

Měření elektromagnetických polí elektrických pohonů mříží a jejich vliv na technické prostředky využívané na ochranu objektů

Measurement of electromagnetic fields of electrical drives grids
and their influence on the technical means used to protect
buildings

Marcel Mahd'ák

Diplomová práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marcel MAHDÁK**
Osobní číslo: **A09381**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Měření elektromagnetických polí elektrických
pohonů mříží a jejich vliv na technické prostředky
využívané na ochranu objektů**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou mechanických zábranných systémů v oblasti pohonů mříží.
2. Objasnění elektromagnetických požadavků kladených na pohony mříží a technické prvky systému I&HAS.
3. Provedení měření elektromagnetického blízkého pole trubkového pohonu mříží od společnosti Librax s využitím logaritmicko-periodické antény HE 200.
4. Verifikace naměřených hodnot v závislosti na vzájemném ovlivňování zabezpečovacích systémů MZS a bezdrátového I&HAS.
5. Vytvoření 3D vizualizace u vybraného trubkového pohonu v prostředí Matlab.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **SVÁČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita : Principy a metody. 1.vyd.. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2001. 156 s. Dostupné z WWW: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=encyclopedia>. ISBN 80-214-1873-7.**
2. **SVOBODA, Jaroslav, et al. Základy elektromagnetické kompatibility. 1.vyd.. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993. 244 s.**
3. **SVÁČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility. Brno : MJ-servis, 2001. 90 s. ISBN 80-214-1573-8.**
4. **HAVLÍK, Ladislav. Měření elektromagnetického rušení. [s.l.] : Sdělovací technika 41, 1993. 254 s.**
5. **KAŇUCH, Jan; KOVÁČ, Dobroslav; KOVÁČOVÁ, Irena. EMC z hlediska teorie a aplikace. 1.vyd.. [s.l.] : BEN – technická literatura, 2006. 216 s. ISBN 80-7300-202-7.**
6. **KVASNICA, Jozef. Teorie elektromagnetického pole. 1.vyd. [s.l.] : Praha:Academia, 1985. 450 s.**
7. **HAŇKA, Ladislav. Teorie elektromagnetického pole. 2. vyd. [s.l.] : Praha:SNTL, 1982. 218 s.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ján Ivanka

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce představuje v teoretické části problematiku elektrických pohonů využívaných k manipulaci mechanických prostředků plášťové ochrany prostupů – mříží. Uvedená literární rešerše objasňuje oblast elektromagnetické kompatibility a zabývá se elektromagnetickými požadavky kladenými na pohony mříží a technické prvky systému I&HAS (nyní už EZS). Praktická část je věnována provedení měření elektromagnetického spektra blízkého pole u trubkového pohonu mříží od společnosti LIBRAX, s využitím logaritmicko-periodické antény HE 200 a spektrálního analyzátoru FSH 3. Naměřené hodnoty jsou verifikovány v závislosti na vzájemném ovlivňování zabezpečovacích systémů MZS a bezdrátového EZS. U měřeného trubkového pohonu je provedena 3D vizualizace elektromagnetického blízkého pole v prostředí softwarového nástroje Matlab.

Klíčová slova: trubkový pohon mříží, elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetické požadavky, elektromagnetické blízké pole, logaritmicko-periodická anténa HE 200, spektrální analyzátor FSH3.

ABSTRACT

In the theoretical part the thesis introduces the literature review of problems of electrical drives which are used to manipulate with the mechanical means of the plastic protection penetrations - grids. The literature review clarifies the area of electromagnetic compatibility and deals with the electromagnetic drive requirements which accentuate on the grids' drive and the technical elements of the I&HAS (now EZS) system. The practical part focused on the measurements of the electromagnetic spectrum of the near-field tubular drive grids from Librax company using the log-periodic antenna HE 200 and the spectrum analyzer FSH3. The measured values are verified based on the interaction of security systems MZS and wireless EZS. The 3D visualization of the electromagnetic near-field environment in the software Matlab is done there.

Keywords: tube drive grids, electromagnetic compatibility, electromagnetic requirements, electromagnetic near-field, log-periodic antenna HE 200, FSH3 spectrum analyzer.

Rád bych poděkoval vedoucímu Ing. Jánů Ivankovi za jeho připomínky, návrhy a odborné vedení, pomoc při tvorbě diplomové práce a přínosné konzultace. Současně s tím chci poděkovat i Daliboru Talašovi za jeho pomoc při realizaci měření.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové 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 diplomovou 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 – diplomovou 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 diplomové 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 diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.
V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I. TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 POHONY MŘÍŽÍ..... | 13 |
| 1.1 ZPŮSOBY OVLÁDÁNÍ POHONŮ UŽIVATELEM..... | 13 |
| 1.2 RUČNÍ POHONY MŘÍŽÍ..... | 14 |
| 1.3 BOČNÍ POHONY MŘÍŽÍ..... | 15 |
| 1.3.1 Boční pohon FAAC 540 | 17 |
| 1.4 CENTRÁLNÍ POHONY..... | 17 |
| 1.4.1 Komunikace centrálního pohonu..... | 18 |
| 1.4.2 Skladba centrálního pohonu..... | 18 |
| 1.5 TRUBKOVÝ POHON ROLOVACÍCH MŘÍŽÍ..... | 21 |
| 1.5.1 Zkušební kabel trubkových pohonů | 21 |
| 1.5.2 Trubkové pohony SOMFY LS 40 | 22 |
| 2 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM..... | 26 |
| 2.1 RÁDIOVÉ VLNY | 26 |
| 2.2 MIKROVLNY | 27 |
| 2.3 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ | 27 |
| 2.4 VIDITELNÉ SVĚTLO..... | 27 |
| 2.5 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ..... | 27 |
| 2.6 RÖENTGENOVO ZÁŘENÍ..... | 28 |
| 2.7 GAMMA ZÁŘENÍ..... | 28 |
| 3 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE | 29 |
| 3.1 ELEKTRICKÉ POLE | 29 |
| 3.2 MAGNETICKÉ POLE..... | 29 |
| 3.3 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN | 30 |
| 3.3.1 Maxwellovy rovnice | 32 |
| 3.3.2 Polarizace elektromagnetických vln | 33 |
| 3.3.3 Odraz elektromagnetické vlny | 34 |
| 3.3.4 Oblasti vyzařování elektromagnetických vln..... | 34 |
| 3.3.5 Fresnelova zóna | 35 |
| 3.3.6 Praktiky omezování elektromagnetického rušení..... | 37 |
| 3.3.6.1 Elektromagnetické stínění..... | 37 |
| 3.3.6.2 Ovlivňování účinnosti stínění technologickými netěsnostmi a přechodovými otvory | 41 |
| 4 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA | 44 |
| 4.1 NORMY V OBLASTI EMC | 46 |
| 4.1.1 Druhy norem v oblasti EMC | 46 |
| 4.1.2 Norma EN 50130-4 pro posuzování EZS z hlediska EMC | 47 |
| 4.1.3 Norma pro posuzování EZS ČSN EN 55022..... | 49 |
| 4.1.4 Norma pro posuzování trubkového pohonu ČSN ETSI EN 301 489-3 | 51 |
| II. PRAKTICKÁ ČÁST | 53 |
| 5 POPIS MĚŘICÍHO PRACOVISTĚ | 54 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1 | POPIS MĚŘÍCÍ SOUSTAVY..... | 55 |
| 5.1.1 | Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH 3 | 56 |
| 5.1.2 | Logaritmicko-periodická anténa HE 200..... | 59 |
| 5.1.3 | Redukce COM na USB UC-232A..... | 60 |
| 5.1.4 | Programové vybavení pro komunikaci s FSH 3..... | 61 |
| 5.1.4.1 | Objekty v Agilent Vee Pro 9.2 EVAL potřebné k sestavení programu k měření | 62 |
| 5.2 | PROSTŘEDÍ MĚŘENÉHO ELEKTROMAGNETICKÉHO BLÍZKÉHO POLE TRUBKOVÉHO POHONU SPOLEČNOSTI LIBRAX..... | 63 |
| 5.3 | METODIKA MĚŘENÍ BLÍZKÉHO ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE TRUBKOVÉHO POHONU SPOLEČNOSTI LIBRAX S VYUŽITÍM ANTÉNY HE 200 | 64 |
| 5.4 | MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO BLÍZKÉHO POLE TRUBKOVÉHO POHONU SPOLEČNOSTI LIBRAX DIGITÁLNÍM ELEKTROSMOGEEM ME 3851A | 68 |
| 5.5 | METODIKA MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO BLÍZKÉHO POLE TRUBKOVÉHO POHONU SPOLEČNOSTI LIBRAX DIGITÁLNÍM ELEKTROSMOGEEM ME3851A | 69 |
| 5.5.1 | Metodika měření blízkého střídavého elektrického pole trubkového pohonu | 69 |
| 5.5.2 | Metodika měření blízkého střídavého magnetického pole trubkového pohonu | 71 |
| 6 | VIZUALIZACE A VERIFIKACE NAMĚŘENÝCH DAT..... | 72 |
| 6.1 | VERIFIKACE A VIZUALIZACE DAT NAMĚŘENÝCH SOUSTAVOU FSH3 A HE200 | 73 |
| 6.1.1 | Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 1$ cm od pohonu | 73 |
| 6.1.2 | Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 3$ cm od pohonu | 76 |
| 6.1.3 | Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 5$ cm od pohonu | 78 |
| 6.1.4 | Peaky v blízkosti pracovního kmitočtového spektra 868 MHz | 80 |
| 6.1.5 | Určení chyby měření pro soustavu FSH3 a HE 200..... | 80 |
| 6.2 | VIZUALIZACE A VERIFIKACE DAT NAMĚŘENÝCH DIGITÁLNÍM ELEKTROSMOGEEM ME 3851A..... | 81 |
| 6.2.1 | Vizualizace a verifikace dat stacionárního elektrického a magnetického pole..... | 81 |
| 6.2.2 | Vizualizace a verifikace dat intenzity elektrického pole ve 2 aktivních stavech | 83 |
| 6.2.3 | Vizualizace a verifikace dat intenzity magnetického pole ve 2 aktivních stavech | 85 |
| 6.2.4 | Určení chyby měření digitálního elektrosmogu ME 3851A..... | 87 |
| 7 | BEZDRÁTOVÝ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉM OASIS..... | 89 |
| 7.1 | OVĚŘENÍ RUŠENÍ SYSTÉMU OASIS JA-80 TRUBKOVÝM POHONEM..... | 91 |
| | ZÁVĚR | 93 |
| | ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ..... | 95 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 97 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 98 |
| | SEZNAM TABULEK | 101 |
| | SEZNAM GRAFŮ..... | 102 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 103 |
| | PŘÍLOHA-HODNOTY MĚŘENÍ..... | 106 |

ÚVOD

Vyskytující se elektromagnetické spektrum kolem nás je nedílnou součástí současného života, přičemž si jeho přítomnost zřídka kdy uvědomujeme. Významný boom v elektromagnetické oblasti je vymezen minulým stoletím. Člověk vnímá určité části elektromagnetického spektra jen stěží, neboť není vybaven orgánem, který by toto spektrum zaznamenával, či přijímal. Elektrická a magnetická pole jsou všude kolem nás. Elektromagnetická pole vznikají ve všech oblastech, kde se využívá sdělovací techniky, distribučních tras, ale také v průmyslových oblastech a medicíně. V mnoha případech dopomáhají elektromagnetické jevy k lepšímu porozumění nastoleného problému, v jiných tvoří naopak škodlivou složku, která ovlivňuje cílené chování systému. Avšak i v případě lepšího porozumění nastoleného problému, tím je na mysli např. rentgen pohmožděné končetiny, způsobuje roentgenovo záření škodlivý účinek na biologický systém ve formě možnosti změny chemického vzorce molekuly. Na biologické systémy působí velkou měrou i střídavá elektrická pole, která vznikají spojením vodivé části se zdrojem energie a ukazatelem míry ovlivnění je intenzita elektrického pole. V oblasti biologických systémů ovlivňovaných elektrickými a magnetickými poli je nutné splňovat hygienické požadavky stanovené normami.

Při zabezpečování objektů jsou základním prostředkem, poskytujícím mechanickou překážku k zamezení vstupu nepovolaných osob, mechanické zábranné systémy. Mnoho mechanických zábranných systémů je kromě manuálního ovládání poháněno elektrickou energií. Pro zabezpečení otvorových prostupů, skleněných výloh a chráněných zón se často používají bezpečnostní mříže. Ovládání mříží se liší, v objektech odlehklých od civilizace a bez přípojky elektrické energie se využívá manuální pomocí ruční ovládací kliky. U většiny komerčních objektů se k ovládání mříží používají elektrické pohony.

Základním požadavkem zabezpečovacích systémů je jejich funkčnost, která není ovlivňována vzájemným působením těchto systémů. Problematikou funkčnosti z hlediska elektromagnetické interference a elektromagnetické susceptibility se zabývá elektromagnetická kompatibilita. Důležitou roli pro stanovení základních požadavků kladených na elektrické pohony mříží řeší normy pro elektromagnetickou kompatibilitu. Je nutné, aby se zabezpečovací systémy vzájemně neovlivňovaly a elektromagnetická interference pohonů mříží byla v hodnotách udávaných normou. Pouze v takovémto

případě je možné, aby bezdrátový systém EZS správně pracoval a nebyl ovlivňován blízkým elektromagnetickým polem vyzařovaným pohonem při jeho aktivní činnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POHONY MŘÍŽÍ

Pohony mříží se dostávají do popředí kvůli velkému rozmachu mříží montovaných do supermarketů a nákupních středisek, nebo také ve velkých továrnách. Mříže, jako každý prvek MZS, jsou velmi důležité pro ochranu majetku a dennodenně se s nimi manipuluje. Jelikož jsou to kolikrát obrovské prostupy, které chrání, musí být ze strany uživatele co nejvíce jednoduchá a nenamáhavá manipulace s nimi. Proto se upustilo u ovládání, co se týče stahování a vytahování mřížoviny, od klasického ručního pomocí kliky, k ovládání elektrickému, pomocí elektromotoru. Elektrické pohony dělíme na trubkové, boční a centrální. Další důležitou vlastností je jejich napájení, které může být jednofázové, nebo třífázové. Motorové pohony je vhodné doplnit nouzovými ovládacími prvky, klikou, nebo UPS umožňující v případě výpadku dodávky elektrické energie manipulovat s mříží. Mezi ovládací prvky elektrického pohonu mříží patří dotykové tlačítko. Často bývá umístěno na stěně. Hojně užívanými prvky jsou tahové spínače a světelné závory v kombinaci s pohybovým radarem. Nejpoužívanějším způsobem ovládání je užití dálkového ovládače v kombinaci s kódovým zámekem doplněné indukční smyčkou a to ve všech možných variantách.¹

1.1 Způsoby ovládání pohonů uživatelem

Je několik způsobů, kterými může uživatel ovládat pohony mříží. Rozdělujeme je na základní, impulsní, krokové a automatické. Jednotlivé druhy jsou rozlišeny postupem vykonávaným pro navíjení a odvíjení mřížoviny.²

- **Ovládání základní** – v případě užití dvou tlačítek je pro navíjení mřížoviny nutné stisknout a držet tlačítko se šipkou směrem nahoru, pro odvíjení je tomu obdobně stiskem a držením tlačítka se šipkou směrem dolů. Mřížový výplet se pohybuje pouze za podmínky stále sepnutého ovládacího tlačítka.³
- **Ovládání impulsní** – mřížovina je navíjena pouze krátkodobým stiskem tlačítka pro směr nahoru. Při dojetí mřížoviny do koncové polohy dojde k automatickému vypnutí

¹ MAHĎÁK 2009, s. 65

² CAIS 2009

³ CAIS 2009

pohonu. Opačně je tomu pro odvíjení mříže a následnému zastřežení prostupového otvoru.⁴

- **Ovládání krokové** – pohyb mřížoviny v krajních polohách je řízen jednotlivými krokovými impulsy. Impuls je vyslán z tlačítka, klíče, dálkového ovladače, nebo RFID čipu.⁵
- **Ovládání automatické** – k uzavření prostupového otvoru dojde až po určitém časovém horizontu od doby impulsně vyslaného signálu k odvíjení mřížoviny. U garážového prostoru lze vyvolat impulsní signál projetím automobilu prostupem pro vjezd a výjezd.⁶

Na ovládání pohonů má návaznost zabezpečení proti naražení mřížoviny na předmět nacházející se mezi bočními vodícími lištami. Toto opatření je provedeno dvěma způsoby. Prvním je instalace infrazávory, která přerušuje činnost motoru v případě, když dojde ke ztrátě spojení infračerveného paprsku mezi její vysílací a přijímací stranou. Při naražení rolovací mříže na překážku dojde ke zpětnému chodu motoru a mříž je navíjena zpět na navíjecí buben. Infrazávora se instaluje většinou do výšky 20 cm, kdy reaguje na přítomnost malých domácích zvířat a do výšky 100 cm při níž je snaha zachytit osoby a dopravní prostředky stojící mezi bočními vodícími lištami. Totožnou funkci přítomnosti jakéhokoliv cizího předmětu realizuje kontaktní lišta reagující na překážku až po vzájemném dotyku.⁷

1.2 Ruční pohony mříží

Ruční pohony se používají u hal a objektů, kde není přivedená elektřina, většinou se jedná o malou frekvenci jejich používání. Pohony jsou implementovány jako doplněk trubkových a bočních pohonů, kde slouží pro nouzové ovládání při výpadku elektrické energie. Pro jejich aplikaci je nutné nejdříve zjistit, zda není na motoru žádné napětí. U některých typů pohonů nevádí ani přítomnost napájecího napětí, nedojde tak k poškození obsluhy ruční klikou. Oba způsoby ovládání pohonu jsou na sobě nezávislé a dochází

⁴ CAIS 2009

⁵ CAIS 2009

⁶ CAIS 2009

⁷ MAHĎÁK 2009, s. 66

pouze k součtu, nebo rozdílů vzájemných účinků. Při výpadku elektřiny se nasadí ruční klika na závěs vyčnívající z krytu trubkového pohonu a otáčí se ve směru potřebném pro požadovaný stav uživatele.⁸



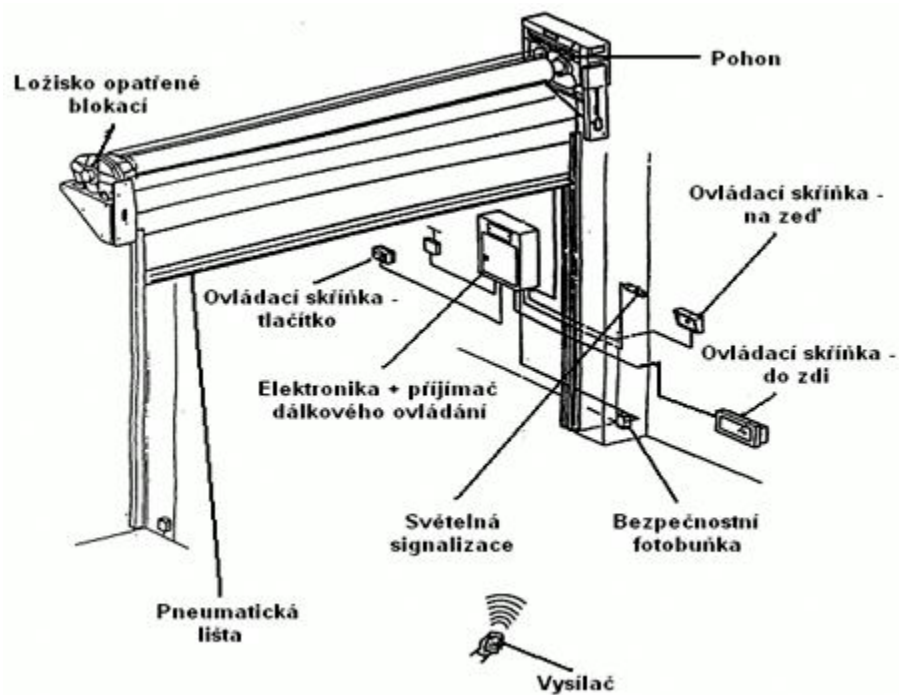
Obr. 1. Ruční klika na pohon mříže [10]

