-2, ČSN EN 50131-5-3 stupeň 2

Dále splňuje ČSN ETSI EN 300220, ČSN EN 50130-4, ČSN EN 55022, ČSN EN 60950-1

Podmínky provozování ČTÚ VO-R/10/06.2009-9



Obrázek 11 – JA-80P



## 6.2 JA-80PB bezdrátový PIR + glassbreak detektor

Bezdrátový detektor určený pro detekci osob ve vnitřních prostorách budov s vestavěným detektorem tříštění skla.

**Vybrané parametry:** převzato z webu výrobce: [www.jablotron.cz](http://www.jablotron.cz)

Napájení PIR části lithiová baterie typ LS(T)14500 (3,6 V AA)

Napájení GBS části lithiová baterie typ LS(T)14250 (3,6 V ½ AA)

Komunikační pásmo 868 MHz, protokol Oasis

Komunikační dosah cca 300m (přímá viditelnost)

Prostředí dle ČSN EN 50131-1 II. vnitřní všeobecné

Rozměry, hmotnost 110 x 60 x 55 mm, 120g

Klasifikace dle ČSN EN 50131-1, ČSN EN 50131-2-2, ČSN EN 50131-5-3 stupeň 2

Dále splňuje ČSN ETSI EN 300220, ČSN EN 50130-4, ČSN EN 55022, ČSN EN 60950-1

Podmínky provozování ČTÚ VO-R/10/06.2009-9



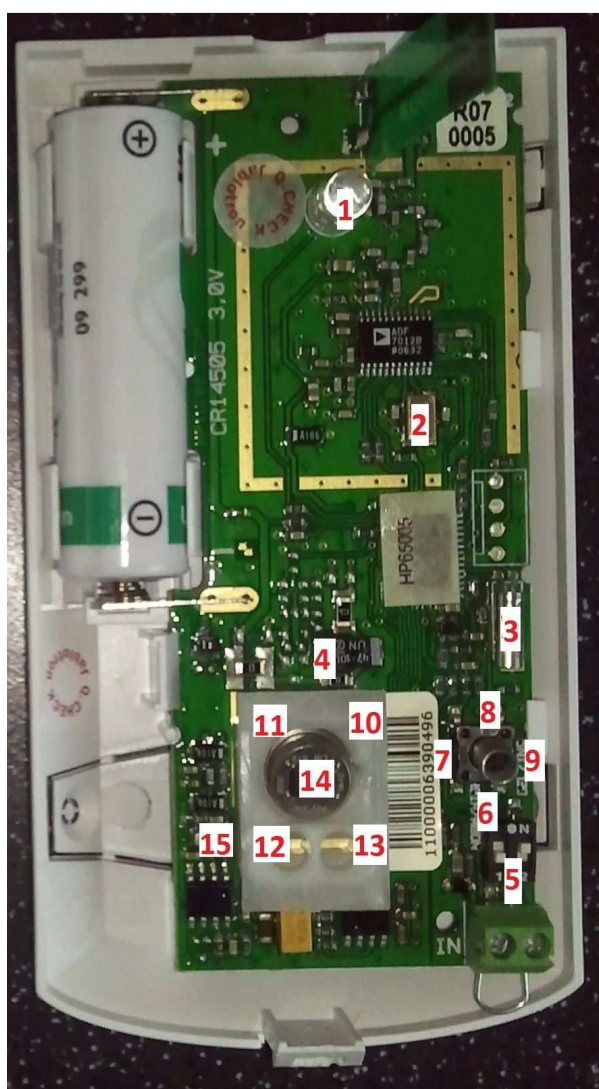
Obrázek 12 – JA-80PB

## 7 NAMĚŘENÁ DATA

Měření je rozděleno na dvě části. V první je magnetické pole v okolí desky s tištěnými spoji detektoru. Druhá část obsahuje všechna měření interference pro oba PIR detektory. Na tuto část měření byl použit signálový generátor SM300.

### 7.1 Magnetické pole vyzařované detektorem

Pro měření magnetického pole byl použit gaussmetr 421 a axiální hallova sonda MNA-1904-VH.



Obrázek 13 – JA-80P, měření magnetického pole

Výsledky měření v bodech na obrázku 13:

1. -0,530G
2. -0,830 až -0,530G
3. -0,700 až -0,500G
4. -0,750 až -0,550G
5. -0,480G
6. -0,600 až -0,500G
7. -0,700 až -0,600G
8. -0,800 až -0,700G
9. -1,3 až -1,2G
10. -2,25 až -1,9G
11. -0,750 až -0,500G
12. -0,530 až -0,450G
13. 0,650 až -0,600G
14. -1,3 až -1,1G
15. -0,200G

Průměrná hodnota na zbytku plochy se pohybovala mezi -0,405G a -0,420G.

## 7.2 Prezentace interference

Všechny naměřené údaje reprezentují šestice níže uvedených tabulek.

Tabulka 1 – JA-80P, široký krok

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 000	0	0	868 200	0	0	868 400	0	0	868 600	0	0	868 800	0	0
868 005	0	0	868 205	0	0	868 405	0	0	868 605	0	0	868 805	0	0
868 010	0	0	868 210	0	0	868 410	0	0	868 610	0	0	868 810	0	0
868 015	0	0	868 215	0	0	868 415	0	0	868 615	0	0	868 815	0	0
868 020	0	0	868 220	0	0	868 420	0	0	868 620	0	0	868 820	0	0
868 025	0	0	868 225	0	0	868 425	0	0	868 625	0	0	868 825	0	0
868 030	0	0	868 230	0	0	868 430	0	0	868 630	0	0	868 830	0	0
868 035	0	0	868 235	0	0	868 435	0	0	868 635	0	0	868 835	0	0
868 040	0	0	868 240	0	0	868 440	0	0	868 640	0	0	868 840	0	0
868 045	0	0	868 245	0	0	868 445	0	0	868 645	0	0	868 845	0	0
868 050	0	0	868 250	0	0	868 450	0	0	868 650	0	0	868 850	0	0
868 055	0	0	868 255	0	0	868 455	0	0	868 655	0	0	868 855	0	0
868 060	0	0	868 260	0	0	868 460	0	0	868 660	0	0	868 860	0	0
868 065	0	0	868 265	0	0	868 465	0	0	868 665	0	0	868 865	0	0
868 070	0	0	868 270	0	0	868 470	0	0	868 670	0	0	868 870	0	0
868 075	0	0	868 275	0	0	868 475	0	0	868 675	0	0	868 875	0	0
868 080	0	0	868 280	0	0	868 480	1	0	868 680	0	0	868 880	0	0
868 085	0	0	868 285	0	0	868 485	0	0	868 685	0	0	868 885	0	0
868 090	0	0	868 290	0	0	868 490	0	0	868 690	0	0	868 890	0	0
868 095	0	0	868 295	0	0	868 495	0	0	868 695	0	0	868 895	0	0
868 100	0	0	868 300	0	0	868 500	0	0	868 700	0	0	868 900	0	0
868 105	0	0	868 305	0	0	868 505	0	0	868 705	0	0	868 905	0	0
868 110	0	0	868 310	0	0	868 510	0	0	868 710	0	0	868 910	0	0
868 115	0	0	868 315	0	0	868 515	0	0	868 715	0	0	868 915	0	0
868 120	0	0	868 320	0	0	868 520	0	0	868 720	0	0	868 920	0	0
868 125	0	0	868 325	0	0	868 525	0	0	868 725	0	0	868 925	0	0
868 130	0	0	868 330	0	0	868 530	0	0	868 730	0	0	868 930	0	0
868 135	0	0	868 335	0	0	868 535	0	0	868 735	0	0	868 935	0	0
868 140	0	0	868 340	0	0	868 540	0	0	868 740	0	0	868 940	0	0
868 145	0	0	868 345	0	0	868 545	0	0	868 745	0	0	868 945	0	0
868 150	0	0	868 350	0	0	868 550	0	0	868 750	0	0	868 950	0	0
868 155	1	0	868 355	0	0	868 555	0	0	868 755	0	0	868 955	1	0
868 160	0	0	868 360	0	0	868 560	0	0	868 760	0	0	868 960	0	0
868 165	0	0	868 365	0	0	868 565	0	0	868 765	0	0	868 965	0	0
868 170	0	0	868 370	0	0	868 570	0	0	868 770	0	0	868 970	0	0
868 175	0	0	868 375	0	0	868 575	0	0	868 775	0	0	868 975	0	0
868 180	0	0	868 380	0	0	868 580	0	0	868 780	0	0	868 980	0	0
868 185	0	0	868 385	0	0	868 585	1	0	868 785	0	0	868 985	0	0
868 190	0	0	868 390	0	0	868 590	0	0	868 790	0	0	868 990	0	0
868 195	0	0	868 395	0	0	868 595	0	0	868 795	1	0	868 995	0	0
868 200	0	0	868 400	0	0	868 600	0	0	868 800	0	0	869 000	0	0