1.3 Boční pohony mříží

Boční pohony se používají u rolovacích mříží stejně tak, jako trubkové pohony. Pohony tohoto typu jsou velmi používané. Výhodou je schopnost odolávat větší zátěži a častějšímu provozu, než je tomu u trubkových systémů. Jejich užití je rozmanité, uplatňují se často jako pohon sekčních průmyslových vrat. Boční pohony se vyrábí ve třech specifikacích, stejnosměrné na napětí 24V, jednofázové, nebo napájené třífázovou soustavou. Nejvíce se vyskytují třífázové motory, protože mají nejlepší vlastnosti, co se týče zatížení, což je dáno hmotností mříže. Aplikaci nacházejí u velkých prostupů, kde dosahuje šíře chráněného prostoru velikosti až 7 metrů. Jejich uplatnění je běžnější spíše v průmyslovém sektoru, než-li v privátním. Z pohledu spojitosti motoru s navíjecí hřídelí, je dělíme na dva možné způsoby propojení. První variantou je přímé propojení hřídele pohonu s navíjecí hřídelí dané mříže, viz. obrázek níže.⁹

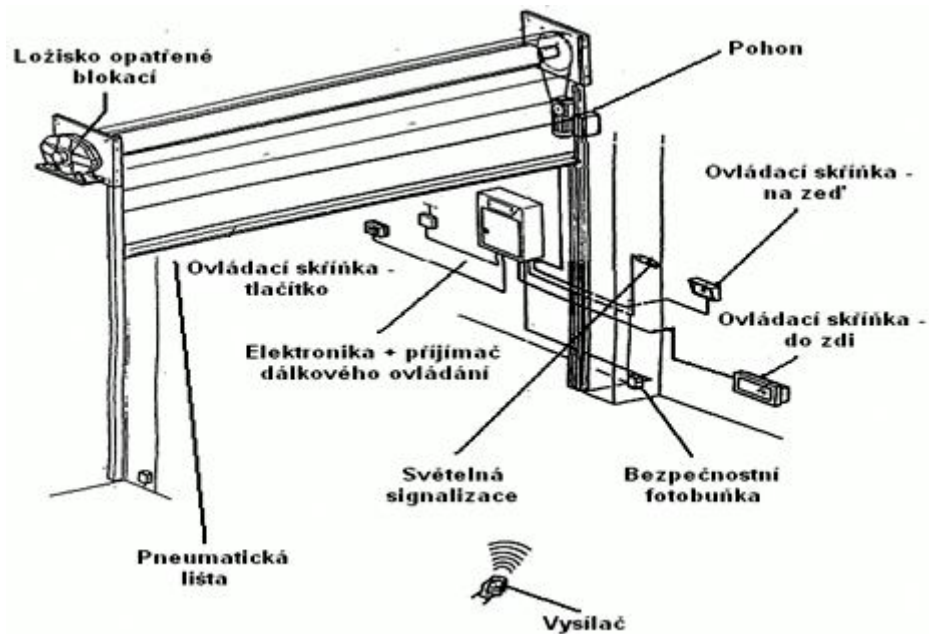
⁸ MAHĎÁK 2009, s. 66

⁹ IVANKA 2010, s. 109



Obr. 2. Boční pohon přímo spojený s hřídelí [11]

Druhou variantou je využití bočního pohonu bez přímého spojení s hřídelí. Uplatněním řetězu, který přenáší kroutivý moment motoru na otáčení hřídele. Tím dochází k navíjení, nebo odvíjení mřížoviny.¹⁰



Obr. 3. Boční pohon spojený s hřídelí prostřednictvím řetězu [11]

¹⁰ IVANKA 2010, s. 110

1.3.1 Boční pohon FAAC 540

Boční pohon FAAC 540 je elektromechanický boční pohon s integrovanou řídicí jednotkou. Pohon se vyznačuje vysokou silou a bezpečností. Motor je uložen v hliníkovém boxu společně s převodovkou, která je v olejové lázni zaručující vysokou životnost. Převodovka pohonu je samosvorná. Dojde-li k výpadku napájecí energie, je možná manipulace mříže s užitím táhel a rychle - uvolňovacích zařízení. K těmto zařízením patří naviják. Koncepce motoru umožňuje přímé spojení s hřídelí, popř. spojení s využitím řetězu.¹¹



Obr. 4. Pohon FAAC 540 [12]

1.4 Centrální pohony

V posledních letech se ubírá trend vývoje pohonů jiným směrem. Mechanické motory, tedy variace systému s hlavní hřídelí a vačkových systémů, jsou nahrazovány pohony a řízením vytvářejícím transparentní celek ústící až do stavu centrálního řídicího systému. Centrální pohony mají kratší dobu uvedení do provozu. Lépe se přizpůsobují prostorovému rozvržení, než pohony s hlavní hřídelí. Nahrazují trubkový, popř. boční pohon jednotlivými pohony. Koordinaci jednotlivých pohonů motoru zajišťuje řídicí jednotka. Velkou výhodou je úspora nákladů spojených s pořízením mechanických pohonů. Moduly, z nichž se pohon skládá, jsou řízeny centrální jednotkou PLC podílející se na centrálním zpracování informací, které jsou předávány k dalšímu ovládání příslušných modulů. Vstupní a výstupní signály mohou být zpracovávány a posílány přímo z každé modulové jednotky, což má za následek snížení zatížitelnosti sběrnice PLC. V každém modulu je

¹¹ IVANKA 2010, s. 111

proto přístroj provádějící změny a řídicí činnost modulu. V tom spočívá velká výhoda a úspora nákladů vynaložených na malé PLC. Přístroj je složen z měniče frekvence přejímající funkci malého PLC. PLC jednotky jsou programovatelné v prostředí, které si určí sám programátor. Víceúlohový operační systém mají jednotky Drive PLC a Servo PLC programovatelné v jazycích IEC. Při programování je možno použít 5 jazyků: programování s využitím kontaktních schémat, funkčních bloků, strukturovaného textu, sekvenčního programování a mnemokódů.¹²

1.4.1 Komunikace centrálního pohonu

Komunikace mezi moduly a pohony zajišťuje sběrnice CAN open. Na této sběrnici dochází k výměně všech informací potřebných k provozu. Celý stroj je řízen pomocí sběrnice, kdežto dříve měla tuto funkci hlavní hřídel. Kromě sběrnice CAN open se používají i sběrnice Profibus, Interbus a Device Net. Řídicí systém je realizován průmyslovým PC IPC. Komunikaci mezi IPC a pohonem uskutečňuje softwarový ovladač. Software ke každému centrálnímu pohonu si vytváří každý výrobce sám, protože jen on zná dokonale rozhraní svého pohonu. Jako příklad, firma Lenz vyrábí softwarový ovladač ke svým pohonům s názvem drive Server. Je založen na technologii OLE a jeho funkce je podobná ovladači tiskárny v prostředí Windows. Jediným rozdílem je, že neřídí tiskárnu, ale přístroje Lenze ve stroji. Po nainstalování ovladače Drive Server mohou jednotlivé aplikace, např. zobrazovací programy, komunikovat a ovládat inteligentní pohony nejnižší úrovně. Firma Lenz se snaží prosazovat také přístup obsluhy k aktuálním informacím stroje. Možností je dorozumívat se s pohony prostřednictvím textového displeje, nebo VGA obrazovky.¹³

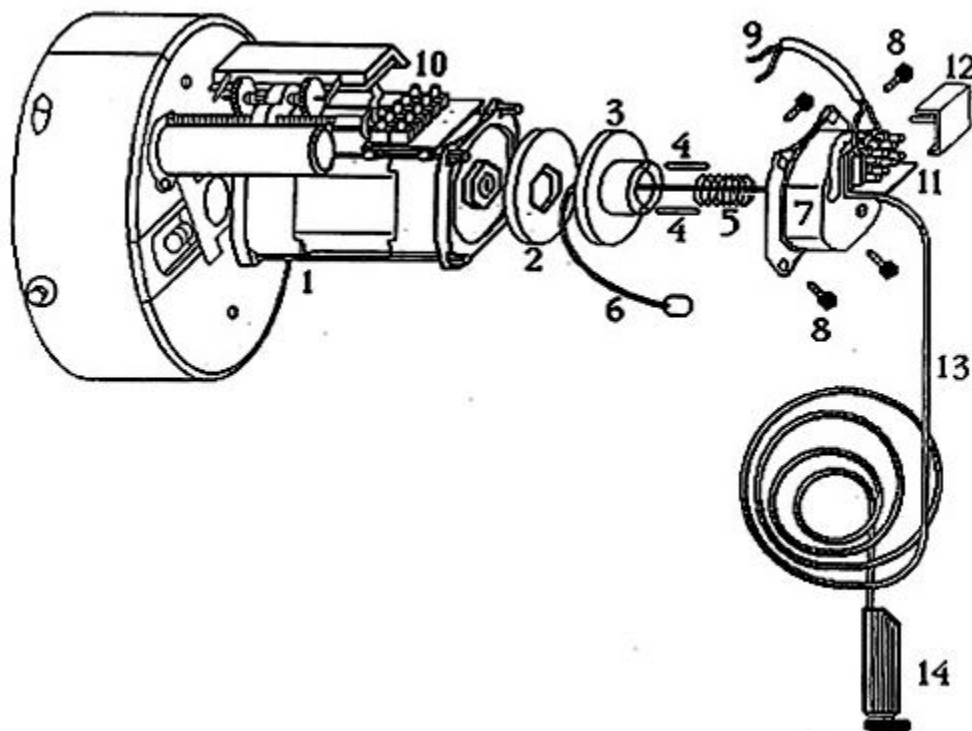
1.4.2 Skladba centrálního pohonu

Centrální pohon je tvořen elektrickým pohonem s převodovkou (1), na který navazuje obložení spojky (2). Obložení spojky je přitlačováno kotoučem spojky (3) opatřeným rozpěrnými tyčinkami (4) a přitlačnou pružinou spojky (5). Manuální vypnutí spojky je umožněno lankem z oceli (6). Spojku je možno ovládat i elektromagneticky (7). Pomocí upínacích šroubů (8) je zajištěna fixace elektromagnetického ovládání s centrálním

¹² MAHĎÁK 2009, s. 77

¹³ IVANKA 2010, s. 112

pohonem. Elektrický vodič (9) spojuje blok (7) s tělem pohonu (1). Motorová svorkovnice (10) je spojena se spojkovou svorkovnicí (11). Spojková svorkovnice je chráněna krytkou (12). Na elektromagnetickou část pohonu je připojen manuální lankový ovladač spojky (14) přes bowden s ocelovým lankem (13). Celý detail centrálního pohonu je zobrazen na obrázku níže.¹⁴

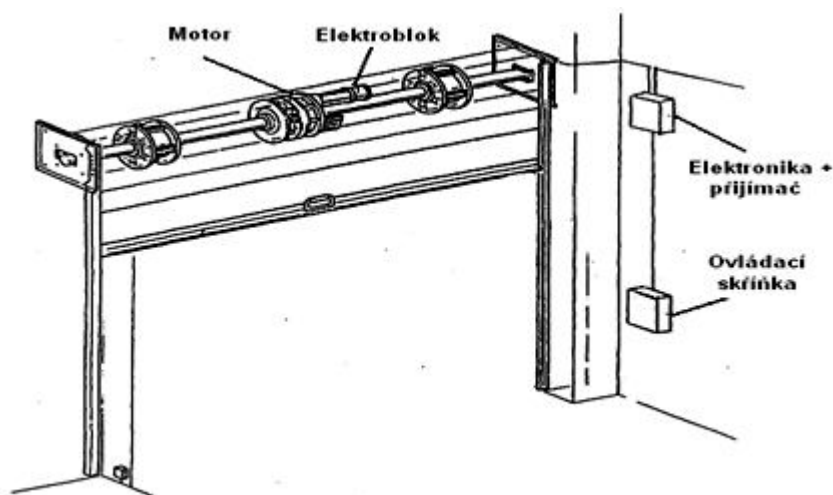


Obr. 5. Detail centrálního pohonu [11]

Centrální pohony roletových mříží se vyskytují ve dvou základních variantách. Jednou variantou je bez dálkového ovládání a druhou s dálkovým ovládáním. První z uvedených typů centrálních pohonů je na následujícím obrázku.¹⁵

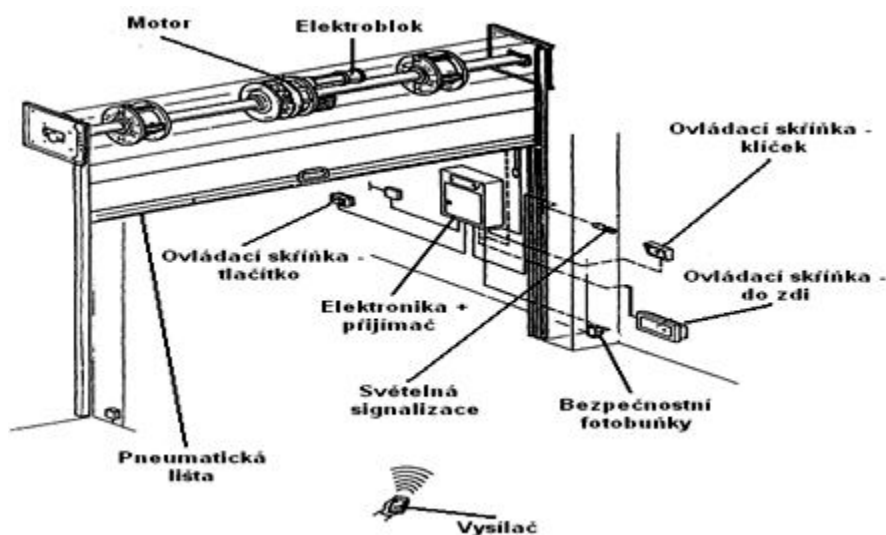
¹⁴ IVANKA 2010, s. 112

¹⁵ MAHĎÁK 2009, s. 79



Obr. 6. Centrální pohon bez dálkového ovládání [10]

Druhý typ centrálního pohonu (na následujícím obrázku) využívá dálkového ovládání a kompenzačních pružin. Jeho součástí je světelná signalizace aktivující se při rolování mřížoviny. Ochranu zdraví uživatele chrání bezpečnostní fotobuňka, která reaguje na předměty nacházející se v prostoru mezi vodícími lištami. V případě nějaké překážky fotobuňka okamžitě vypne pohon a tím nedojde k žádné újmě na zdraví. Fotobuňky bývají umístěny ve dvou výškách. Při výšce cca 20 cm je ochrana proti domácím zvířatům, kdežto při výšce cca 100 cm je ochrana proti nárazu mřížoviny do stojícího automobilu mezi vodícími lištami.¹⁶



Obr. 7. Centrální pohon s dálkovým ovládáním a kompenzačními pružinami [10]

¹⁶ MAHĎÁK 2009, s. 80

1.5 Trubkový pohon rolovacích mříží

Trubkový pohon se používá nejčastěji, je-li u průchodu popř. otvoru málo místa k montáži jiného typu pohonu, nebo chybí-li silnoproudá přípojka. Pohon je umístěn přímo v trubce, čímž vzniká velká úspora prostoru. Nevýhodou je, že není dimenzován na více, než dvě změny za hodinu. Proto se trubkové pohony používají k pohonu rolovacích mříží především v supermarketech, které vyhovují jejich konstrukční aplikaci. Integrace motoru a úspora bočního místa těchto pohonů je vidět na obrázcích uvedených níže.¹⁷



Obr. 8. Integrace motoru v hřídeli [10]



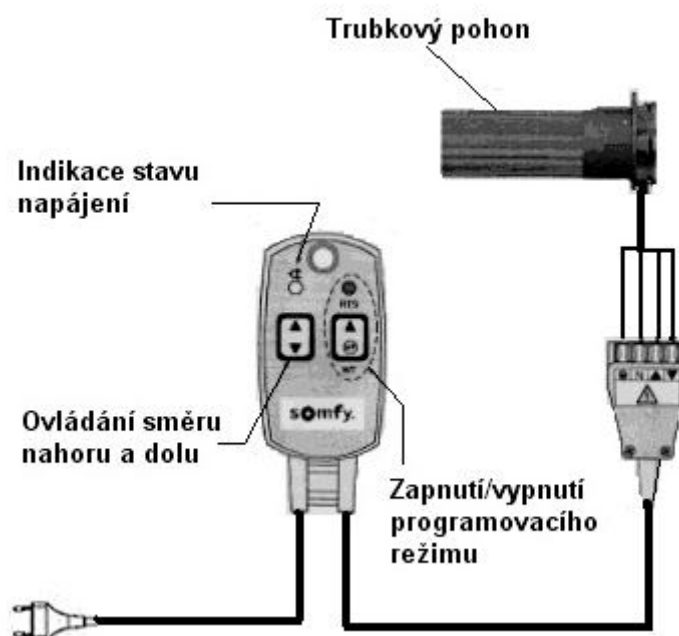
Obr. 9. Úspora bočního místa [10]

1.5.1 Zkušební kabel trubkových pohonů

Zkušební kabel je jednoduchým nástrojem sloužícím montážním technikům. Kabel se používá k ověření funkčnosti trubkových pohonů, jejich programování a nastavování koncových poloh. Při své činnosti je zapojen mezi zdrojem elektrické energie, tedy

¹⁷ MAHĎÁK 2009, s. 69

elektrovodnou sítí a příslušným trubkovým pohonem. S jeho pomocí lze jednoduše ovládat pohon přepínáním tlačítka pro směr nahoru a dolů. Schéma propojení kabelu s trubkovým pohonem je na níže uvedeném obrázku.¹⁸



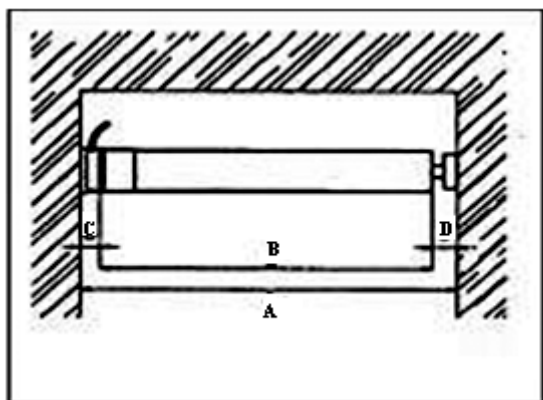
Obr. 10. Propojení zkušebního kabelu s pohonem [10]

1.5.2 Trubkové pohony SOMFY LS 40

Trubkové pohony jsou tvořeny jednofázovým asynchronním motorem, koncovými spínači, brzdou a převodovkou. Pohony se používají pro pohon roletových mříží. Využití nalézájí tam, kde je přerušovaný provoz. Pokud dojde k častějšímu provozu, aktivuje se u nich tepelná pojistka signalizující přehřátí motoru. Poměr časů při chodu a v klidu motoru je roven 40%. Maximální doba chodu, při které nedojde k přehřátí jsou 4 minuty. Při delším používání se aktivuje zabudovaná tepelná pojistka. Významný vliv na tuto hodnotu doby má skutečnost, je-li motor zapojen na prázdnou, nebo do zátěže. Pro ukotvení trubkového pohonu je důležité vědět světlost otvoru, od něhož se odvíjí celková délka hřídele. Důležitý je také rozměr uložení pohonu a protiložiska, ve kterém je ukončena hřídel.¹⁹

¹⁸ MAHĎÁK 2009, s. 70

¹⁹ MAHĎÁK 2009, s. 71



Obr. 11. Montáž trubkového pohonu [10]

Před zahájením montáže trubkového pohonu je nutné zjistit světlost otvoru (A). Podle velikosti otvoru se přizpůsobuje délka hřídele (B) závisící na rozměru uložení pohonu (C) a rozměru uložení protiložiska (D), viz. obrázek výše.²⁰

Pohon je osazen adapterem a unášečem. Do hřídele se musí na straně pohonu vyseknout drážka, která umožní nasunutí pohonu do hřídele a tím zapadnutí do výřezu trubky, čímž dojde ke správnému osazení.²¹



Obr. 12. Osazení hřídele adapterem a unášečem [10]

Po osazení jsou hřídel a unášeč ve čtyřech bodech zajištěny pomocí nýtů, nebo šroubů vzhledem ke straně pohonu. Pro zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti se také zajišťuje zátka s čepem u protiložiska pomocí slepých nýtů, popř. šrouby.²²



Obr. 13. Unášeč a hřídel po zajištění [10]

²⁰ MAHĎÁK 2009, s. 72

²¹ MAHĎÁK 2009, s. 72

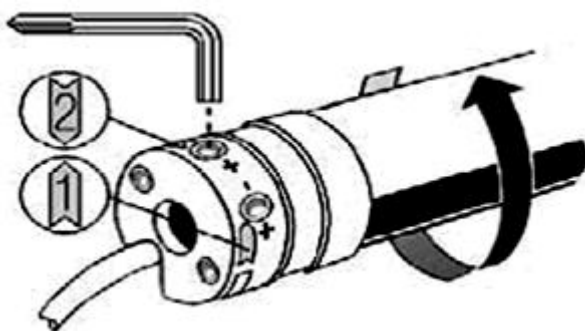
²² MAHĎÁK 2009, s. 72

Upevnění pohonu a hřídele je realizováno pomocí kruhového pera. Pohon lze do uložení umístit v šesti polohách po 60 stupních, aby nastavovací tlačítka byla vždy dobře přístupná. Při nasazování dojde ke cvaknutí, které je signálem správnosti osazení²³