V první sérii měření bylo zaznamenáno 5 narušení funkce. To je nejvíce ze všech 6ti zaznamenaných sérií.

Tabulka 2 – JA-80P, detail A

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 050	0	0	868 075	0	0	868 100	0	0	868 125	0	0
868 051	0	0	868 076	0	0	868 101	0	0	868 126	0	0
868 052	0	0	868 077	0	0	868 102	1	0	868 127	0	0
868 053	0	0	868 078	0	0	868 103	0	0	868 128	0	0
868 054	0	0	868 079	0	0	868 104	0	0	868 129	0	0
868 055	0	0	868 080	0	0	868 105	0	0	868 130	0	0
868 056	0	0	868 081	0	0	868 106	0	0	868 131	0	0
868 057	0	0	868 082	0	0	868 107	0	0	868 132	0	0
868 058	0	0	868 083	0	0	868 108	0	0	868 133	0	0
868 059	0	0	868 084	0	0	868 109	0	0	868 134	0	0
868 060	0	0	868 085	0	0	868 110	0	0	868 135	0	0
868 061	0	0	868 086	0	0	868 111	0	0	868 136	0	0
868 062	0	0	868 087	0	0	868 112	0	0	868 137	0	0
868 063	0	0	868 088	0	0	868 113	0	0	868 138	0	0
868 064	0	0	868 089	0	0	868 114	0	0	868 139	0	0
868 065	0	0	868 090	0	0	868 115	0	0	868 140	0	0
868 066	0	0	868 091	0	0	868 116	0	0	868 141	0	0
868 067	0	0	868 092	0	0	868 117	0	0	868 142	0	0
868 068	0	0	868 093	0	0	868 118	0	0	868 143	0	0
868 069	0	0	868 094	0	0	868 119	0	0	868 144	0	0
868 070	0	0	868 095	0	0	868 120	0	0	868 145	0	0
868 071	0	0	868 096	0	0	868 121	0	0	868 146	0	0
868 072	0	0	868 097	0	0	868 122	0	0	868 147	0	0
868 073	0	0	868 098	0	0	868 123	0	0	868 148	0	0
868 074	0	0	868 099	0	0	868 124	0	0	868 149	0	0
868 075	0	0	868 100	0	0	868 125	0	0	868 150	0	0

Tabulka 2 a 3 zobrazuje menší krokování signálu u JA-80P. Výrobce detektoru uvádí, že komunikace probíhá na frekvencích 868,1 a 868,5MHz. Detail A je věnován okolí frekvence 868,1MHz, detail B pak okolí frekvence 868,5MHz.