Obr. 14. Nasazení hřídele na pohon motoru [10]

Nastavení spínačů koncových poloh je důležitou procedurou při montáži rolovacích mříží. Při spojení montážního kabelu s kabelem pohonu dojde k otáčení trubkového pohonu. Ten se po určité době zastaví a tím zjistíme polohu koncového spínače. Pomocí imbusového klíče se nastaví koncové polohy šroubu 1 a 2, které se otáčí ve směru vyobrazeném barevným značením těsně u nich, na těle pohonu. Otáči-li se imbusovým klíčem ve směru +, zvyšuje se původní rozsah otáčení. Opačně je tomu, pokud se otáčí klíčem ve směru - . Vypíná-li mříž předčasně, je nutné otočit klíčem směrem vpravo. Pokud dojde k tomu, že mřížovina dojde do krajových bodů a motor se stále točí, je nutná úprava nastavení polohy koncových snímačů pomocí klíče pootočením směrem doleva.²⁴



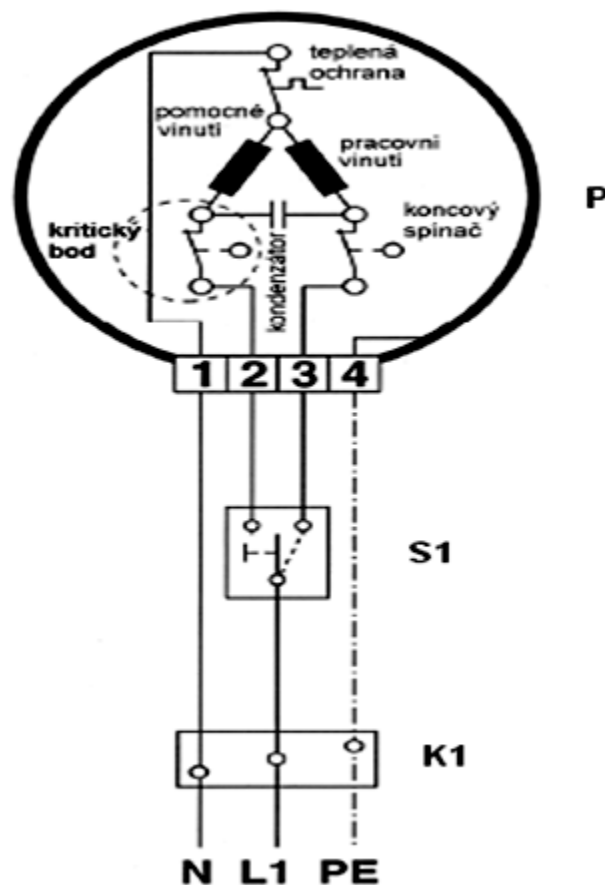
Obr. 15. Nastavení koncových poloh spínačů [10]

Na následujícím obrázku je důležité, pro správnou funkčnost motoru, aby nedošlo k propojení fáze s vývody 2 a 3 motoru. V případě tohoto připojení dochází k destrukci motoru. Kvůli této podmínce je zakázáno paralelní zapojení dvou spínačů, umístěných na

²³ MAHĎÁK 2009, s. 73

²⁴ MAHĎÁK 2009, s. 73

různých místech, neboť by mohlo současně dojít k zapnutí obou směrů více uživateli. U trubkových pohonů mají svou důležitost spínače, nebo řídicí elektronické jednotky, jejichž podstatou je vytvořit určitou časovou prodlevu při přepínání směru pohonu. Spínače musí být schopny zajistit časovou prodlevu minimálně 0,5 s. U některých řídicích jednotek je možné tuto prodlevu navolit a jako nejmenší je lepší opět nastavit 500ms, aby se předešlo zbytečnému zatížení pohonu. Trubkový pohon P je řady SOMFY LS 40. Na svorku číslo 1 je připojen modrý nulový vodič N z rozvodné skříně K1. Na svorku číslo 2 je černým vodičem napojena fáze L1, kterou přepíná spínač, nebo řídicí jednotka i na svorku číslo 3. Na poslední volnou svorku na svorkovnici trubkového pohonu je připojen ochranný vodič PE žlutozelené barvy.²⁵

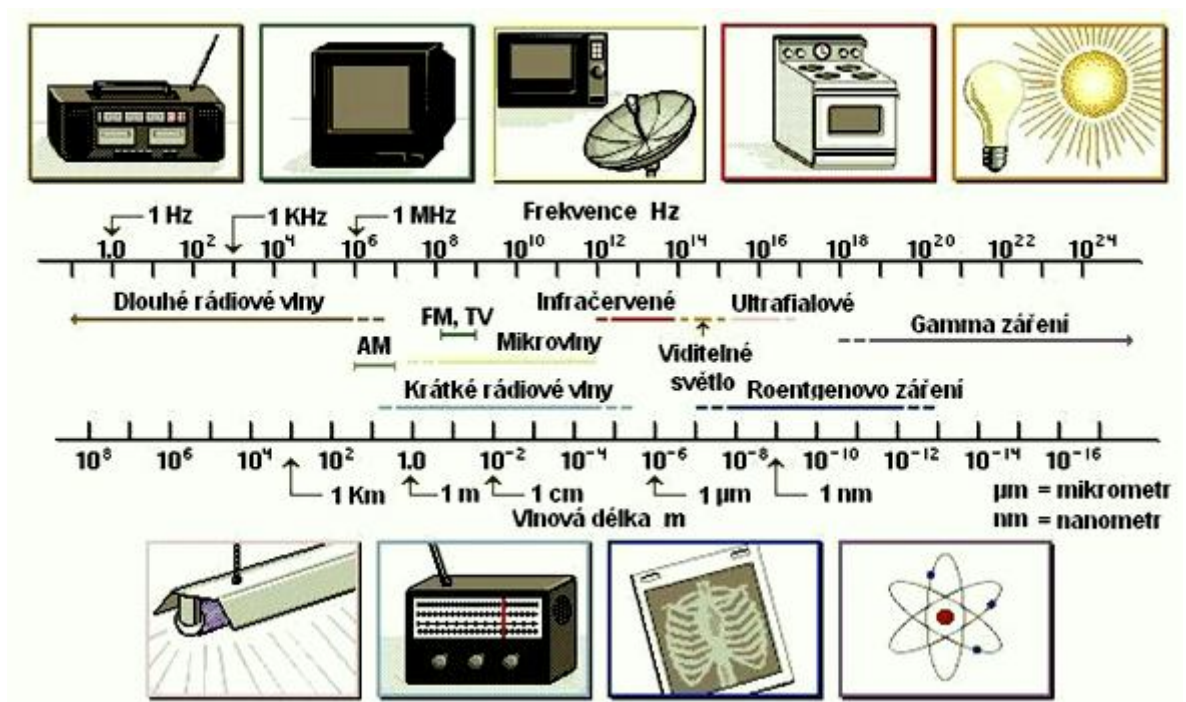


Obr. 16. Schéma zapojení trubkového pohonu LS 40 [10]

²⁵ MAHĎÁK 2009, s. 74

2 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

Elektromagnetické spektrum představuje rozčlenění vyzařovaných elektromagnetických vln vznikajících vibracemi elektrických a magnetických polí. Elektromagnetické vlny lze profilovat podle frekvence f a vlnové délky λ . Lidská bytost umožňuje rozpoznat jenom světlo a teplo, protože pouze vlnové délky těchto elektromagnetických vln umožňuje vjemový orgán zaznamenat. Hranice rozdělující elektromagnetické vlny není přesně stanovena. Na obrázku níže je zobrazeno rozdělení elektromagnetického spektra.



Obr. 17. Rozdělení elektromagnetického spektra podle vlnové délky λ a frekvence f . [6]

2.1 Rádiové vlny

Rádiové vlny dosahují vlnové délky v rozsahu 1 km až 1 mm. Rádiové vlny jsou vytvářeny v elektromagnetickém oscilátoru a distribuovány prostřednictvím antény. Jejich kmitočet sahá až do oblasti 3 GHz ($3 \cdot 10^9$ Hz). Využívají se v telekomunikaci, počítačových sítích, TV a mobilních telefonech. Informace, která má být vysílána a přijímána je modulována analogově, nebo digitálně.²⁶

²⁶ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 3

2.2 Mikrovlny

Zdrojem mikrovln je magnetron využívající se v mikrovlnné troubě, nebo také v radiolokátoru, jehož je srdcem. Mikrovlny spadají do kmitočtu 3 GHz – 300 GHz. Vlnové délky mikrovln jsou v rozmezí 1 dm – 0,1 mm. Ihned po domácích spotřebičích mají v dnešní době nejrozšířenější uplatnění pro bezdrátový přenos informací v sítích Wi-fi.²⁷

2.3 Infračervené záření

Infračervené záření (IR) je vymezeno vlnovými délkami 0,1 mm až 760 nm. S pomocí tohoto záření dochází k šíření tepla. IR záření není možné vidět. Používá se u elektrických ohřívačů, dálkových ovladačů televize, videa, DVD přehrávače, set top boxu apod. V oblasti technického zařízení budov se používá pro vytápění prostor na principu pohlcování IR záření. IR záření je vymezeno frekvencí 300 GHz až 400 THz ($400 \cdot 10^{12}$ Hz).²⁸

2.4 Viditelné světlo

Viditelné světlo je možné vnímat při vlnových délkách 390 nm až 760 nm. Přirozené světlo je pro život na Zemi neodmyslitelnou součástí, neboť je základem fotosyntézy. Viditelné světlo o frekvenci 400 až 750 THz vytváří mnoho barev: červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou a fialovou.²⁹

2.5 Ultrafialové záření

Ultrafialové záření je vymezeno vlnovými délkami $\lambda = 390$ nm až 10 nm. Zdrojem tohoto záření jsou tělesa zahřátá na velmi vysokou teplotu – hvězdy, elektrický oblouk, rtuťové výbojky. V kmitočtové oblasti se ultrafialové záření pohybuje od 750 THz do 300 PHz. Je to nebezpečné záření, neboť způsobuje i některé druhy rakoviny.³⁰

²⁷ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 4

²⁸ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 4

²⁹ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 5

³⁰ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 6

2.6 Röntgenovo záření

Röntgeny mají široké spektrum využití. Nejčastější aplikací je jejich využití v medicíně a bezpečnostním průmyslu při kontrole osobních zavazadel na letišti. Röntgenovo záření má vysokou energii, frekvenci v oblasti 300 PHz ($300 \cdot 10^{15}$ Hz) až 30 EHz ($30 \cdot 10^{18}$ Hz), a velmi krátkou vlnovou délku. Přírodním zdrojem Röntgenova záření jsou hvězdy. Umělý zdroj představuje žhavená katoda – emitující elektrony, anoda a antikatoda. Röntgenovo záření má ionizující účinky.³¹

2.7 Gamma záření

Uzavírá elektromagnetické spektrum s nejkratšími vlnovými délkami. Gamma záření dosahuje při svých kmitočtech nad 30 EHz (exaHertz) silných ionizačních účinků. Jelikož je více pronikavější, než předchozí röntgenovo záření, používá se ke zjišťování defektoskopie materiálů. Stejně, jako u röntgenu hrozí i u gamma záření nemoc z ozáření.³²

³¹ Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 6

³² Fysiky, Předmětová komise 2006, s. 8

3 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

Jakékoliv těleso může být elektricky nabitou. Nabití může být provázeno kladně, nebo záporně. Nejmenší elementární částicí záporně nabitou představuje elektron, který tvoří obal okolo atomového jádra. Nabité těleso působí silou na těleso nacházející se v jeho blízkosti. Hodnota působící síly je ovlivněna vzdáleností mezi tělesy a nábojem. Začnou-li na sebe působit nabitá tělesa, vznikne elektrické pole \vec{E} . Pole je chápáno jako prostorové rozčlenění dané veličiny. Pole v čase neměnná se nazývají statická, nebo také stejnosměrná. Opakem statických polí jsou pole střídavá, u nichž dochází k pravidelným změnám. Podle příčiny a druhu účinku se rozlišují elektrická pole (mezi elektricky nabitými tělesy), magnetická pole (v okolí magnetů a vodičů protékaných proudem), elektromagnetická (rádiové vlny, u nichž jsou elektrické a magnetické pole vzájemně spřažena), gravitační pole (silové pole vyvozované přitažlivostí hmoty), aj.³³ Nachází-li se v prostoru mezi náboji těleso s vlastním nábojem, pak na toto těleso – jako následek přítomnosti náboje v elektrickém poli působí síla F .³⁴ Elektrické pole je prezentováno siločárami. V situaci, kdy se začne pohybovat náboj dochází ke vzniku magnetického pole \vec{H} .

3.1 Elektrické pole

Elektrické pole vzniká v důsledku existence dvou nábojů v prostoru, nebo dielektrika, mezi nimiž je určitá vzdálenost. Elektrická pole vycházejí ze záporného náboje a ústí u kladného náboje, přičemž všeobecnou konvencí je tomu právě naopak. Elektrické pole lze z hlediska časové závislosti dělit na stacionární, jež jsou časově stálé pole a nestacionární - měnící se v časové závislosti.

3.2 Magnetické pole

Magnetické pole je součástí elektromagnetického pole vznikajícího spřažením elektrického a magnetického pole. Při zániku elektrické části elektromagnetického pole vzniká magnetické pole vyvolané pohybem elektrického náboje označovaným jako proud.

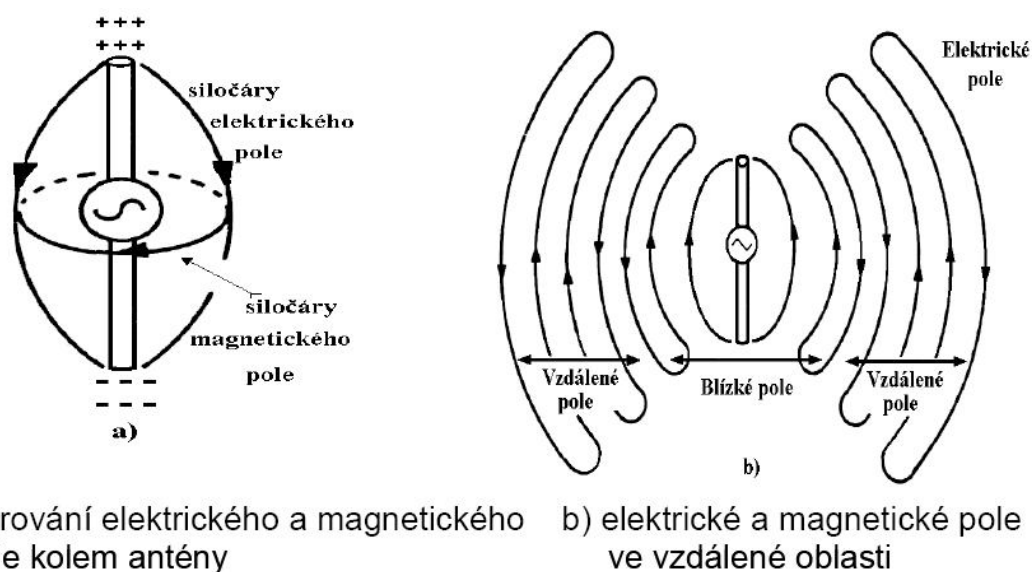
³³ KÖNIG; ERLACHER 2001, s. 9

³⁴ KÖNIG; ERLACHER 2001, s. 9

Magnetické pole vzniká jako následek proudění nábojů vodičem. U magnetického pole je nejvýznamnější veličinou charakterizující samotné pole magnetická indukce \vec{B} . Na principu magnetické indukce, jakožto vektorové veličině, fungují všechny běžně užívané momentové přístroje a těžké stroje, kde dochází s využitím magnetického pole k indukci a ta je následně převáděná na točivý moment.

3.3 Šíření elektromagnetických vln

Široce užívaným prostředkem sloužícím k vyzařování žádoucích elektromagnetických vln je anténa, s jejíž pomocí dochází k vyzařování do okolí. Vstupní strana antény je buzena napětím a to vytváří magnetické pole sloužící pro přenos nábojů. Na jednom konci antény vzniká kladný náboj a na opačném konci se nachází náboj záporný. Příčinou vzniku náboje na konci antény je působící proud. V blízkosti antény je elektrické a magnetické pole závislé na proudu procházejícím anténou. Ve větších vzdálenostech od antény tato závislost již neplatí. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny elektrické a magnetické pole v blízkosti antény a také ve větší vzdálenosti.

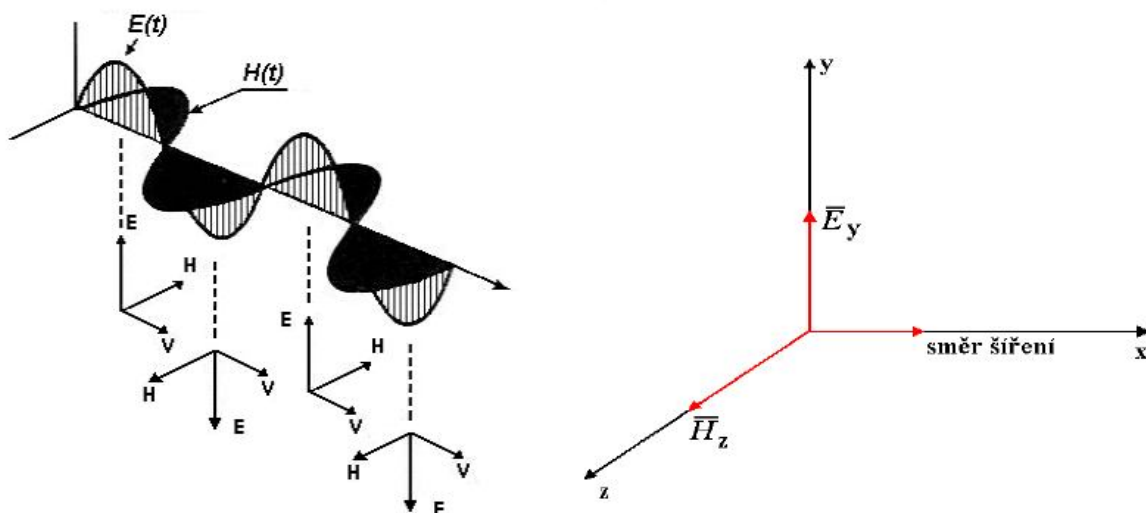


Obr. 18. Struktura pole v okolí vyzařující antény [2]

Šíření elektromagnetického pole se odvíjí od indukovaného elektrického a magnetického pole. Můžeme říci, že časově proměnné magnetické pole ve volném prostoru bude v těsné blízkosti k poli původnímu, indukovat časově proměnné pole elektrické.³⁵

³⁵ Hácha B., Pilný P., Richterová M. 2004, s. 16

Výsledkem elektrických a magnetických časově proměnných vln je proměnné elektrické pole, které pak indukuje proměnné pole magnetické. To při otáčení a pohybu zpětně vyvolá změny pole elektrického. Tento proces souvisí s prostorově časovými změnami obou polí a pokračuje až do nekonečna. Energie se při tomto procesu šíření periodicky přelévá z pole elektrického do pole magnetického. Jelikož energie elektrického pole není umístěna ve stejném prostoru jako energie pole magnetického, elektrické a magnetické pole se při šíření rozkládá v těsné blízkosti od sebe. Obě pole závisí jedno na druhém a odděleně nemohou existovat. Energie obsažená v elektrickém a magnetickém poli se šíří ve volném prostoru rychlostí světla $3 \cdot 10^8$ m/s a šíří se spojitě, pokud nezanikne (v nekonečnu). Tato kombinace elektrických a magnetických vln se nazývá elektromagnetická vlna a její struktura je znázorněna na obrázku níže.³⁶



Obr. 19. Struktura elektromagnetické vlny šířící se ve směru osy x a TEM vlna podél vedení [2]

Existuje několik typů elektromagnetických vln. Tyto typy se rozlišují podle orientace vektoru daného pole vůči směru šíření vlny. Pokud je vektor udávající intenzitu elektrického pole \vec{E} kolmý vzhledem k vektoru udávající intenzitu magnetického pole \vec{H} , jedná se o vlnu TEM. Je-li vektor intenzity elektrického pole \vec{E} kolmý na směr šíření a současně vektor intenzity magnetického pole \vec{H} je orientován stejně, jako směr šíření, tak se jedná o vlnu TE. Analogicky je tomu tak i pro případ, kdy je vektor intenzity

³⁶ Hácha B., Pilný P., Richterová M. 2004, s. 17

magnetického pole \vec{H} kolmý na směr šíření a vektor elektrického pole je souhlasně orientován, jako směr šíření, pak se jedná o TM vlnu.