Tabulka 3 – JA-80P, detail B

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 450	0	0	868 475	0	0	868 500	0	0	868 525	0	0
868 451	0	0	868 476	0	0	868 501	0	0	868 526	0	0
868 452	0	0	868 477	0	0	868 502	0	0	868 527	0	0
868 453	0	0	868 478	1	0	868 503	0	0	868 528	0	0
868 454	0	0	868 479	0	0	868 504	0	0	868 529	0	0
868 455	0	0	868 480	0	0	868 505	0	0	868 530	0	0
868 456	0	0	868 481	0	0	868 506	0	0	868 531	0	0
868 457	0	0	868 482	0	0	868 507	0	0	868 532	0	0
868 458	0	0	868 483	0	0	868 508	0	0	868 533	0	0
868 459	0	0	868 484	0	0	868 509	0	0	868 534	0	0
868 460	0	0	868 485	0	0	868 510	0	0	868 535	0	0
868 461	0	0	868 486	0	0	868 511	0	0	868 536	0	0
868 462	0	0	868 487	0	0	868 512	0	0	868 537	0	0
868 463	0	0	868 488	0	0	868 513	0	0	868 538	0	0
868 464	0	0	868 489	0	0	868 514	0	0	868 539	0	0
868 465	0	0	868 490	0	0	868 515	0	0	868 540	0	0
868 466	0	0	868 491	0	0	868 516	0	0	868 541	0	0
868 467	0	0	868 492	0	0	868 517	0	0	868 542	0	0
868 468	0	0	868 493	0	0	868 518	0	0	868 543	0	0
868 469	0	0	868 494	0	0	868 519	0	0	868 544	0	0
868 470	0	0	868 495	0	0	868 520	0	0	868 545	0	0
868 471	0	0	868 496	0	0	868 521	0	0	868 546	0	0
868 472	0	0	868 497	0	0	868 522	0	0	868 547	0	0
868 473	0	0	868 498	0	0	868 523	0	0	868 548	0	0
868 474	0	0	868 499	0	0	868 524	0	0	868 549	0	0
868 475	0	0	868 500	0	0	868 525	0	0	868 550	0	0