3.3.1 Maxwellovy rovnice

Všechny elektromagnetické jevy se opírají o Maxwellovy rovnice, které u těchto jevů definují čtveřici vektorů \vec{E} (intenzita elektrického pole), \vec{B} (magnetická indukce), \vec{D} (elektrická indukce) a \vec{H} (intenzita magnetického pole). Maxwellovy rovnice je možné zapsat jak v integrálním, tak v diferenciálním tvaru. Integrálním tvarem rovnic se popisuje elektromagnetické pole v dané oblasti. S využitím zápisu v diferenciálním tvaru je možné popsat bod v dané oblasti. Tvar diferenciální převádí vlastně integrální veličiny na veličiny měrné a tím soustřeďuje platnost do určitého bodu.³⁷ Maxwellovy rovnice, v diferenciálním tvaru jsou pro vyjmenovanou čtveřici vektorů následující.

$$\operatorname{rot} H = J_0 + \frac{\partial D}{\partial t} \quad \operatorname{rot} H - \frac{\partial D}{\partial t} = J_0 \quad [4] \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial D}{\partial t} \quad \operatorname{rot} E + \frac{\partial D}{\partial t} = 0 \quad [4] \quad (2)$$

$$\operatorname{div} B = 0 \quad [4] \quad (3)$$

$$\operatorname{div} D = J_0 \quad [4] \quad (4)$$

Operace rot naznačuje intenzitu otáčení vektorů pole vzhledem k danému bodu. Další obsažená operace div zase udává intenzitu tryskání vektoru z daného bodu. Vektory \vec{E} a \vec{B} považujeme za základní vektory pole. Měly by se nazývat intenzitami pole. Tento název však připadl v historii fyziky pouze vektoru \vec{E} zatímco vektor \vec{B} se nazývá magnetická indukce. Kromě vektorů \vec{E} a \vec{B} se běžně uplatňují také ještě vektory \vec{D} a \vec{H} , které jsou přímo vázány na budící volné náboje a proudy. J_0 je označení pro budící veličinu, přičemž index 0 znamená, že jde o tzv. volné náboje a proudy jimi vytvářené.³⁸ J_0 tedy označuje hustotu elektrického proudu. Vztahy mezi veličinami \vec{E} , \vec{B} , a J_0 , \vec{D} , \vec{H} jsou dány vlastnostmi materiálního prostředí a nazývají se materiálové rovnice.³⁹

³⁷ Haňka Ladislav 1975, s. 189

³⁸ Haňka Ladislav 1982, s. 16

³⁹ Haňka Ladislav 1982, s. 17

$$J_0 = \gamma E \quad D = \epsilon E \quad B = \mu H \quad [4] \quad (5)$$

Skutečnost přímo popisuje tvar integrální, protože se vztahuje na konečné objemy, plochy a délky, s nimiž se mnohdy také reálně experimentuje. Integrální tvary Maxwellových rovnic jsou názorně patrné níže.

$$\oint_S D \cdot ds = Q \quad [13] \quad (6)$$

$$\oint_l H \cdot dl = I + \int_S \frac{\partial D}{\partial t} \cdot dS \quad [13] \quad (7)$$

$$\oint_l E \cdot dl = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dS \quad [13] \quad (8)$$

$$\oint_S B \cdot ds = 0 \quad [13] \quad (9)$$

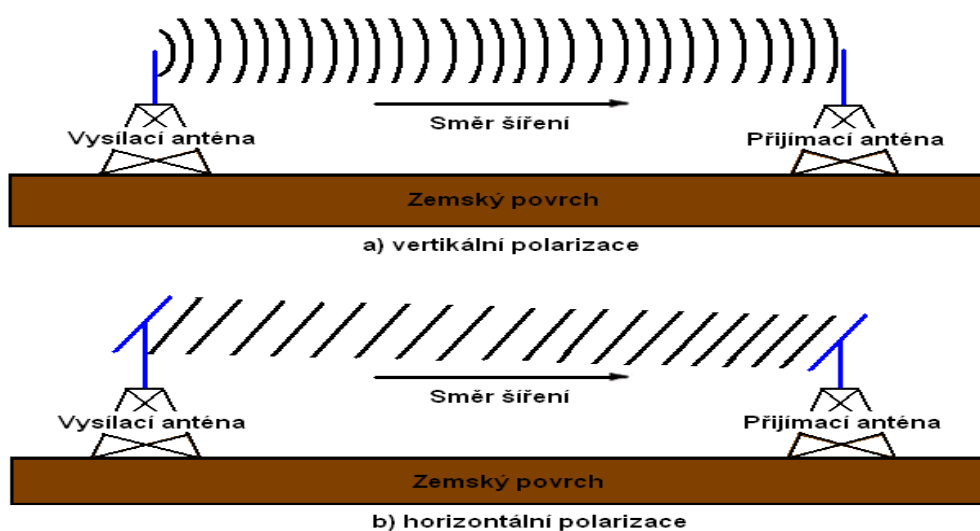
Q je volný náboj v objemu ohraničeném plochou S a I je proud protékající plochou ohraničenou křivkou l.

3.3.2 Polarizace elektromagnetických vln

Polarizace elektromagnetických vln závisí na čele vlny, což je místo bodů, kde je fáze vlny konstantní. Polarizace je způsob, jakým lze určit orientaci vektorů intenzity elektrického a magnetického pole. Podle směru, kterým je orientován vektor intenzity elektrického pole \vec{E} se rozlišuje horizontální a vertikální polarizace. Když se rovinná vlna šíří ve směru osy z a vektor \vec{E} je ve směru osy y, nebo vertikálním směru vůči rozhraní země-vzduch, pak vlnu nazýváme vertikálně polarizovanou (obr.20 a).⁴⁰ Když vektor \vec{E} má směr osy x, nebo horizontální směr, vlnu nazýváme horizontálně polarizovanou (obr.20 b).⁴¹ Na následujícím obrázku je zřetelná orientace elektromagnetických vln.

⁴⁰ Hácha B., Pilný P., Richterová M. 2004, s. 23

⁴¹ Hácha B., Pilný P., Richterová M. 2004, s. 23



Obr. 20. Polarizace elektromagnetických vln [2]

3.3.3 Odraz elektromagnetické vlny

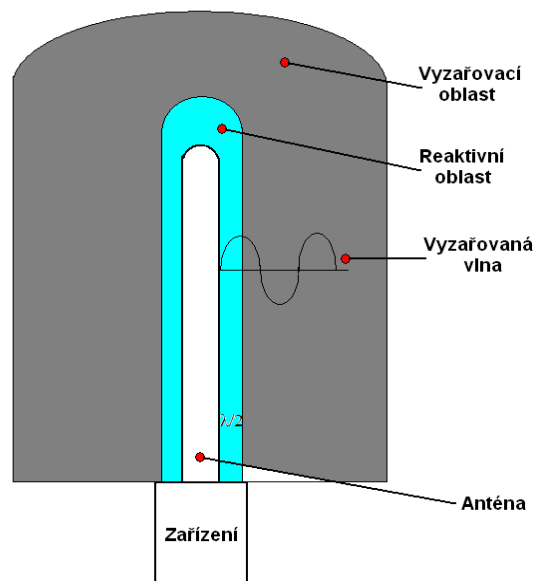
Energie elektromagnetické vlny se dělí na dvě rovnocenné části, kdy jedna polovina připadá elektrickému poli a druhá magnetickému poli. V situaci, kdy dopadá elektromagnetická vlna na vodivou plochu, nastává absolutní odraz v podobě odražení veškeré dopadající energie od této plochy.

3.3.4 Oblasti vyzařování elektromagnetických vln

K vyzařování nežádoucích rušivých elektromagnetických vln dochází ve třech oblastech. Tyto oblasti se dělí na blízké pole, vzdálené pole a fresnelovu zónu.

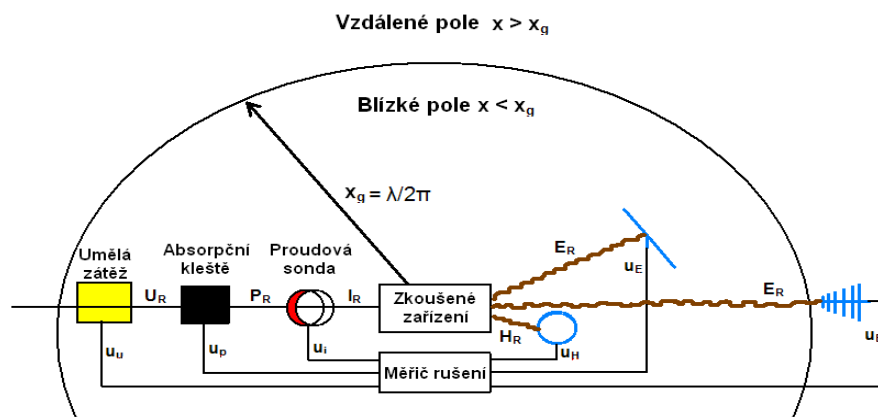
Blízké pole se nachází v samotné blízkosti zdroje vysílajícího rušivé elektromagnetické vlny. V oblasti blízkého pole, nemá elektromagnetická vlna charakter vlny rovinné. Oblast blízkého pole lze dále rozdělit na dvě podoblasti - podoblast reaktivní a podoblast vyzařování. Blíže ke zdroji vyzařování se nachází podoblast reaktivní, v níž je nahromaděna většina energie. Hranice dělící podoblast reaktivní od podoblasti vyzařování je u převážné většiny antén rovna polovině vlnové délky. Oblast vyzařování se nachází ve vzdálenosti větší než $\lambda/2$.

U vzdáleného pole se vyzařovaná elektromagnetická vlna projevuje jako vlna rovinná, přičemž zde platí kolmost elektrické a magnetické složky šířené vlny. Na následujícím obrázku je znázorněna oblast blízkého pole okolo antény a rozdělení na jednotlivé podoblasti.



Obr. 21. Znáznornění blízkého pole okolo antény [22]

Na následujícím obrázku jsou znázorněny způsoby měření rušivých signálů šířících se po vedení, ale také prostorem ve formě vyzařování. Pro případ měření rušivých signálů šířících se po vedení se používá umělá zátěž vedení, absorpční kleště a nebo také proudová sonda. Rušení emitované zářením lze měřit pomocí antén, nebo tzv. „očíhávacích sond“, jak je patrné z obrázku.

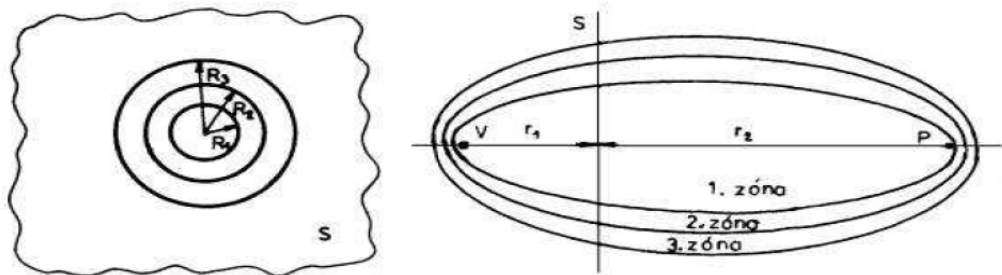


Obr. 22. Znáznornění blízkého a vzdáleného pole a metody měření rušivých signálů [8]

3.3.5 Fresnelova zóna

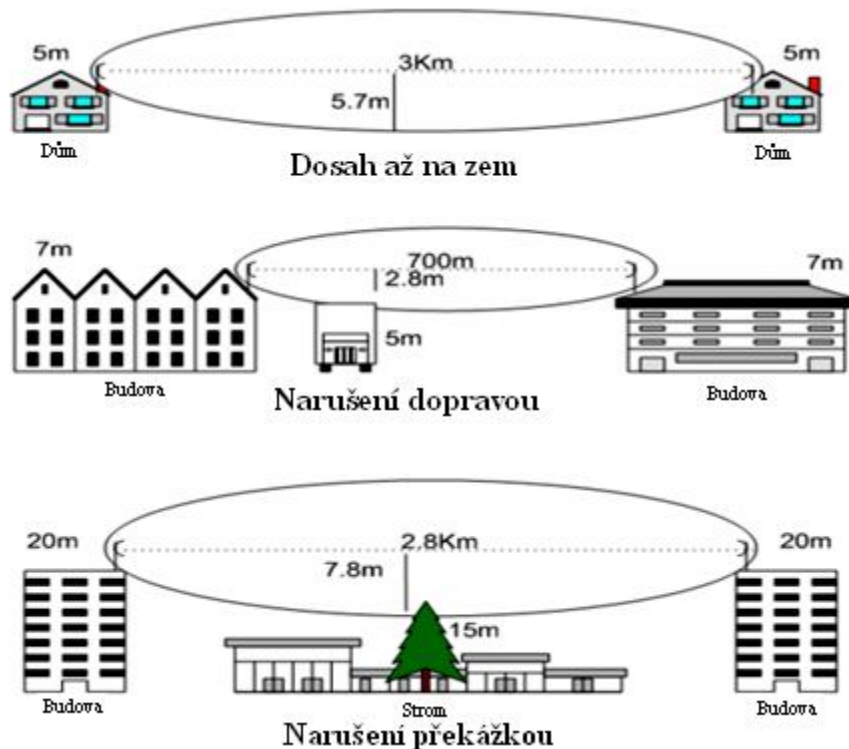
Při zkoumání šíření elektromagnetických vln se pozoruje jejich rozptyl a ohyb. Elektromagnetická vlna má tvar koule, jedná se tedy o vlnu kulovou. Energie elektromagnetického pole šířící se rádiové vlny není ovlivněna celým prostorem, v němž k

šíření dochází, ale pouze určitými oblastmi tohoto prostoru majícími vliv na intenzitu elektromagnetického pole v místě příjmu. Fresnelova zóna je ohraničena rotačními elipsoidy, které mají středy v bodech vysílače (V) a přijímače (P). Jednotlivé rotační elipsoidy vytváří Fresnelovy zóny, které při průniku s plochou S profilují soustředné kružnice, jak je patrné z následujícího obrázku.



Obr. 23. Rotační elipsoidy Fresnelovy zóny [2]

Určením hranice Fresnelovy zóny se oddělí celý prostor na oblast s hranicí ve které dochází k největšímu ovlivňování ze strany prostoru vůči šíření rádiové vlny. Je všeobecně dokázáno, že pomyslnou hranicí je 1. Fresnelova zóna, v níž se transportuje polovina výkonu rádiové vlny. Na následujícím Obr. 24. jsou ukázky narušení Fresnelovy zóny v běžných situacích současného života.



Obr. 24. Příklady narušení Fresnelovy zóny [3]

3.3.6 Praktiky omezování elektromagnetického rušení

Elektromagnetické rušení lze omezovat ve třech oblastech. Prvním způsobem je omezení přímo u zdroje nežádoucího rušení, druhou variantou je omezování u přijímače a posledním způsobem je omezování přenosové trasy. Nejlepším řešením je omezování rušení přímo u zdroje žádoucího signálu, v němž současně vzniká i nežádoucí složka rušení. Tento způsob je však v některých aplikacích nevhodný, neboť není vhodné odrušovat např. vysílač. Proto se velmi uplatňuje odrušování přenosové trasy, nebo přijímacího zařízení. Mezi odrušovací prostředky patří: odrušovací tlumivky jednovrstvkové tlumivkové filtry, odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry, odrušovací filtry LC, přepěťové ochranné prvky (bleskojistky, plynem plněné výbojky, varistory, omezovací diody), elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění.⁴² Metodika nasazování odrušovacích prostředků je velmi důležitá pro správný chod zařízení. Častým příkladem odrušovacích prvků jsou odrušovací tlumivky s feritovým jádrem použité na napájecích kabelích k notebookům. Další uplatnění nacházejí feritové destičky, jimiž je vyskládaná anechoická komora sloužící autorizovaným, popř. notifikovaným osobám k provádění zkoušek v oblasti EMC. V některých aplikacích se používá i vzájemná kombinace jednotlivých způsobů omezování elektromagnetického rušení.

3.3.6.1 Elektromagnetické stínění

Elektromagnetické stínění je v problematice EMI a EMS nejsignifikantnější prvek užívaný k odrušování. Prvky elektromagnetického stínění slouží k zeslabení elektromagnetického pole v určité oblasti. Prakticky se jedná o použití překážky zamezující šíření elektromagnetické vlny, příkladem mohou být skříně. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím stínění je materiál k tomu použitý a především tloušťka tohoto materiálu. Účinnost stínění b vyjádřenou v decibelech dB je možné spočítat podle následujícího vzorce.

$$b = 20 \cdot \log \frac{E_1}{E_2} \quad [14] \quad (10)$$

⁴² SVACHINA 2001, s. 30

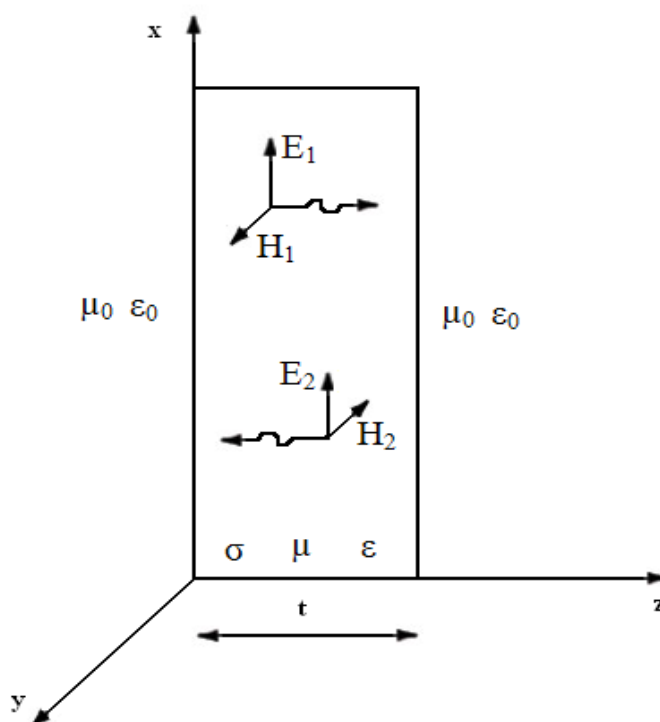
kde E_1 je intenzita elektrického (popř. magnetického) pole před přepážkou, E_2 intenzita ve stíněném prostoru.⁴³ Účinnost stínění lze také značit SE (Shielding Effectiveness-efektivní stínění). V logaritmickém tvaru lze zapsat podobně, jako výše uvedená účinnost stínění b.

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{K_S} \quad [8] \quad (11)$$

kde :

K_S koeficient stínění.

Určit efektivnost stínění SE znamená stanovit složky elektromagnetické vlny proniknuvší do stíněné oblasti ($z \geq t$) při známé velikosti dopadající vlny E_i , H_i , známých parametrech stínící překážky (ϵ , μ , σ , t) a známých parametrech obklopujícího prostředí (ϵ_0 , μ_0). Při řešení vycházíme ze systému Maxwellových rovnic jak pro okolní prostředí, tak i pro kovové prostředí stínící přepážky.⁴⁴ Na následujícím obrázku je zobrazena situace šíření elektromagnetické vlny, která dopadá kolmo na kovový stínící prvek.



Obr. 25. Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku [8]

⁴³ ŽÁČEK; KÜNZEL 2006

⁴⁴ SVAČINA 2001, s. 49

Pro tuto situaci je odvození pro výpočet koeficientu stínění K_S přepážky o tloušťce t následující.

$$K_S = \frac{1}{\cosh \gamma t \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_0}{Z_M} + \frac{Z_M}{Z_0} \right) \cdot \tanh \gamma t \right]} \quad [8] \quad (12)$$

kde:

Z_0charakteristická impedance volného prostředí

Z_Mcharakteristická impedance vodivého prostředí kovové přepážky

γvlnové číslo

ttloušťka překážky

Dosadíme-li koeficient stínění K_S do základní rovnice pro účinnost stínění, získáme po provedení několika matematických operací následující výraz.

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \cdot e^{\gamma t} \cdot \left[1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right] \right| \quad [8] \quad (13)$$

V těchto výrazech značí Z_0 charakteristickou impedanci volného prostředí před a za stínicí přepážkou a Z_M charakteristickou impedanci vodivého prostředí kovové přepážky. Pro tyto veličiny platí vztahy:⁴⁵

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad [8] \quad (14)$$

Veličina γ vyjadřuje tzv. konstantu šíření (vlnové číslo) rovinné elektromagnetické vlny ve vodivém prostředí stínicí přepážky.⁴⁶

Vztah pro výpočet vlnového čísla je zřetelný níže.