Tabulka 4 – JA-80PB, široký krok

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 000	0	0	868 200	0	0	868 400	0	0	868 600	0	0	868 800	0	0
868 005	0	0	868 205	0	0	868 405	0	0	868 605	0	0	868 805	0	0
868 010	0	0	868 210	0	0	868 410	0	0	868 610	0	0	868 810	0	0
868 015	0	0	868 215	0	0	868 415	0	0	868 615	0	0	868 815	0	0
868 020	0	0	868 220	0	0	868 420	0	0	868 620	0	0	868 820	0	0
868 025	0	0	868 225	0	0	868 425	1	0	868 625	0	0	868 825	0	0
868 030	0	0	868 230	0	0	868 430	0	0	868 630	0	0	868 830	0	0
868 035	0	0	868 235	0	0	868 435	2	0	868 635	0	0	868 835	0	0
868 040	0	0	868 240	0	0	868 440	0	0	868 640	0	0	868 840	0	0
868 045	0	0	868 245	0	0	868 445	0	0	868 645	0	0	868 845	0	0
868 050	0	0	868 250	0	0	868 450	0	0	868 650	0	0	868 850	0	0
868 055	0	0	868 255	0	0	868 455	2	0	868 655	0	0	868 855	0	0
868 060	0	0	868 260	0	0	868 460	0	0	868 660	0	0	868 860	0	0
868 065	0	0	868 265	0	0	868 465	0	0	868 665	0	0	868 865	0	0
868 070	0	0	868 270	0	0	868 470	0	0	868 670	0	0	868 870	0	0
868 075	0	0	868 275	0	0	868 475	0	0	868 675	0	0	868 875	0	0
868 080	0	0	868 280	0	0	868 480	0	0	868 680	0	0	868 880	0	0
868 085	0	0	868 285	0	0	868 485	0	0	868 685	0	0	868 885	0	0
868 090	0	0	868 290	0	0	868 490	0	0	868 690	0	0	868 890	0	0
868 095	0	0	868 295	0	0	868 495	0	0	868 695	0	0	868 895	0	0
868 100	0	0	868 300	0	0	868 500	0	0	868 700	0	0	868 900	0	0
868 105	0	0	868 305	0	0	868 505	0	0	868 705	0	0	868 905	0	0
868 110	0	0	868 310	0	0	868 510	0	0	868 710	0	0	868 910	0	0
868 115	0	0	868 315	0	0	868 515	0	0	868 715	0	0	868 915	0	0
868 120	0	0	868 320	0	0	868 520	0	0	868 720	0	0	868 920	0	0
868 125	0	0	868 325	0	0	868 525	0	0	868 725	0	0	868 925	0	0
868 130	0	0	868 330	0	0	868 530	0	0	868 730	0	0	868 930	0	0
868 135	0	0	868 335	0	0	868 535	0	0	868 735	0	0	868 935	1	0
868 140	0	0	868 340	0	0	868 540	0	0	868 740	0	0	868 940	0	0
868 145	0	0	868 345	0	0	868 545	0	0	868 745	0	0	868 945	0	0
868 150	0	0	868 350	0	0	868 550	0	0	868 750	0	0	868 950	0	0
868 155	0	0	868 355	0	0	868 555	0	0	868 755	0	0	868 955	0	0
868 160	0	0	868 360	0	0	868 560	0	0	868 760	0	0	868 960	0	0
868 165	0	0	868 365	0	0	868 565	0	0	868 765	0	0	868 965	0	0
868 170	0	0	868 370	0	0	868 570	0	0	868 770	0	0	868 970	0	0
868 175	0	0	868 375	0	0	868 575	0	0	868 775	0	0	868 975	0	0
868 180	0	0	868 380	0	0	868 580	0	0	868 780	0	0	868 980	0	0
868 185	0	0	868 385	0	0	868 585	0	0	868 785	0	0	868 985	0	0
868 190	0	0	868 390	0	0	868 590	0	0	868 790	0	0	868 990	0	0
868 195	0	0	868 395	0	0	868 595	0	0	868 795	0	0	868 995	0	0
868 200	0	0	868 400	0	0	868 600	0	0	868 800	0	0	869 000	0	0

U JA-80PB byl zaznamenán menší počet vyřazení z činnosti, oproti tomu se ovšem výrazně zvedl počet případů snížené citlivosti detekce.

Tabulka 5 – JA-80PB, detail A

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 050	0	0	868 075	0	0	868 100	0	0	868 125	0	0
868 051	0	0	868 076	0	0	868 101	0	0	868 126	0	0
868 052	0	0	868 077	0	0	868 102	0	0	868 127	0	0
868 053	0	0	868 078	0	0	868 103	0	0	868 128	0	0
868 054	0	0	868 079	0	0	868 104	0	0	868 129	0	0
868 055	0	0	868 080	0	0	868 105	0	0	868 130	0	0
868 056	0	0	868 081	0	0	868 106	0	0	868 131	0	0
868 057	0	0	868 082	0	0	868 107	0	0	868 132	0	0
868 058	0	0	868 083	0	0	868 108	0	0	868 133	0	0
868 059	0	0	868 084	0	0	868 109	0	0	868 134	0	0
868 060	0	0	868 085	0	0	868 110	0	0	868 135	0	0
868 061	0	0	868 086	0	0	868 111	0	0	868 136	1	0
868 062	0	0	868 087	0	0	868 112	0	0	868 137	0	0
868 063	0	0	868 088	0	0	868 113	0	0	868 138	0	0
868 064	0	0	868 089	0	0	868 114	0	0	868 139	0	0
868 065	0	0	868 090	0	0	868 115	0	0	868 140	0	0
868 066	0	0	868 091	0	0	868 116	0	0	868 141	0	0
868 067	0	0	868 092	0	0	868 117	0	0	868 142	0	0
868 068	0	0	868 093	0	0	868 118	0	0	868 143	0	0
868 069	0	0	868 094	0	0	868 119	0	0	868 144	0	0
868 070	0	0	868 095	0	0	868 120	0	0	868 145	0	0
868 071	0	0	868 096	0	0	868 121	0	0	868 146	0	0
868 072	0	0	868 097	0	0	868 122	0	0	868 147	0	0
868 073	0	0	868 098	0	0	868 123	0	0	868 148	0	0
868 074	0	0	868 099	0	0	868 124	0	0	868 149	0	0
868 075	0	0	868 100	0	0	868 125	0	0	868 150	0	0

Tabulka 5 a 6 zobrazuje menší krokování signálu u JA-80PB. Výrobce detektoru uvádí, že komunikace probíhá na frekvencích 868,1 a 868,5MHz stejně jako u JA-80P. Detail A je věnován okolí frekvence 868,1MHz, detail B pak okolí frekvence 868,5MHz.



Tabulka 6 – JA-80PB, detail B

f	D	U	f	D	U	f	D	U	f	D	U
kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-	kHz	-	-
868 450	0	0	868 475	0	0	868 500	0	0	868 525	0	0
868 451	0	0	868 476	0	0	868 501	0	0	868 526	0	0
868 452	0	0	868 477	0	0	868 502	0	0	868 527	0	0
868 453	0	0	868 478	0	0	868 503	0	0	868 528	0	0
868 454	0	0	868 479	0	0	868 504	0	0	868 529	0	0
868 455	0	0	868 480	0	0	868 505	0	0	868 530	0	0
868 456	0	0	868 481	0	0	868 506	0	0	868 531	0	0
868 457	0	0	868 482	0	0	868 507	0	0	868 532	0	0
868 458	0	0	868 483	0	0	868 508	0	0	868 533	0	0
868 459	0	0	868 484	0	0	868 509	0	0	868 534	0	0
868 460	0	0	868 485	2	0	868 510	0	0	868 535	0	0
868 461	0	0	868 486	0	0	868 511	0	0	868 536	0	0
868 462	0	0	868 487	0	0	868 512	0	0	868 537	0	0
868 463	0	0	868 488	1	0	868 513	0	0	868 538	0	0
868 464	0	0	868 489	0	0	868 514	0	0	868 539	0	0
868 465	0	0	868 490	0	0	868 515	0	0	868 540	0	0
868 466	0	0	868 491	0	0	868 516	0	0	868 541	0	0
868 467	0	0	868 492	0	0	868 517	0	0	868 542	0	0
868 468	0	0	868 493	0	0	868 518	0	0	868 543	0	0
868 469	0	0	868 494	0	0	868 519	0	0	868 544	0	0
868 470	0	0	868 495	0	0	868 520	0	0	868 545	0	0
868 471	0	0	868 496	0	0	868 521	0	0	868 546	0	0
868 472	0	0	868 497	0	0	868 522	0	0	868 547	0	0
868 473	0	0	868 498	2	0	868 523	0	0	868 548	1	0
868 474	0	0	868 499	0	0	868 524	0	0	868 549	0	0
868 475	0	0	868 500	0	0	868 525	0	0	868 550	0	0

Vysvětlivky pro všechny tabulky:

D – detektor

U – ústředna

0 – normální stav

1 – nečinnost

2 – snížená citlivost detekce

3, 4 – výpadek komunikace, sabotáž či jiný stav – k těmto stavům při měření nedošlo

## ZÁVĚR

Teoretická část práce byla zaměřena na princip funkce detektorů, od základních fyzikálních zákonitostí šíření elektromagnetického záření až po obecné způsoby detekce. Část byla věnována elektromagnetické kompatibilitě, důvodům jejího rozšíření a popisu interference a kompatibility.