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} \quad [8] \quad (15)$$

Účinnost stínění pro přepážku nacházející se v blízké zóně elektromagnetického pole se však počítá jinak. V blízké zóně existuje stacionární (prostorově omezené) kvazistatické pole, a to buď kvazistatické (blízké) elektrické, nebo kvazistatické (blízké) magnetické pole.⁴⁷ Účinnost stínění blízkého elektrického pole dipólu je určena vztahem.⁴⁸

⁴⁵ SVACHINA 2001, s. 49

⁴⁶ SVACHINA 2001, s. 49

⁴⁷ SVACHINA 2001, s. 52

$$SE [dB] = R[dB] + A[dB] + M[dB] \quad [8] \quad (16)$$

kde:

R [dB].....útlum odrazem

A [dB].....absorpční útlum

M [dB].....útlum vlivem mnohonásobných odrazů.

Blízké pole elektrického dipolu má charakteristickou impedanci vyjádřenou:

$$Z_{0E} = \frac{1}{\omega \epsilon_0 r} \quad [8] \quad (17)$$

kde:

r.....vzájemná vzdálenost zdroje rušení a stínícího prvku.

Útlum odrazem elektrické vlny lze vyjádřit logaritmem poměru charakteristických impedancí. Matematický zápis vyjadřuje následující rovnice.

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_{0E}}{4Z_M} \right| \quad [8] \quad (18)$$

Dalším důležitým faktorem v rovnici pro výpočet účinnosti stínění je absorpční útlum, který lze matematicky zapsat:

$$A = 20 \cdot \log e^{\frac{t}{\delta}} \quad [8] \quad (19)$$

kde:

δhloubka vniku elektromagnetického pole do kovového materialu.⁴⁹

Poslední složkou potřebnou pro výpočet účinnosti stínění je útlum v důsledku mnohonásobných odrazů M [dB] vyjádřený matematicky:

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left(\frac{Z_{0E} - Z_M}{Z_{0E} + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right| \quad [8] \quad (20)$$

Pro kvazistatické magnetické pole platí obdobně tentýž vzorec pro výpočet účinnosti útlumu, jako pro kvazistatické elektrické, tedy:

$$SE = R_H + A + M \quad [8] \quad (21)$$

⁴⁸ SVAČINA 2001, s. 52

⁴⁹ SVAČINA 2001, s. 50

Charakteristická impedance blízkého pole magnetického dipólu je matematicky vyjádřena následovně:

$$Z_{0H} = \omega \mu_0 r \quad [8] \quad (22)$$

Absorpční útlum lze vyjádřit naprosto stejně, jako pro blízké elektrické pole. Útlum odrazem se počítá analogicky, jako u elektrického pole, pouze za impedanci Z_0 dosadíme impedanci Z_{0H} . Vztah bude tedy vypadat:

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_{0H}}{4Z_M} \right| \quad [8] \quad (23)$$

Pro velmi nízké kmitočty je velikost R_H velmi malá a nijak výrazně nepřispívá k celkové účinnosti stínění SE. Pro dobré stínění blízkého pole nízkofrekvenčního (stejnoseměrného) magnetického zdroje je proto nutno především zvýšit velikost absorpčního útlumu A. Toho lze dosáhnout užitím tlusté stínící přepážky z feromagnetického kovu, což zároveň sníží negativní vliv mnohonásobných odrazů M na výslednou účinnost stínění.⁵⁰ Účinnost stínění stínícího prvku, popř. přepážky je nejdůležitějším parametrem pro správnou funkčnost daného elektrotechnického zařízení či systému. Přehled jednotlivých úrovní stínění je patrný z následující tabulky.

| Účinnost stínění [dB] | Kategorie - hodnocení |
|--------------------------|---|
| 0 - 10 | Nedostatečné stínění |
| 10 - 30 | Stínění pro minimální požadavky |
| 30 - 60 | Stínění dostačující pro většinu běžných požadavků |
| 60 - 90 | Velmi dobré stínění |
| 90 - 120 | Vysoce kvalitní stínění |

Tab. 1: Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE [8]

3.3.6.2 *Ovlivňování účinnosti stínění technologickými netěsnostmi a přechodovými otvory*

V praxi je účinnost stínění ovlivňována nejen tloušťkou a druhem materiálu, ale i všemi možnými přechodovými otvory určenými pro připojení napájecího kabelu, sdělovacího kabelu apod. Součástí stínění výkonových zařízení jsou i odvětrávací výdechové mřížky pro cirkulaci vzduchu uvnitř zařízení s cílem snížit teplotu v pracovním prostoru.

⁵⁰ SVACHINA 2001, s. 53

Především je důležité, aby otvory ve stínícím krytu byly v porovnání s délkou vlny rušivého signálu co nejmenší. V žádném případě nestačí respektovat tento požadavek pouze jedním rozměrem, byť velmi malým, neboť tak může vzniknout šterbinová antena, a tudíž výsledek je zcela opačný. Přitom taková šterbina vznikne velmi snadno, nejen pokud jednotlivé části nedoléhají, ale také není-li mezi nimi kvalitní vodivé spojení. Toho lze dosáhnout např. použitím pružných vodivých prvků – kovových pružin, hřebíkových těsnění, vodivých polymerů, nebo pružného materiálu s vodivým povrchem (punčoškou), které utěsňují mezery a zároveň vodivě spojují jednotlivé díly. S výhodou se používají vhodně profilované materiály, někdy kombinované s vodivými lepidly. Užitečným pomocníkem mohou být, zejména při operativním řešení problémů, také samolepicí např. měděné pásy, opět v kombinaci s vodivým lepidlem. Přitom nelze opomenout také kvalitní vodivou úpravu přiléhajících částí např. plechového krytu. příklad lze nalézt třeba v provedení skříní špičkových počítačových serverů a průmyslových počítačů v ostrém kontrastu s levnými skříněmi běžných osobních počítačů. Zajímavým příkladem “EMC těsnění”, zajišťujícího také další funkce, jsou různé vodivé tmely používané pro spojování částí krytů mobilních zařízení v provedení odolném proti okolnímu prostředí. Naopak zcela nevhodné je propojení jednotlivých částí jednotlivými vodiči, nebo úzkými dlouhými pásy.⁵¹

Větrací a ventilační otvory u vzduchem chlazených zařízení svými rozměry značně přesahují “povolené rozměry“ z hlediska EMC. Snadného průchodu vzduchu a současně kvalitního stínění lze dosáhnout použitím stínících krytů složených z trubiček čtvercového, šestiúhelníkového, nebo jiného průřezu. Vznikne tak jakýsi „plast“, v němž jednotlivé trubičky tvoří vlnovody navržené jako podkritické, které rušivý signál nejsou schopny přenést. Důležité je opět vodivé spojení se skříní zařízení, obvykle zajištěné již uvedenými postupy.⁵²

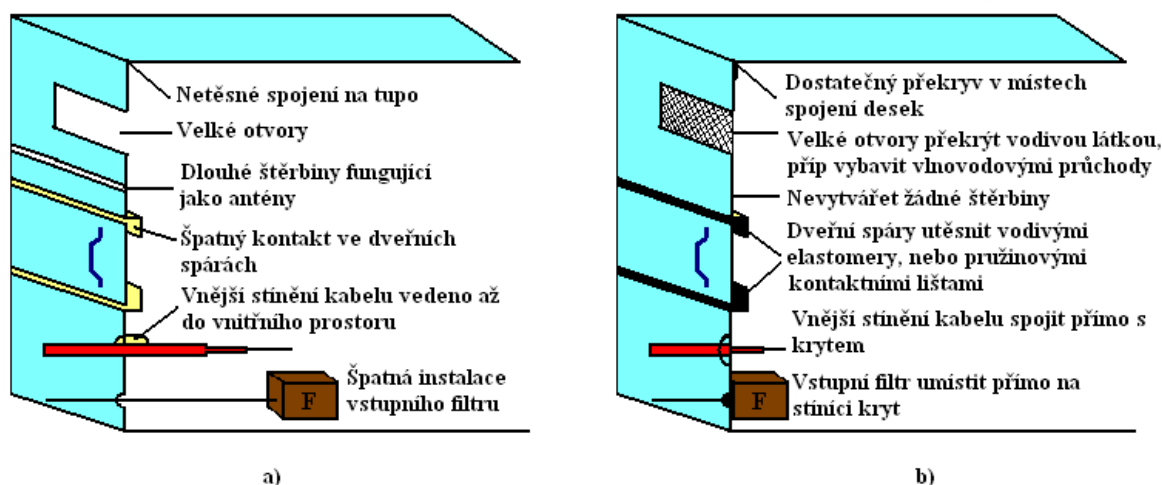
Velký problém mohou znamenat otvory zajišťující průhled do zařízení. V tomto případě musí být kryt dostatečně průhledný (nezhoršující např. čitelnost displeje) a přitom musí zajišťovat potřebné stínění. Používaná technická řešení využívají vodivou uhlíkovou, nebo stříbrnou vrstvu nanesenou na sklo, nebo plastový materiál. Je zjevné, že požadavky na stínění a průhlednost jsou v rozporu. Využívá se tudíž především skutečnost, že útlum

⁵¹ ŽÁČEK; KÜNZEL 2006

⁵² ŽÁČEK; KÜNZEL 2006

tenké vrstvy s rostoucím kmitočtem záření klesá a pro světlo dosahuje dostatečně malých hodnot. Opět je třeba připomenout nutnost vodivého spojení s krytem. Ukázkou řešení tohoto problému lze nalézt např. na dvířkách mikrovlnné trouby.⁵³

Mnoho nehomogenit je u kovového stínění vytvářeno úmyslně, pro jednoduchou údržbu, opravy, seřizování apod. Častými tvary otvorů jsou kruhové, nebo obdélníkové. U kruhových otvorů působí samotný otvor jako plošná anténa. V případě obdélníkového otvoru se jedná o funkci štěrbinové antény. Hlavním cílem je potlačit takovéto chování kovového stínění výše popsanými přechodovými prvky tak, aby bylo zaručeno vodivé spojení všech otvorů ve stínící skříní či krytu a zároveň také vhodně instalovat přívodní kabely (napájecí, nebo sdělovací). Vizuální interpretace správné montáže přívodního kabelu, vodivého spojení všech pohyblivých částí a spojů stínění je názorně patrné z uvedeného obrázku.



Obr. 26. Zásady konstrukce elektromagnetických stíněných krytů [8]

a) chybná konstrukce z hlediska EMC b) zlepšená konstrukce s vyšší účinností stínění

⁵³ ŽÁČEK; KÜNZEL 2006

4 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) (dále jen EMC) je schopnost zařízení, systému či přístroje správně fungovat i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přirodní či umělé), a zároveň však svou vlastní elektromagnetickou činností nesmí nepřípustně ovlivňovat své okolí, tj. nesmí produkovat signály, jež by byly nepřípustně rušivé pro jiná zařízení (technická či biologická).⁵⁴ EMC lze rozdělit na dvě části. První částí je elektromagnetická kompatibilita biologických systémů a druhou je elektromagnetická kompatibilita technických systémů. Obor EMC se dále člení na elektromagnetickou interferenci EMI (rušení) a elektromagnetickou susceptibilitu EMS (odolnost, imunita proti rušení). Na následujícím obrázku je základní řetězec pro EMC technických systémů, který se zabývá vzájemným působením elektrotechnických zařízení.



Obr. 27. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [8]

Každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. Pro každé takové zařízení definuje Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 ve své kapitole 161 Elektromagnetická kompatibilita některé základní pojmy, jejichž vzájemný vztah je vysvětlen na následujícím obrázku.⁵⁵

⁵⁴ Svačina Jiří 2001, s. 1

⁵⁵ Svačina Jiří 2001, s. 7



Obr. 28. Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti [8]

Úroveň vyzařování – je rušení vyzařované konkrétním spotřebičem či zařízením, měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu dle předcházejícího obrázku.⁵⁶

Mez vyzařování – je předepsaná maximální (tj. normou povolená) úroveň vyzařování daného zařízení. Rozdíl úrovně vyzařování a meze vyzařování představuje rezervu návrhu daného zařízení z hlediska EMI.⁵⁷

Úroveň odolnosti – maximální úroveň rušení působící na dané zařízení, při němž je ještě zachována požadovaná kvalita provozu.⁵⁸

Mez odolnosti - je nejnižší normou předepsaná (požadovaná) úroveň odolnosti zařízení. Rozdíl úrovni odolnosti a meze odolnosti udává rezervu návrhu zařízení z hlediska jeho odolnosti.⁵⁹

Rezerva EMC – je rozdíl mezi odolnosti a vyzařování.⁶⁰

⁵⁶ Svačina Jiří 2001, s. 7

⁵⁷ Svačina Jiří 2001, s. 7

⁵⁸ Svačina Jiří 2001, s. 7

⁵⁹ Svačina Jiří 2001, s. 7

Kompatibilní úroveň – maximální předepsaná úroveň celkového rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje či zařízení provozované v určitých podmínkách.⁶¹

Rezerva vyzařování a rezerva odolnosti – jsou vyjádřeny rozdílem mezi vyzařování a odolnosti vůči kompatibilní úrovni.⁶²

4.1 Normy v oblasti EMC

Pro oblast elektromagnetické kompatibility se v roce 1996 stala závaznou směrnice č. 89/336/EEC⁶³, která se vztahuje na všechny elektrotechnické komponenty a zařízení. Hlavní příčinou vzniku jmenované směrnice je kontrola elektromagnetického rušení EMI podle stanovených kritérií a způsobů, jak tyto kritéria ověřit. Právní úpravu zabývající se oblastí EMC tvoří pro ČR zákon 22/1997 sb. a navazující nařízení vlády č. 169/1997 Sb., které je v harmonizaci se směrnicí 89/336/EEC.

4.1.1 Druhy norem v oblasti EMC

V problematice elektromagnetické kompatibility se rozlišují 3 druhy norem. Řadí se zde tedy normy základní, všeobecné a produktové, neboli normy výrobků. Podle sektoru použití lze řadit normy do oblasti civilní a vojenské. Výše zmiňované druhy spadají do oblasti civilní.

Základní normy – definují problém EMC a stanovují základní všeobecné podmínky a pravidla pro metodu testování EMC libovolného výrobku. Nestanovují limity rušení, ani odolnosti. Jsou zaměřeny na terminologii, prostředí, nízkofrekvenční vyzařování, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a impulzní odolnost, vysokofrekvenční vyzařování a odolnost.⁶⁴

Všeobecné normy – jsou vztaženy na jednotlivá prostředí a stanovují minimální požadavky a testovací metody použitelné pro všechny výrobky, nebo systémy pracující

⁶⁰ Svačina Jiří 2001, s. 8

⁶¹ Svačina Jiří 2001, s. 8

⁶² Svačina Jiří 2001, s. 8

⁶³ Kaňuch Jan 2006, s. 10

⁶⁴ Kaňuch Jan 2006, s. 12

v daném prostředí. Požadavky určené těmito normami jsou základem pro hodnocení kompatibility všech zařízení, a tedy i základem pro normy výrobků. Na vlastní hodnocení EMC by se však měly používat jenom v případě, že neexistuje příslušná norma výrobku pro daný druh zařízení. Všeobecné normy se při popisu zkoušek, zkušebních metod a zkušebního uspořádání odvolávají na normy základní. Jsou zaměřeny na vyzařování, odolnost, prostory obytné, obchodní, lehkého průmyslu a průmyslové.⁶⁵

Normy výrobků – jsou obvykle normy předepisující požadavky pro příslušný typ zařízení ze všech hledisek. Požadavky na EMC v nich bývají zakomponovány mezi ostatními požadavky. Jsou zaměřeny na domácí spotřebiče a podobná zařízení, průmyslová, vědecká a lékařská zařízení, motorová vozidla a zařízení se zážehovými motory, rozhlasové a televizní přijímače, zařízení s elektrickým pohonem, elektrické nářadí a podobně, zařízení informační techniky a v neposlední řadě na systémy regulovaných elektrických pohonů.⁶⁶

4.1.2 Norma EN 50130-4 pro posuzování EZS z hlediska EMC

Tato norma skupiny výrobků elektromagnetické kompatibility se používá, pokud jde o požadavky na odolnost, pro komponenty dále uvedených poplachových systémů, určených pro použití uvnitř a v okolí budov, v prostředí obytných, obchodních, lehkého průmyslu a průmyslových:

- Elektrické zabezpečovací systémy
- Poplachové systémy tísňové
- Elektrická požární signalizace
- Systémy přivolání pomoci
- Uzavřené televizní okruhy pro zabezpečovací účely
- Systémy kontroly vstupů pro zabezpečovací účely⁶⁷

Provádění zkoušek je závislé na podmínkách prostředí. Pokud není v základní normě, nebo ve zkušebním postupu stanoveno jinak, jsou zkoušky prováděny v tolerancích jmenovitého napájecího napětí daného pro EUT (Equipment under test- zkoušené zařízení) a při dále

⁶⁵ Kaňuch Jan 2006, s. 12

⁶⁶ Kaňuch Jan 2006, s. 12

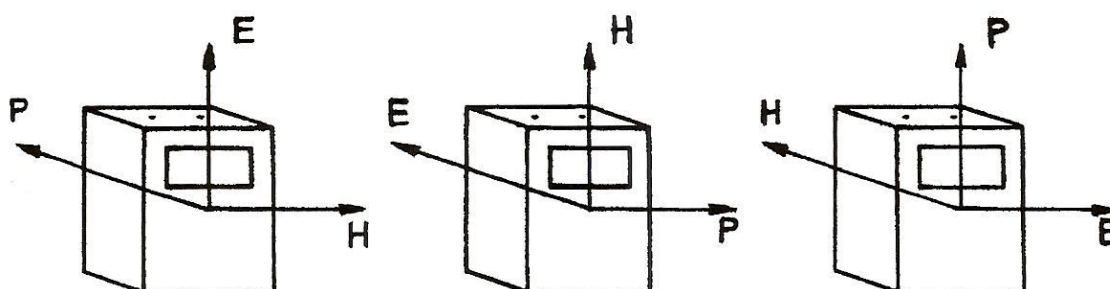
⁶⁷ ČSN EN 50130-4 1997, s. 6

uvedených standardních atmosférických podmínkách pro měření a zkoušky specifikovaných v IEC 68-1, článek 5.3.1:

- teplota 15 °C až 35 °C
- relativní vlhkost 25 % až 75 %
- tlak vzduchu 86 kPa až 106 kPa⁶⁸

Norma ČSN EN 50130-4 se zabývá prokázáním odolnosti EUT vůči působení vysokofrekvenčních elektromagnetických polí (například pole vznikající u přenosných rádiových vysílačů, radiotelefonů, atd.). Při zkoušce je EUT vystaveno vůči působení elektromagnetického záření pole v rozsahu od 80 MHz do 1 GHz. Na EUT působí jak signály se sinusovou amplitudovou modulací, tak i signály s pulzní modulací (klíčová nosná vlna).⁶⁹

Zkoušené zařízení je vystaveno působení ve třech směrech vůči poli tak, aby elektrická složka pole E a magnetická složka pole H byly ve třech navzájem kolmých osách EUT, jak je patrné z následujícího obrázku.⁷⁰



E = vektor elektrického pole
 H = vektor magnetického pole
 P = vektor šíření

Obr. 29. Příklad relativní orientace EUT vůči vektorům pole [19]

Po připojení zkoušeného zařízení k napájecímu zdroji, zátěžovému prvku a monitorovacímu prostředku je připraveno zkoušené zařízení k samotné expozici. Pro tuto expozici je nutné dodržet stupně přísnosti uvedené v následující tabulce.