V praktické části byl měřen vliv interference na dva bezdrátové PIR detektory. Byly vybrány jako exemplární, protože by měli splňovat dané normy uvedené výrobcem a mají posouzení shody. Navíc pocházejí od velmi známé české firmy.

Bylo uskutečněno dohromady 800 měření: 400 na každém detektoru. Z celkového počtu bylo zaznamenáno 12 narušení funkce detektoru s následkem vyřazení detektoru z činnosti bez jakékoliv odezvy ústředny. Ve 4 případech byla výrazně snížena citlivost detektoru a muselo se opakovat měření pro zachycení pohybu. Celková míra rizika ztráty funkce detektoru byla 2%.

Měření nemůže být hodnoceno jako dostatečně přesné – neprobíhalo v anechoické komoře, ani v laboratoři, která by splňovala stejné podmínky. Z těchto skutečností vyplívá vysoká míra nereprodukovatelnosti měření. Není možné vytvořit identické podmínky prostředí se stejnou intenzitou elektromagnetického vlnění a EMI z cizích zdrojů. Je velmi pravděpodobné, že docházelo ke skládání vlnění z SM 300 a cizích zdrojů. Dalším důležitým prvkem byl samotný výkon generátoru. 19,9mW je poměrně zanedbatelných a nelze ani odhadnout, jak by se výsledek změnil, kdyby výkon vzrostl 10x až 100x. Měření probíhalo pouze ve velmi úzkém frekvenčním spektru, v rozsahu 1MHz. Při podrobnějším zkoumání vnitřní struktury by mohli některé prvky nebo vodivé plochy desky plošných spojů sloužit jako antény pro jiné vybrané frekvence. Tím by docházelo ke vzniku nebo změně velikosti elektrického náboje na použitých součástkách a funkce detektoru by mohla být ohrožena až v 90-95% případů, a to i při použití poměrně malých výkonů.

Jako možné způsoby ochrany se jeví 3 způsoby. Prvním způsobem je alespoň částečné krytí elektroniky detektoru materiálem pohlcujícím záření. Cenou za to ovšem může být zhoršení bezdrátové komunikace či naprostá ztráta možnosti detektoru komunikovat bezdrátově. Druhou možností je využití součástek méně citlivých na rušení, změna a nové navržení plošných spojů a složitější modulace komunikačních signálů. Třetí varianta je nejnákladnější, zahrnuje výzkum a vývoj naprosto nových prvků odolných proti rušení.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Theoretical part of this thesis describes how detectors work and includes explanation of the fundamental physical laws of electromagnetic radiation and the general methods of detection. It also explains electromagnetic compatibility, reasons of its expansion a description of interference and compatibility.

In the practical part of the thesis was measured the influence of interference to two wireless PIR detectors. They have been chosen as a samples, because they comply with standards and are produced by well known local producer.

More than 800 measurements have been accomplished: 400 for each detector. In 12 cases I have detected disruption in detector's functionality, when detector was put out of the order and did not send any signal to PBX. In 4 cases I have detected very low sensitivity of the detector and measurement had to be repeated again. Total risk of losing detector's functionality was 2%.

Measurements was not sufficiently precise – it did not take place in in the anechoic chamber nor in laboratory under the same conditions. For this reason these measurements cannot be repeated with the same results. It is not possible to to create the same conditions with the same level of electromagnetic radiation and EMI from the extraneous sources. It is highly probable that radiation from SM300 and extraneous sources were composed. Another issue was the wattage of the generator. Its value of 19,9mW is negligible and it is not possible to extrapolate the results, if the wattage would increase 10 or 100 times. All measurements were taken in a very narrow frequency spectrum in the scope of 1MHz. It is probable that some parts could even start to behave as antennas for some frequencies. This could create or change the value of electrical charge in some components, which can reduce detector's functionality in 90-95% cases, even when using small wattage.