⁶⁸ ČSN EN 50130-4 1997, s. 8

⁶⁹ ČSN EN 50130-4 1997, s. 12

⁷⁰ ČSN EN 50130-4 1997, s. 13

| | |
|---|--|
| Frekvenční rozsah (MHz) | 80 až 2000 |
| Intenzita pole ¹⁾ (V/m) | 10 |
| Modulace: Amplitudová modulace ²⁾ Pulzní modulace | 80 %, 1kHz, sinusová 1 Hz (0,5 s ZAP : 0,5 s VYP) |
| ¹⁾ Intenzita pole nosné vlny je vyjádřena v efektivní hodnotě spojitě vlny před modulací | |
| ²⁾ Viz. Obrázek 2 | |

Tab. 2: Stupně přísnosti expozice [20]

Ke splnění EMC požadavků na výše jmenované systémy obsažených v této normě dojde, pokud nenastane žádné poškození, chybná funkce, nebo změna stavu EUT.⁷¹ U komponentů využívajících rádiového spojení se připouští, že nemusí být možná rádiová komunikace během expozice ve vyloučených vysílacích a přijímacích pásmech, jak definuje příslušná ETSI EN 301489 pro tento typ rádiového zařízení⁷². Pokud je EUT řešeno tak, že tuto ztrátu komunikace detekuje a signalizuje, je tato signalizace povolena za předpokladu, že je v souladu se specifikací výrobce. Je účelné použít vhodných filtrů, aby se zjistilo, zda poruchy mimo vyhrazená pásma nejsou způsobeny harmonicky generovaným zkušebním systémem.⁷³

4.1.3 Norma pro posuzování EZS ČSN EN 55022

Norma ČSN EN 55022 se specifikuje na zařízení informační techniky. Jsou v ní zapracovány meze a metody měření vysokofrekvenčního šíření jak vedením, tak zářením. Kmitočtový rozsah určený normou je od 9 kHz do 400 GHz, ovšem meze jsou řešeny pouze v některých kmitočtových pásmech řešících emise ovlivňující rozhlasové a telekomunikační spektra.

Zařízení informační techniky lze rozdělit na dvě třídy, třída A ITE a třída B ITE. Do třídy B ITE spadají zařízení pro domácnosti: přenosné zařízení napájené z vestavěných baterií, telekomunikační koncové zařízení napájené z telekomunikační sítě, osobní počítače a připojená pomocná zařízení.⁷⁴ Všechny ostatní zařízení informační techniky spadají do třídy A ITE.

⁷¹ ČSN EN 50130-4 1997, s. 14

⁷² ČSN EN 50130-4 2003, s. 7

⁷³ ČSN EN 50130-4 1997, s. 14

⁷⁴ ČSN EN 55022 2007, s. 13

Zkoušené zařízení musí vyhovovat mezím uvedeným v tabulce 3, nebo tabulce 4. Pokud údaj měřícího přijímače kolísá v blízkosti mezí, musí se údaj sledovat alespoň 15 s na každém měřícím kmitočtu. Zaznamená se nejvyšší hodnota s výjimkou nahodilých krátkých extrémních hodnot, které se zanedbají. Meze stanovené pro rušení šířící se zářením jsou uvedeny v následujících tabulkách.

| Kmitočtový rozsah MHz | Kvazivrcholové meze dB(μ V/m) |
|---|---------------------------------------|
| 30 - 230 | 40 |
| 230 - 1000 | 47 |
| POZNÁMKA 1 Pro kmitočty rozhraní pásem platí nižší meze | |
| POZNÁMKA 2 V případě výskytu rušení se mohou vyžadovat i další opatření | |

Tab. 3: Meze rušení zářením pro A ITE v měřící vzdálenosti 10 m [21]

| Kmitočtový rozsah MHz | Kvazivrcholové meze dB(μ V/m) |
|---|---------------------------------------|
| 30 - 230 | 30 |
| 230 - 1000 | 37 |
| POZNÁMKA 1 Pro kmitočty rozhraní pásem platí nižší meze | |
| POZNÁMKA 2 V případě výskytu rušení se mohou vyžadovat i další opatření | |

Tab. 4: Meze rušení zářením pro B ITE v měřící vzdálenosti 10 m [21]

Význam mezí pro zařízení spočívá v tom, že ze statistického hlediska musí nejméně 80 % hromadně vyráběných zařízení splňovat tyto meze s nejméně 80 % jistotou.⁷⁵ U měření je nutné dodržet všeobecné podmínky, které udávají, že rušení od zkoušeného zařízení musí být rozeznatelné od rušení okolí, neboli šumu prostředí. Musí být zaručeno, aby hodnoty okolního šumu byly 6 dB pod mezemi stanovenými v tabulce 3 a 4. Jestliže při společném působení okolního šumu a rušení ze zdroje je překročena stanovená mez, nesmí se považovat EUT za nevyhovující stanovené mezi, dokud nejsou splněny pro každý měřící kmitočet dvě podmínky:

- a) úroveň okolního šumu je nejméně o 6 dB pod úrovní rušení zdroje plus okolního šumu
- b) úroveň okolního šumu je nejméně o 4,8 dB pod stanovenou mezi⁷⁶

⁷⁵ ČSN EN 55022 2007, s. 15

⁷⁶ ČSN EN 55022 2007, s. 16

4.1.4 Norma pro posuzování trubkového pohonu ČSN ETSI EN 301 489-3

Norma ČSN ETSI EN 301 489-3 se používá pro posuzování elektromagnetické kompatibility trubkových pohonů ovládaných zařízením krátkého dosahu SRD (short range device). Trubkové, boční i centrální pohony jsou z hlediska EMC chápány jako běžné elektrické spotřebiče, z čehož vyplývá, že nepatří mezi vyjmenované výrobky. Posouzení shody u pohonů provádí výrobce. EMC shoda tohoto technického prostředku je prováděna podle dvou směrnic v závislosti na tom, zda je v pohonu integrován přijímač SRD či nikoliv. V případě, že není pohon vybaven přijímačem SRD je prováděno posouzení shody podle směrnice 2004/108/EU⁷⁷ - Požadavky na výrobky z hlediska elektromagnetické kompatibility, přejaté do české legislativy nařízením vlády v platném znění. Druhou možností, kdy obsahuje pohon rádiové zařízení SRD se provádí posouzení shody podle směrnice 1999/5/ES - Požadavky na rádiová a koncová telekomunikační zařízení a vzájemné uznávání jejich shody.⁷⁸

Pro zkoušení emisí a odolnosti se musí použít normální zkušební modulace a zkušební uspořádání definované v normě EN 301 489-1. Zařízení SRD pro dálkové rádiové ovládání pohonů mříží se dělí podle technického charakteru na 3 primární funkce. Zařízení Typu I pro přenos zpráv digitálních, nebo analogových signálů. Zařízení Typu II pro přenos audiosignálů a zařízení Typu III vyhrazené pro přenos ostatních signálů.⁷⁹ Z následující tabulky je patrná klasifikace zařízení SRD.

| Třída zařízení SRD | Posouzení nebezpečí funkce přijímače |
|--------------------|--|
| 1 | Vysoce spolehlivá komunikační média SRD; např. sloužící systémům zásadním pro lidský život (může vést k fyzickému nebezpečí pro osoby) |
| 2 | Středně spolehlivá komunikační média SRD; např. působící obtíže pro osoby, jež nelze jednoduše překonat jinými prostředky |
| 3 | Standardně spolehlivá komunikační média SRD; např. působící obtíže pro osoby, jež lze jednoduše překonat jinými prostředky (např. ručně) |

Tab. 5: Seznam zařízení SRD a jejich klasifikace [16]

Pro dálkové rádiové ovládání pohonů mříží spadá zařízení SRD do třídy 1, nebo 2. Přesné zařazení je závislé na citlivosti střeženého objektu. Zařízení SRD integrované v pohonech

⁷⁷ Označení CE a směrnice EU

⁷⁸ ÚNMZ 2004

⁷⁹ ČSN ETSI EN 301 489-3 V1.4.1 s. 12

mříží musí splňovat následující kritéria A a B a to v případě zkoušky a mimo ni. Kritéria jsou stanovena v následující tabulce.

| Zařízení SRD třídy 1 | | |
|----------------------|---|--|
| Kritéria | Při zkoušce | Po zkoušce |
| A | Pracuje určeným způsobem Bez ztráty funkce U zařízení typu 2 musí minimální funkce odpovídat 12 dB SINAD Bez nahodilých odezev | Pracuje určeným způsobem U zařízení typu 2 se musí udržovat komunikační spoj Bez ztráty funkce Bez zhoršení funkce Bez ztráty uložených dat, nebo uživatelsky programovatelných funkcí |
| B | Může dojít ke ztrátě funkce (jedné, nebo více) Bez nahodilých odezev | Pracuje určeným způsobem Ztracená (ztracené) funkce musí být automaticky obnovitelná Bez zhoršení funkce Bez ztráty uložených dat, nebo uživatelsky programovatelných funkcí |

Tab. 6: Tabulka funkcí [16]

| Zařízení SRD třídy 1 | | |
|----------------------|--|---|
| Kritéria | Při zkoušce | Po zkoušce |
| A | Pracuje určeným způsobem Bez ztráty funkce U zařízení typu 2 musí minimální funkce odpovídat 6 dB SINAD Bez nahodilých odezev | Pracuje určeným způsobem U zařízení typu 2 se musí udržovat komunikační spoj Bez ztráty funkce Bez zhošení funkce Bez ztráty uložených dat, nebo uživatelsky programovatelných funkcí |
| B | Může dojít ke ztrátě funkce (jedné, nebo více) Bez nahodilých odezev | Pracuje určeným způsobem Ztracená (ztracené) funkce musí být automaticky obnovitelná Bez zhošení funkce Bez ztráty uložených dat, nebo uživatelsky programovatelných funkcí |

Tab. 7: Tabulka funkcí [16]

Do třídy 1 lze řadit ze zařízení pro dálkové měření např. identifikaci osob. U použití bezdrátového snímání patří do třídy 1 detekce požáru a bezdrátové datové komunikace. Zařízení SRD se u systémů výstrahy pro třídu 1 používá k zabezpečení domácností, dále jako ochranné systémy či osobní zabezpečení. Dálkové ovládání garážových vrat však spadá do třídy 3.⁸⁰

⁸⁰ ČSN ETSI EN 301 489-3 V1.4.1. s. 20

II. PRAKTICKÁ ČÁST

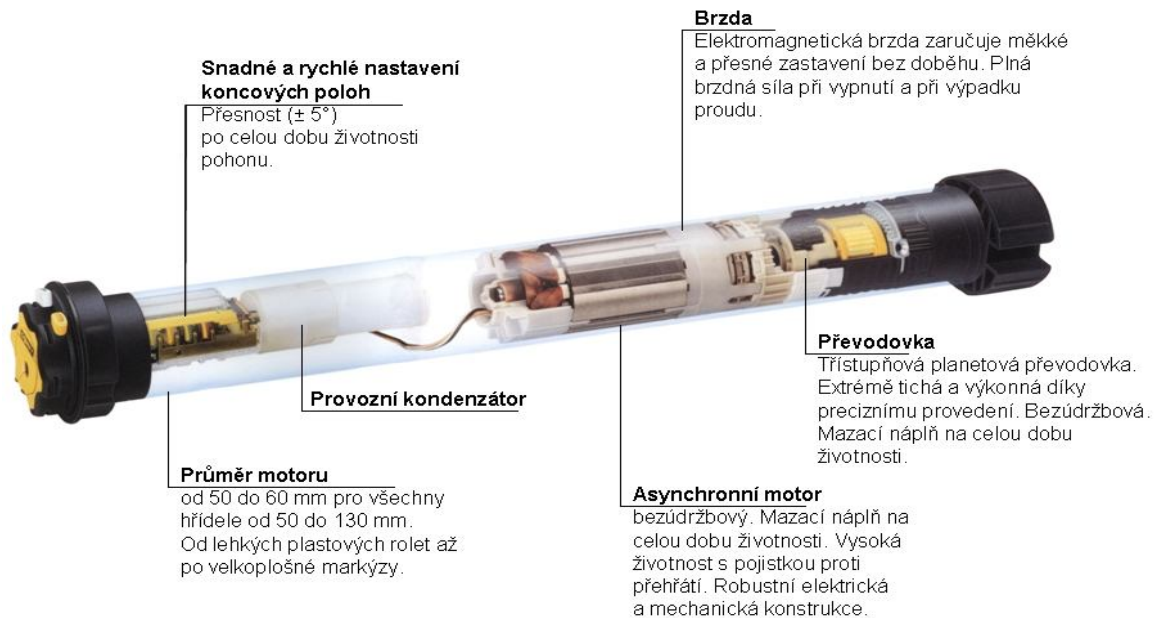
5 POPIS MĚŘÍCÍHO PRACOVIŠTĚ

Měřicí pracoviště je situováno v prostorách Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, Nad Stráněmi 4511. Laboratoř D315 je určena pro výuku mechanických zábranných systémů, např. k výuce v překonávání zámkových systémů. Odborné pracoviště se řadí podle normy EN 61000-2-9 v druhé části oddílu 9 zabývajícím se popisem prostředí HEMP o vyzařovaném rušení do kategorie I. vnitřní prostředí. Ve specializované laboratoři se nachází i trubkový pohon s rolovací mříží od firmy Librax se třemi druhy výpletu pro stupně utajení „V“ vyhrazené, „D“ důvěrné a „T“ tajné. Rolovací mříž určená k nasazování ve stupni utajení „V“, se označuje jako RL A. Mřížový výplet pro stupeň utajení „D“ je označován RL B. Posledním typem mřížového výpletu, jímž je rolovací mříž vybavená, je typ RL P určený pro stupeň utajení „T“. Trubkový pohon je napájen ze sítě 230 V, přičemž jeho ovládání je koncipováno tak, jak je patrné na Obr. 16. v teoretické části u trubkového pohonu od společnosti Somfy řady LS 40. Činnost trubkového pohonu je ovládána dvěma spínači sloužícími ke střídavému přepínání fáze L_1 pro pohyb směrem nahoru a dolů. Princip ovládání trubkového pohonu lze zařadit do ovládání základního. Součástí vybavení speciálního pracoviště je i bezdrátový zabezpečovací systém s pracovním kmitočtem 868 MHz od společnosti Jablotron nazvaný OASIS JA-80. Na Obr. 30. je znázorněn trubkový pohon vybavený kombinací typů mřížoviny RL A, RL B a RL P.



Obr. 30. Certifikovaná rolovací mříž od společnosti Librax

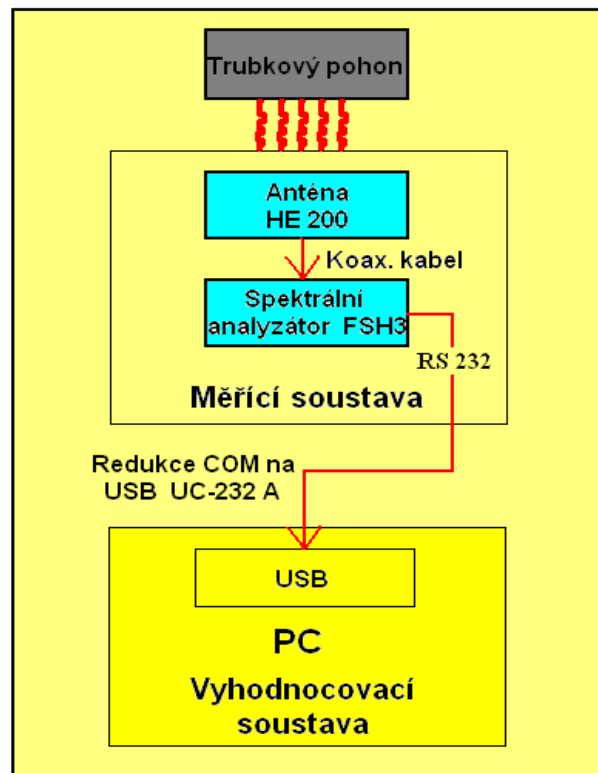
Na následujícím obrázku je patrný detailní pohled vnitřní skladby trubkového pohonu. Z Obr. 31. je tedy zřejmé, že je pohon společně s převodovkou zalisovaný do trubky, z čehož vyplývá absence jakékoliv údržby. Proto se pohony neopravují, neboť náklady na opravu celého trubkového pohonu přesahují náklady na výměnu.



Obr. 31. Detail vnitřní skladby trubkového pohonu [26]

5.1 Popis měřicí soustavy

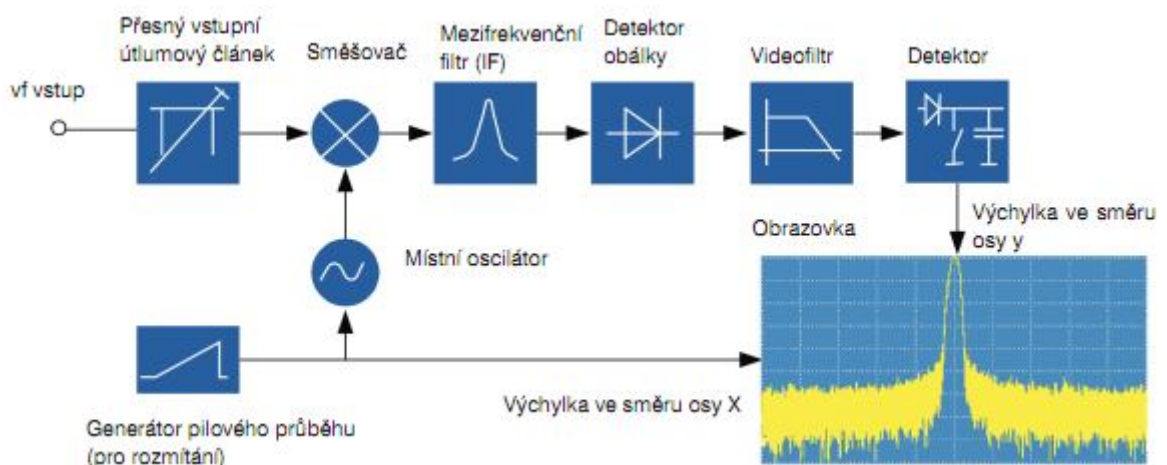
Pro měření vyzařování rušivého elektromagnetického blízkého pole v okolí trubkového pohonu byl použit spektrální analyzátor FSH3 od společnosti Rohde&Schwarz umožňující skenovat spektrum blízkého pole. K FSH3 byla přes konektor RF Input s využitím koaxiálního kabelu připojena logaritmicko-periodická anténa schopná pracovat v kmitočtovém pásmu 500 MHz - 3 GHz. Pro vyhodnocení a záznam měřeného spektra bylo nutné propojit FSH3 s počítačem. Data ze spektrálního analyzátoru byla posílána po sběrnici RS-232, ovšem notebook nedisponoval portem RS-232, takže bylo nutné využít redukci RS-232 na USB. Redukce UC-232A byla nejvhodnější, protože jako jediná dokázala zajistit správnou komunikaci notebooku s FSH3. Vyhodnocovací soustavu tvořil notebook, v němž byl spuštěn vytvořený program „program2“ v prostředí Agilent Vee Pro 9.2 EVAL. Na Obr. 32. je zobrazena struktura měřicí soustavy a propojení jednotlivých komponent.



Obr. 32. Propojení komponent měřicí soustavy

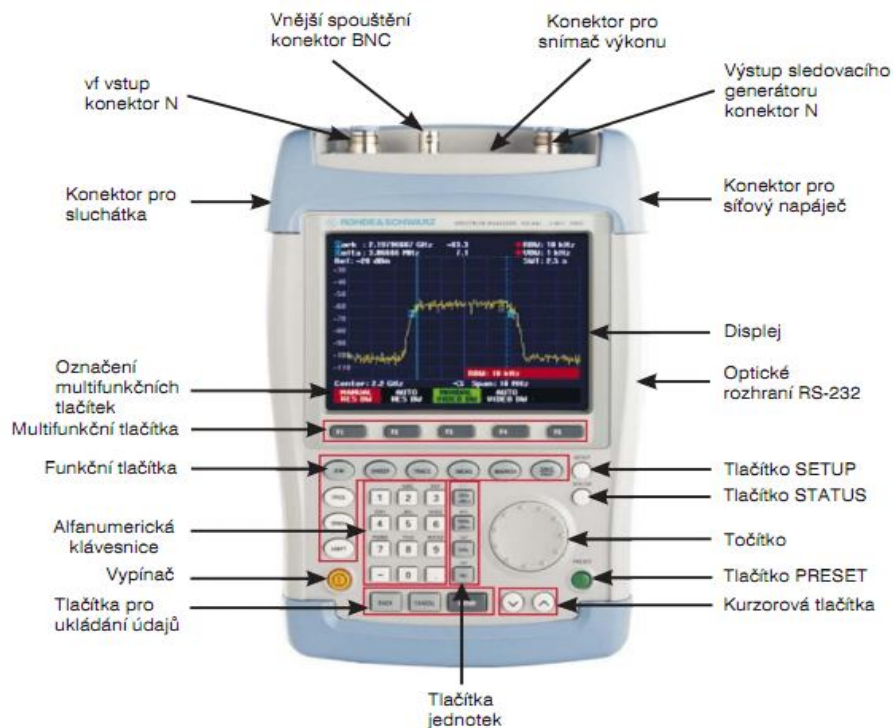
5.1.1 Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH 3

Ke snímání síly intenzity \vec{E} elektrického nestacionárního pole EMC pole byl použit spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH 3 pracující v kmitočtovém pásmu 100 kHz - 3 GHz. Přístroj je k notebooku připojen pomocí RS-232 C a následně redukcí UC-232 A z RS-232 C na port USB umožňující přímé připojení k portu USB notebooku. Na obrázku níže je vidět vnitřní uspořádání spektrálního analyzátoru FSH 3 a princip jeho činnosti.