There are three ways of protection. We can shield some sensitive components with radiance absorbing materials. Unfortunately this can reduce or completely stop detector's wireless communication capabilities. Second option is to replace sensitive components by less sensitive, change the design of printed circuit or more sophisticated modulation of communication signals. Last option is the most expensive and it includes research and development of the new components, resistant to interference.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VACULÍKOVÁ, Polina; VACULÍK, Emil. Elektromagnetická kompatibilita elektromagnetických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vf rušení. 1. Praha : [s.n.], 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8.
- [2] IVANKA, Ján. Systemizace bezpečnostního průmyslu I. Zlín : [s.n.], 2010. 135 s. ISBN 80-7318-402-8.
- [3] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z., RAIDA, Z. Elektromagnetické vlny a vedení. 2. rozšířené a přepracované vydání. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 1999. ISBN 80-214-1261-5.
- [4] SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility : přednášky. Brno : [s.n.], 2001. 155 s. ISBN 80-214-1573-8.
- [5] IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. In: Security magazín. Roč. XII, vyd 63, 1/2005, vyd. Familymedia, Praha, 2005, str. 6-7, ISSN 1210-8723.
- [6] IVANKA, Ján. Technické prostředky bezpečnosti a elektromagnetická kompatibilita. In. Řešení krizových situací v specifickém prostředí. EDIS-Žilinská univerzita, Žilina, 2004, str.77-82, ISBN 80-8070-272-1.
- [7] PECHÁČ, Pavel; ZVÁNOVEC, Stanislav. Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů. Praha : BEN, 2007. 199 s. ISBN 978-80-7300-223-7.
- [8] ČERNOHORSKÝ, Dušan; NOVÁČEK, Zdeněk; RAIDA, Zbyněk. Elektromagnetické vlny a vedení. Brno : Vutium, 1999. 136 s. ISBN 80-214-1261-5.
- [9] Testequipmentconnection [online]. 2011. Testequipmentconnection. Dostupné z WWW: <[www.testequipmentconnection.com](http://www.testequipmentconnection.com)>.
- [10] Lake Shore Cryotronics, Inc. [online]. 2011. Lake Shore Cryotronics, Inc. Dostupné z WWW: <<http://www.lakeshore.com/mag/ga/gm421ts.html>>.
- [11] JABLOTRON ALARMS a.s [online]. 2008. Dostupné z WWW: <<http://www.jablotron.cz>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CCTV	bezpečnostní kamerový systém (close circuit television)
CE	evropská shoda (Conformité Européenne)
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrný proud (direct current)
DNA	deoxyribonukleová kyselina
EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMI	elektromagnetická interference
EMS	elektromagnetická susceptibilita
EU	Evropská unie
EZS	elektronické zabezpečovací systémy
FET	tranzistor řízený elektrickým polem
IR	infračervený (infra red)
PCO	elektronické zabezpečovací systémy
PIR	pasivní infračervený (detektor) (passive infra red)
PKB	průmysl komerční bezpečnosti

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Složky vlnění.....	14
Obrázek 2 – Elektromagnetické spektrum.....	15
Obrázek 3 – EMC rozdělení .....	23
Obrázek 4 – Rozdělení interferenčních zdrojů .....	24
Obrázek 5 – Značka CE.....	28
Obrázek 6 – Fresnelova čočka x normální čočka .....	32
Obrázek 7 – SM 300 .....	37
Obrázek 8 – Gaussmetr – přední panel.....	38
Obrázek 9 – Gaussmetr – zadní panel .....	38
Obrázek 10 – Hallova sonda a vlastnosti.....	39
Obrázek 11 – JA-80P.....	40
Obrázek 12 – JA-80PB .....	41
Obrázek 13 – JA-80P, měření magnetického pole .....	42

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – JA-80P, široký krok .....	44
Tabulka 2 – JA-80P, detail A.....	45
Tabulka 3 – JA-80P, detail B.....	46
Tabulka 4 – JA-80PB, široký krok .....	47
Tabulka 5 – JA-80PB, detail A.....	48
Tabulka 6 – JA-80PB, detail B .....	49