Obr. 33. Princip činnosti spektrálního analyzátoru [23]

Spektrální analyzátor lze využít jak pro údržbu mobilních BTS stanic, tak také pro měření síly vyzařovaného EMC pole, nebo i pro detekci vzdálenosti poruchy na kabelu. K těmto měřením je vybaven mnoha podpurnými komponenty. Na následujícím obrázku je uvedena přední strana FSH3 s popisem jednotlivých funkčních tlačítek a konektorů umožňujících připojení vstupně/výstupních zařízení.



Obr. 34. Popis spektrálního analyzátoru R&S FSH3 [23]

K nastavování parametrů před samotným započítáním měření slouží funkční a multifunkční tlačítka doplněné o alfanumerickou klávesnici k zadávání konkrétních hodnot centrální frekvence, frekvenčního rozsahu, ale také důležitých parametrů RBW filtru, neboli šířky pásma mezifrekvenčního filtru, který z velké části udává vlastnosti spektrálního analyzátoru. V následující tabulce jsou uvedeny základní vlastnosti spektrálního analyzátoru FSH 3.

| Technické údaje R&S FSH3 | | | | | |
|----------------------------------|--|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Frekvenční parametry | | | Amplitudové parametry | | |
| Frekvenční rozsah | 100 kHz - 3 GHz | 2 ppm/rok | Zobrazovaný rozsah | od šumového prahu do + 20 dBm | |
| Frekvenční čítač | 0 Hz, 10 kHz - 3 GHz | rozlišení 1 Hz | Maximální DC složka v RF sign. | 50 V (80 V 1145.5850.03) | |
| SSB fázový šum | 30 kHz | < 85 dBc (1 Hz) | Zobrazení průměru | Video šířka pásma | < -105 dBm |
| | 100 kHz | < 100 dBc (1 Hz) | šumového | 10 Hz, 10 MHz, 3 GHz | |
| | 1 MHz | < 120 dBc (1 Hz) | prahu | ref. hladina - 30 dBm | |
| Rozmítání | SPAN ≥ 10 kHz | 100 ms - 1000 s | Model | 10 MHz - 2,5 GHz | < -120 dBm |
| | SPAN = 0 Hz | 1 ms - 100 s | 1145.5850.23 | 2,5 GHz - 3 GHz | < -115 dBm |
| Šířka pásma | Rozlišení šířky pásma | 1 kHz - 1 MHz | Nastavení referenční hladiny | od - 80 dBm až + 20 dBm po 1 dBm | |
| | Model 1145.5850.23 | 100 Hz - 1 MHz | RF attenuator | 0 dBm až 30 dBm v 10 krocích | |
| Vstup | | | Zobr. Jednotky | Logaritmické | dBm, dBuV, dBmV |
| RF konektor | N, female | | | Lineární | uV, mV, V, uW, mW, W |
| Vstupní impedance | 50 Ohm | | Detektor stopy | | auto peak, max./min. peak, RMS |
| VSWR (10 MHz - 3 GHz) | 1,5 | | Markers | funkce | peak, next peak, cent. |
| Trigger input/ ext. Ref. Hladina | BNC konektro, female, volitelné | | | zobrazované hodnoty | hladina, šum, frekv. |
| | | | Audio modulace | | AM (video bez AGC), FM |
| Výstup | | | Všeobecná data | | |
| Výstup odposlechu | 3,5 mm, mini jack | | Napájení | Síťové AC | 100 V - 240 V, 50 Hz |
| Tracking generator (.13 a .23) | N, female | | | Síťové DC | 15 až 20 V |
| Frekvenční pásmo | 10 MHz - 3 GHz | | Bateriový provoz | Bateriové | 6 až 9 V |
| Hladina výstupu | model .13 | př. - 20 dBm | | s tracking g. do 3,5 h | bez tracking g. do 4 h |
| | model .23 | 0 dBm/ -20 dBm (vol) | | | |
| Výstupní impedance | 50 Ohm | | Příkon přístroje | | 7 W |
| Rozhraní | | | Provedení krytí | | IP 51 |
| RS 232C - Optické | 1,2 k; 2,4 k; 9,6 k; 19,2 k; 38,4 k; 57,6 k; | | Volitelné příslušenství | | na dotaz |
| | 1158,2 k baud | | Rozměry | | 270 mm x 170 mm x 120 mm |
| Power senzor | 7- pin konektor | | Hmotnost | | 2,5 Kg |

Tab. 8. Technické údaje spektrálního analyzátoru FSH 3 [23]

FSH 3 využívá k měření bateriové napájení antény, popř. připojené sondy. Je vhodný pro měření v terénu. Jeho součástí je integrovaná paměť s možností záznamu až 100 měření. Pro okamžité zjištění úrovně signálu slouží displej s rozlišením 320 x 240 bodů.

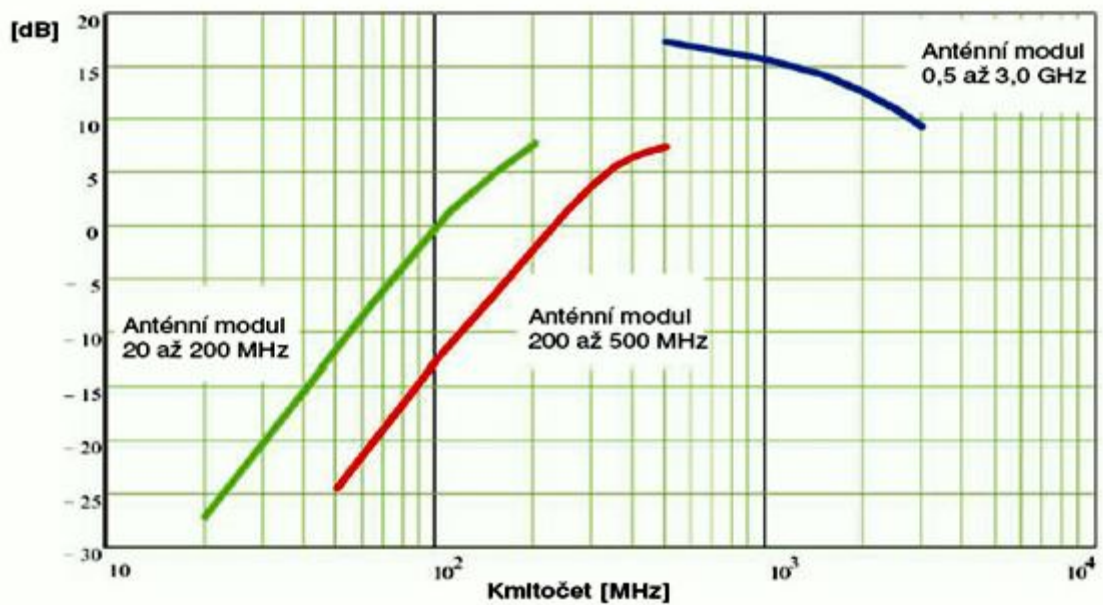
5.1.2 Logaritmicko-periodická anténa HE 200

Logaritmicko-periodická širokopásmová dipólová směrová anténa pracuje na frekvencích od 500 MHz do 3 GHz. Anténu lze použít jak v pasivním, tak v aktivním režimu, přičemž aktivní režim je vhodné aktivovat v případě nepřítomnosti silného vysílače signálu. Anténu lze aplikovat pro horizontální i vertikální polarizaci vysílaného signálu. Na následujícím obrázku je zobrazena anténa HE 200.

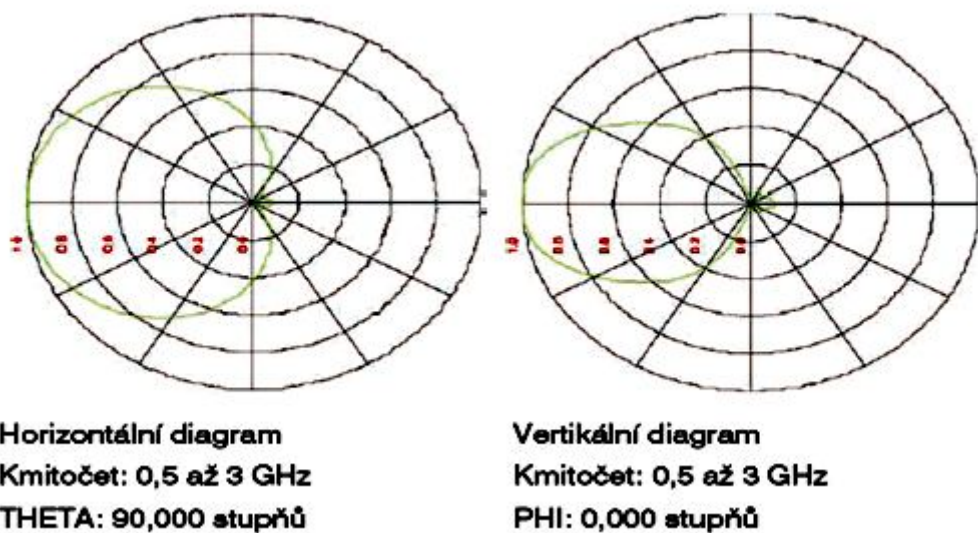


Obr. 35. Logaritmicko-periodická anténa HE 200

Na Obr. 36. je graficky znázorněn zisk anténního modulu 500 MHz - 3 GHz během aktivního režimu, tj. režimu, kdy je zapnut kolébkový přepínač na madle antény do polohy amplifier ON. Je patrné, že zisk antény při frekvenci 500 MHz je přibližně 17,5 dB, kdežto při narůstající frekvenci, řádově do 3 GHz se zisk antény snižuje na hodnotu 9 dB. Zisk antény v oblasti pracovního kmitočtu bezdrátového systému OASIS JA-80 dosahuje hodnoty 16 dB. Při pasivním režimu dosahuje anténa HE 200 v blízkosti frekvence 868 MHz zisku pouze 4,5 dB. Normou udávaný poměr intenzity elektrického pole v závislosti na azimutu, neboli směrová charakteristika logaritmicko-periodické antény je znázorněna na Obr. 37.



Obr. 36. Zisk antény HE 200 v aktivním režimu [24]



Obr. 37. Směrová charakteristika anténního modulu 500 MHz - 3 GHz [24]

5.1.3 Redukce COM na USB UC-232A

Redukce UC-232A umožňuje připojení jakéhokoliv přístroje s rozhraním COM na notebook, který není vybaven portem COM. Jedná se tedy o různé měřicí přístroje, ISDN terminály, ale také mobilní telefony a GPS aplikace. Redukce umožňuje přenos dat rychlostí až do 230 kb s 96 bytovým bufferem (vyrovnávací paměť) pro horní a dolní tok dat.

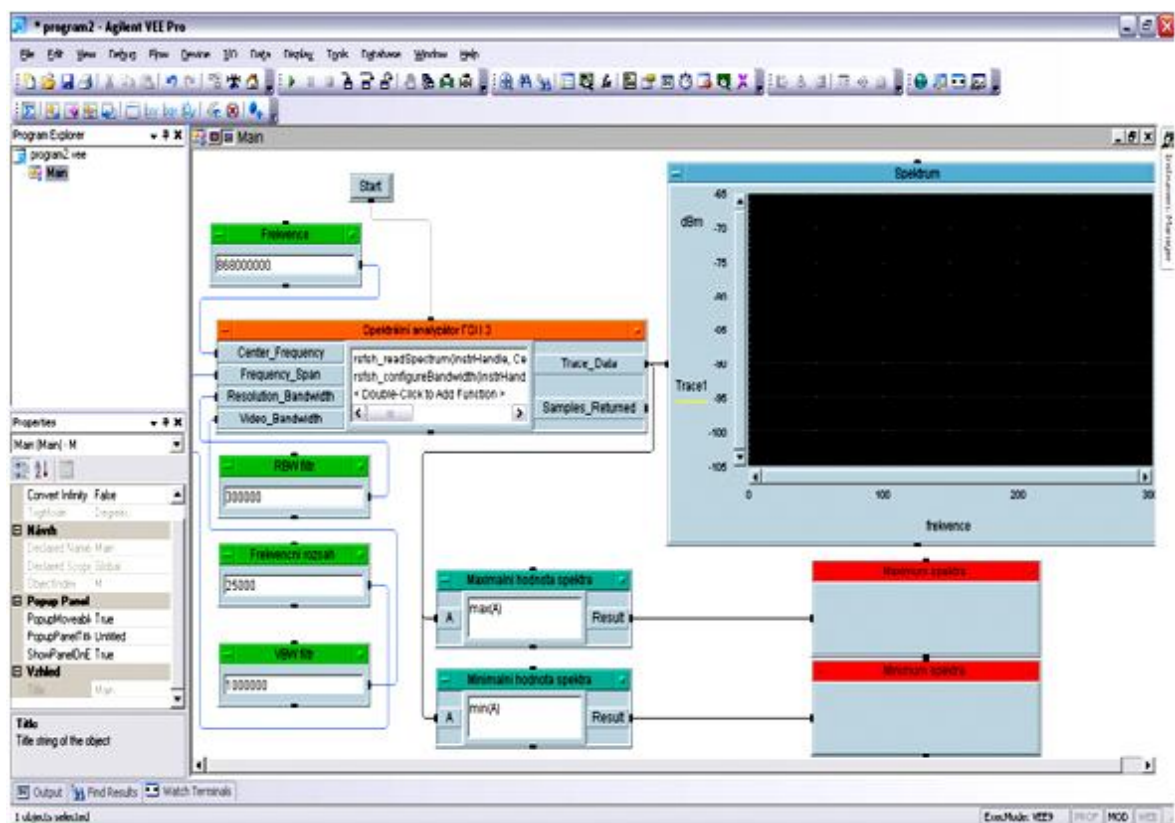


Obr. 38. Převodník z USB na RS 232 UC-232A

5.1.4 Programové vybavení pro komunikaci s FSH 3

Pro komunikaci měřícího přístroje spektrálního analyzátoru FSH 3 s notebookem byl využit software Agilent Vee Pro 9.2 EVAL, který představuje grafické prostředí. Slouží pro vytváření softwarových aplikací k dorozumívání s automatizační měřící technikou. Vývojové prostředí Agilent Vee je strukturováno formou vývojového diagramu. Disponuje databází s ovladači pro více než 1000 měřících a snímacích přístrojů. Součástí softwaru je i integrace prostředí Matlab sloužícího pro vizualizaci vstupních dat.

Orientace prostředí je objektové. Objekty plní různé funkce, obsahují vstupy, výstupy, mohou daná data přímo také analyzovat. Použité objekty se navzájem spojují a způsob spojení vyjadřuje daný algoritmus konkrétního programu. Zobrazené objekty včetně spojovacích cest se nazývají detailní pohled. Příklad takového pohledu je uveden na následujícím obrázku.



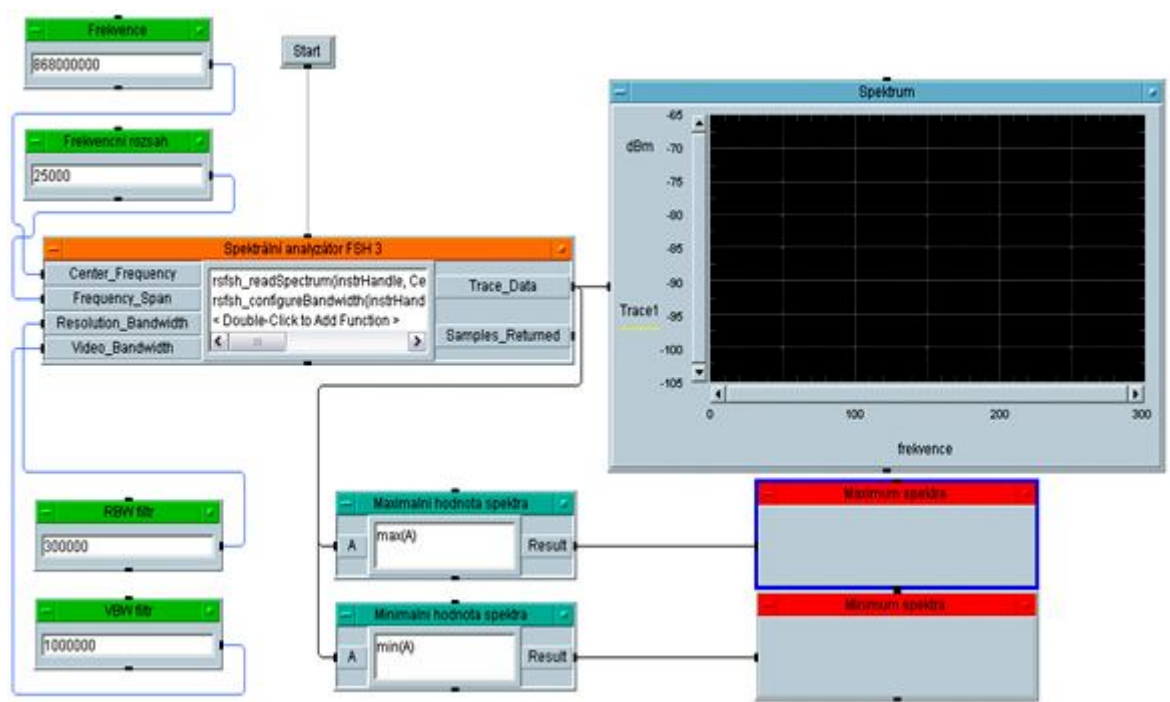
Obr. 39. Detailní pohled vývojového prostředí Agilent Vee Pro 9.2 EVAL

Algoritmus toku dat je v prostředí Agilent Vee dán přesunem dat z jednoho objektu do druhého. Vstupní data jsou do objektu přiváděna vždy z levé strany, zatímco výstup dat je z pravé strany.

5.1.4.1 Objekty v Agilent Vee Pro 9.2 EVAL potřebné k sestavení programu k měření

Pro měření expozice jsem vytvořil program umožňující zobrazení požadovaných hodnot a vyhodnocení signálu vyzařovaného pohonem, který obsahuje několik podstatných objektů. Těmi jsou tlačítko „Start“, které slouží pro spuštění programu, má totožnou funkci, jako tlačítko „Run“ v nástrojové liště. V pomyslném vývojovém diagramu následuje panel „To/From newInstrument“, který je analogií fyzického spektrálního analyzátoru R&S FSH 3. Tento panel pojmenovaný jako „Spektrální analyzátor FSH3“, obsahuje čtveřici vstupů. Prvním vstupem je „Central_frequency“, neboli střední frekvence rovna pracovnímu kmitočtu bezdrátového systému OASIS JA-80. Dalším vstupem je „Frequency_span“ sloužící pro nastavení frekvenčního rozsahu, v němž bude měření prováděno. Pro nastavení citlivosti FSH 3 jsou klíčové vstupy nastavující šířku pásma mezifrekvenčního filtru, neboli „Resolution_Bandwidth“ a „Video_Bandwidth“, který slouží k potlačení amplitudy šumového napětí na výstupu detektoru. Nastavené hodnoty konkrétních

frekvencí jsou na objekt „Spektrální analyzátor FSH3“ přiváděny z objektu „Formula“ pojmenovaného analogicky k danému vstupu. Číselný formát všech formulí je typu integer. Výstup z objektu „Spektrální analyzátor FSH3“ je připojen na objekt „XY Trace“, což je v podstatě display umožňující vizualizaci 2D sledovaného spektra. Výstup Trace_Data je současně přiveden na 2 objekty formula, v nichž je pomocí matematické operace nalezena maximální a minimální hodnota skenovaného spektra. Formule jsou pojmenovány „Maximální hodnota spektra“ a „Minimální hodnota spektra“. Pro konečné zobrazení hledaných hodnot slouží ještě objekt alphanumeric nazvaný „Maximum spektra“ a „Minimum spektra“. Detail všech objektů a jejich vzájemného propojení, tedy grafická prezentace vytvořeného softwaru je na Obr. 40.



Obr. 40. Vnitřní struktura vytvořeného programu potřebného k měření s R&S FSH3

5.2 Prostředí měřeného elektromagnetického blízkého pole trubkového pohonu společnosti Librax

Měření blízkého pole trubkového pohonu bylo prováděno v odborné pracovně D-315, která svým prostředím patří podle normy EN 61000-2-9 do prostředí I. vnitřní. Při expozici dosahovaly atmosférické podmínky hodnot: teplota 21,4 °C, relativní vlhkost 67% a tlak vzduchu 93 kPa. Podle zjištěných atmosférických hodnot je jasné, že prostředí splňuje normu ČSN EN 50130-4.

5.3 Metodika měření blízkého elektromagnetického pole trubkového pohonu společnosti Librax s využitím antény HE 200

U trubkového pohonu od společnosti Librax bylo provedeno měření expozice blízkého elektromagnetického pole. K účelu měření byl využit spektrální analyzátor, který je schopen provést měření ve zvoleném frekvenčním rozsahu určeným pracovním kmitočtem systému OASIS JA-80. NA FSH3 bylo nutné nastavit centrální frekvenci odpovídající pracovnímu kmitočtu OASIS JA-80, kolem níž se provádělo měření, aby byla možnost verifikace naměřených hodnot z hlediska vzájemného ovlivňování bezdrátového zabezpečovacího systému a trubkového pohonu, jako technického prostředku, používaného k plášťové ochraně. Pro měření blízkého pole bylo nutné nastavit frekvenční rozsah, jež musel být totožný, jako u systému OASIS JA-80. Tím docházelo k oříznutí měřeného spektra na startovací kmitočet $f_{\text{Start}} = 867987500$ Hz a stop kmitočet $f_{\text{Stop}} = 868012500$ Hz. Hodnota frekvenčního rozsahu, neboli SPAN pro systém OASIS JA-80 je rovna 25 kHz. Nejdůležitějším parametrem nastavení FSH3 je správná volba šířky pásma mezifrekvenčního filtru RBW (resolution bandwidth) ovlivněná rychlostí přenosu dat a typem modulace. Systém OASIS JA-80 komunikuje s využitím frekvenční modulace FM a rychlostí 9600 Bd (Baud - počet změn signálu za čas). Dalším parametrem s vstupní hodnotou nastavující správnou činnost spektrálního analyzátoru je filtr VBW, neboli Video Bandwidth (šířka pásma videofiltru), který omezuje velikost amplitudy šumového napětí na výstupu detektoru.

Pro měření bylo nutné kromě uvedených přístrojů a datových kabelů sestavit ještě pojízdný výškově stavitelný stojan, který jsem vyrobil. Na tomto stojanu byla umístěna logaritmicko-periodická anténa HE 200 a ke stojce stojanu byl připevněn i samotný spektrální analyzátor. Interference od trubkového pohonu byla snímána anténou HE 200 propojenou se spektrálním analyzátozem pomocí koaxiálního kabelu s charakteristickou impedancí 50Ω . Spektrální analyzátor byl připojen přes RS 232 a redukci UC-232A k notebooku, v němž byl spuštěn vytvořený program v prostředí Agilent Vee Pro 9.2 EVAL. Pro správnou komunikaci notebooku a FSH3 bylo nutné ještě nakonfigurovat, aby se shodovaly přenosové rychlosti na FSH3 a COM1 notebooku. Přenosová rychlost byla zvolena 9600 Baud.

K výrobě stojanu byl použit dřevěný materiál z borovice kleč, to proto, neboť kovový stojan by mohl ovlivnit měření interference trubkového pohonu např. indukci vf napětí na

svou kostru. Podstava stojanu byla z důvodu vyvážení celé posuvné soustavy vybavena gumou, která podstavu zatěžovala a zamezila tak naklánění ramene z důvodu zatížení ramene logaritmicko-periodickou anténou. Pro pohyb v ose x byl podvozek stojanu vybaven čtveřicí ložiskových koleček. Anténa byla přišroubována k ramenu stojanu dvěma šrouby M4 x 50. Výšková nastavitelnost ramene je ± 20 cm okolo středu pohonu, což zaručuje dostatečný počet měření blízkého pole v okolí trubkového pohonu. Na následujících obrázcích (Obr. 41. a Obr. 42.) je vidět, jakým způsobem byla celá měřicí soustava konstruována. V blízkosti pohonu se vyskytuje videotelefon, který byl při měření expozice odpojen od zdroje napájení.



Obr. 41. Měřicí soustava



Obr. 42. Pohled na způsob měření blízkého EMC pole

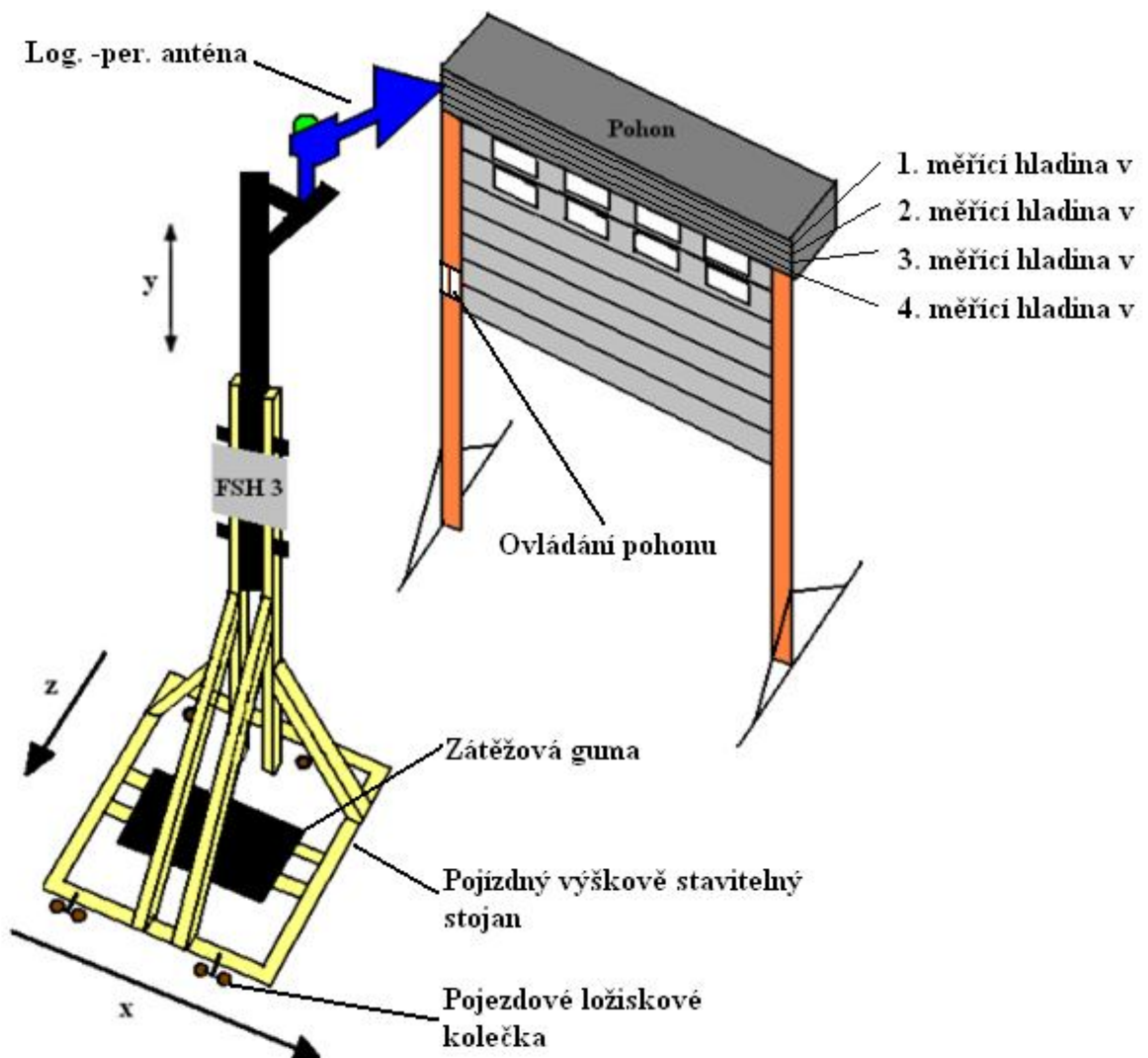
Pro měření blízkého pole bylo nejprve důležité si vypočítat vzdálenost x_g pro určení blízkého pole, přičemž je známa frekvence 868 MHz, na níž pracuje bezdrátový zabezpečovací systém OASIS JA-80.

$$x_g = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{c}{2\pi f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3,14 \cdot 868 \cdot 10^6} = 0,055 \text{ m} \quad [8] \quad (24)$$

Pro blízké pole platí podmínka, že vzdálenost od zdroje x musí být menší, než vzdálenost x_g . Proto tedy byla prováděna měření ve vzdálenosti 1 cm, 3 cm a 5 cm od pohonu ve směru osy z . Pomocí stojanu a posuvného ramene pak byly měněny souřadnice v ose x a y tak, že v ose x bylo provedeno měření expozice vždy s inkrementem 1 cm od předchozího bodu, zatímco ve směru osy y byly provedeny 4 měřící hladiny. Měřící hladiny byly od sebe vzdáleny 1 cm.

Před započítím měření byla zjištěna referenční úroveň daného prostředí. Po nastavení daného počátečního bodu a nastavení všech potřebných výše uvedených hodnot spektrálního analyzátoru mohlo být spuštěno měření. Jelikož má pohon dva aktivní stavy, bylo prováděno měření jak pro odrolování mřížoviny směrem dolů, tak pro narolování mřížoviny na trubkový pohon při pohybu směrem nahoru.

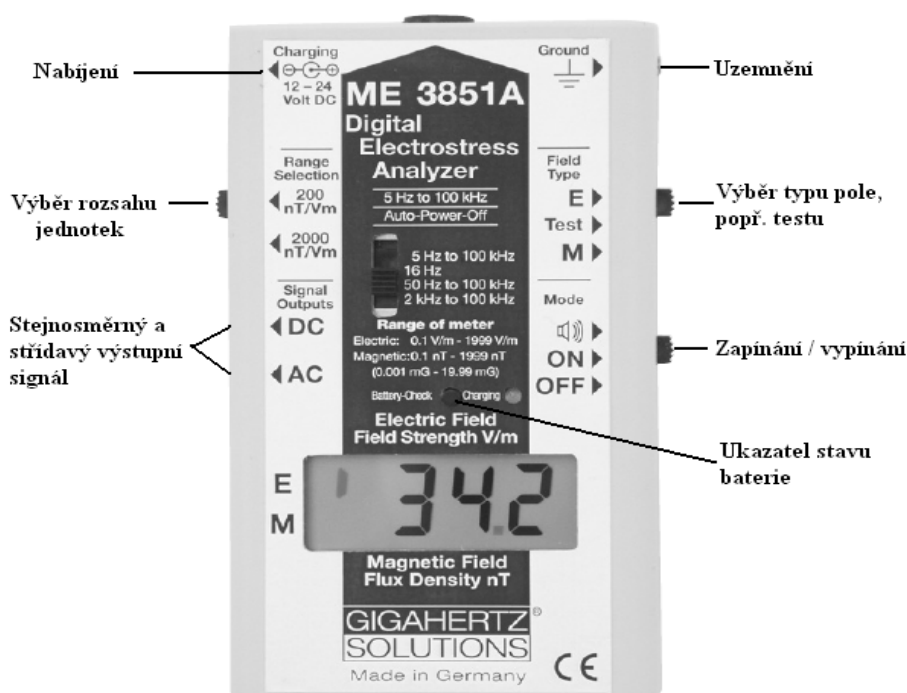
Měření interference trubkového pohonu se spustí stiskem tlačítka „Start“ v programu „program2“. Po stisku startovacího tlačítka je interval 4 sekund, při nichž byl trubkový pohon v pohybu a anténa snímala expozici, přičemž spektrální analyzátor daný signál vyhodnocoval tak, že programu „program2“ vracel 301 úrovní snímaného spektra. Na notebooku bylo v prostředí Agilent Vee Pro 9.2EVAL zobrazeno v objektu „XY Trace“ nasnímané spektrum, přičemž program vyhodnocoval ještě maximální a minimální hodnoty daného spektra, které byly zaznamenávány pro následující vizualizaci a verifikaci. Na následujícím obrázku je vizualizována celá měřící soustava a směry jejího pohybu.



Obr. 43. Metodika snímání expozice v 3D prostoru

5.4 Měření elektromagnetického blízkého pole trubkového pohonu společnosti Librax digitálním elektrosmogem ME 3851A

Pro celkové zjištění elektromagnetického blízkého pole bylo provedeno experimentální měření nízkofrekvenčního spektra s využitím nízkofrekvenčního digitálního elektrosmogu ME 3851A. Digitálním měřičem polí ME 3851A vzniká nová metoda testování elektromagnetických polí. ME 3851A vyhodnocuje střídavé elektrické, i magnetické pole ve frekvenčním rozsahu 5 Hz - 100 kHz. Při měření elektrických polí je nutné, aby byl přístroj uzemněn pomocí zemnicího kabelu, který ústí krokodýlovými svorkami připevněnými např. k potrubí vytápěcí soustavy. Na přístroji je možno volit rozsah 200 nT / V/m, nebo 2000 nT / V/m. Je nutné také zvolit typ pole, který měříme, tedy buď M(magnetické - nT), nebo E(elektrické - V/m). Pro měření je nutné dodržet několik základních zásad, aby nebyly výsledky ovlivněny. Je nutné, aby byl měřicí přístroj správně držen v ruce a zemnicí kabel byl veden zadní stranou, vycházel dlaní a byl spojen např. s potrubím vytápěcí soustavy. Pro zanedbání zkreslení měření je důležité držet přístroj v blízkosti u těla, není povoleno jej držet s nataženou paží. Oba případy správného měření, bez přítomnosti zkreslení, jsou prezentovány na Obr. 45. Na Obr. 44. je zobrazen detail čelního panelu digitálního měřiče elektrosmogu ME 3851A včetně popisu jednotlivých funkcí.



Obr. 44. Popis čelního panelu ME 3851A [25]



Obr. 45. Způsoby držení ME 3851A pro správné měření [25]

5.5 Metodika měření elektromagnetického blízkého pole trubkového pohonu společnosti Librax digitálním elektrosmogem ME3851A

Před započítím měření vyzařování trubkového pohonu je nutné zjistit stacionární referenční hodnotu daného prostoru elektrické i magnetické složky. Poté přístroj vynulovat, vzhledem k referenční hodnotě prostředí. Přístroj může být zcela vynulován, že znázorňuje hodnotu 00,0 na displeji, nebo ukazuje nízkou hodnotu představující odchylku od nuly. Je-li před kalibrací hodnota intenzity elektrického pole větší jak 5 V/m, nebo intenzita magnetického pole větší jak 5 nT, pak je pozadí prostředí nenulové. Pro celý tento proces nulování je nutné ME 3851A po zapnutí přepnout v režimu „Field type“ na test, jimž se provede daná kalibrace.

5.5.1 Metodika měření blízkého střídavého elektrického pole trubkového pohonu

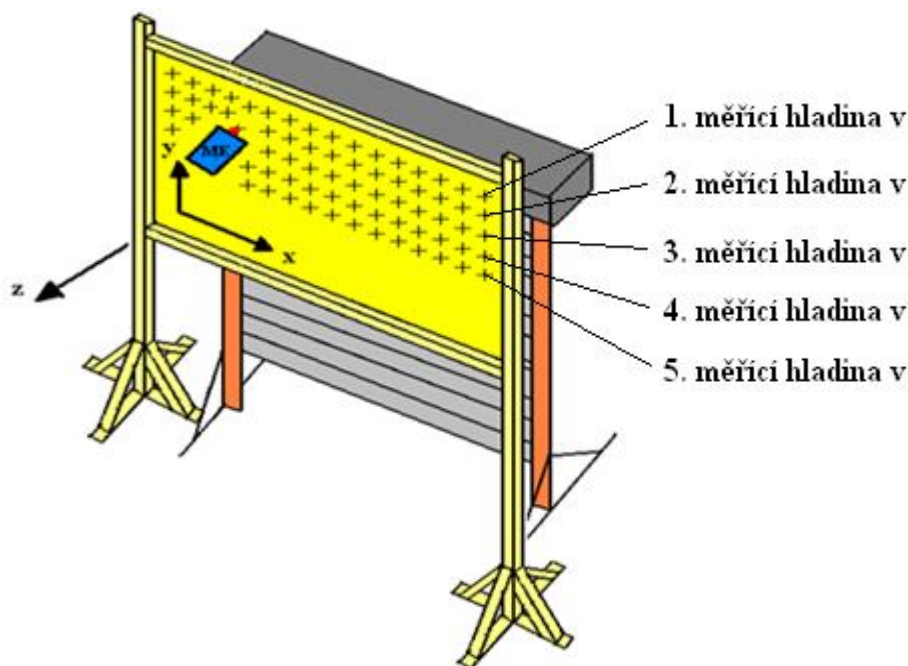
Po provedení kalibrace je nutné přepnout „Field type“ na polohu E, tedy měření intenzity blízkého střídavého elektrického pole. Dalším krokem je vhodně nastavit frekvenční filtr snímaného pásma. Nejlepšího nastavení je dosaženo filtrem 50 Hz - 100 kHz, který dokáže potlačit třes rukou. Měřicí přístroj ME 3851A je možné držet v ruce, nebo jej umístit na stativ. Klíčovou podmínkou zamezující ovlivnění měření intenzity elektrického pole je uzemnění přístroje, např. na trubkové vedení vytápěcí soustavy. Na následujícím obrázku je znázorněn způsob měření elektrické intenzity vzhledem k měřenému systému v půdorysném pohledu.

Trubkový pohon



Obr. 46. Způsob měření intenzity elektrického pole v půdorysném pohledu

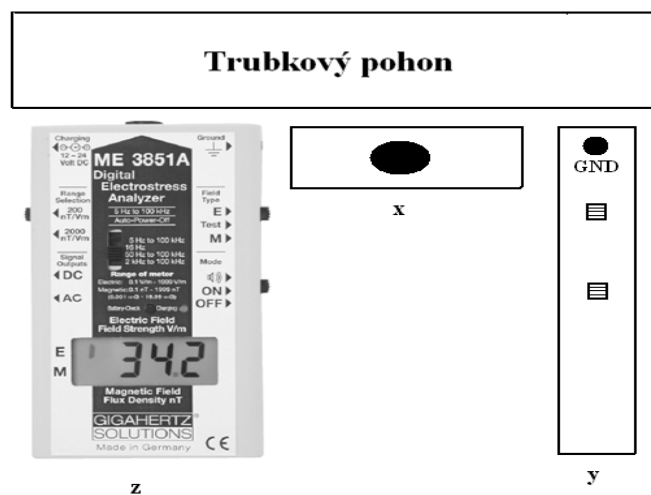
Metodika měření pohonu v daných bodech je obdobná jako u měření s využitím spektrálního analyzátoru FSH3. Místo pojízdného stojanu jsou použity dvě dřevěné stojky, vzájemně propojené vzpěrou, přičemž ve výšce pohonu je mezi stojkami rozvinut papír s předem vyznačenými body, v nichž bude probíhat měření. V horizontální i vertikální rovině je inkrement mezi jednotlivými body roven 1 cm. Počet vertikálních hladin je 5. Stejně, jako u stojanu, i tato soustava je pohyblivá v souvislosti se vzdáleností od trubkového pohonu, aby bylo možné verifikovat naměřená data v závislosti na odstupu. Celá měřicí soustava je znázorněna na následujícím obrázku.



Obr. 47. Znázornění metodiky měření pomocí ME 3851A

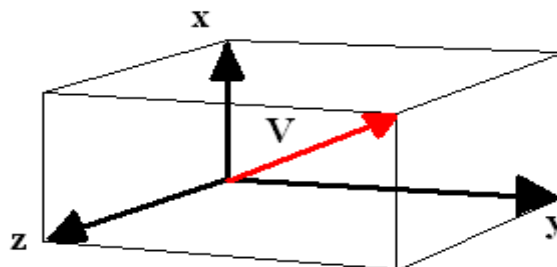
5.5.2 Metodika měření blízkého střídavého magnetického pole trubkového pohonu

Na začátku měření je nutné posunout v poli „Field type“ přepínač na polohu M, tedy měření intenzity blízkého střídavého magnetického pole. Dalším krokem je vhodně nastavit frekvenční filtr snímaného pásma. Nejlepšího nastavení je dosaženo filtrem 50 Hz - 100 kHz, který dokáže potlačit třes rukou. U měření intenzity blízkého magnetického pole není nutné uzemnění přístroje k vytápěcí soustavě. Na následujícím obrázku je znázorněn způsob měření elektrické intenzity vzhledem k měřenému systému v půdorysném pohledu.



Obr. 48. Směry měření intenzity magnetického pole v jednom bodě v půdorysném pohledu

Intenzita magnetického pole trubkového pohonu se skládá z trojdimenzionální složky dílčích intenzit. Matematicky lze výslednou intenzitu chápat jako druhou odmocninu součtu druhých mocnin dílčích intenzit. Na následujícím obrázku je to patrné z vektorové prezentace dílčích intenzit magnetického pole.



Obr. 49. Výsledná intenzita magnetického pole

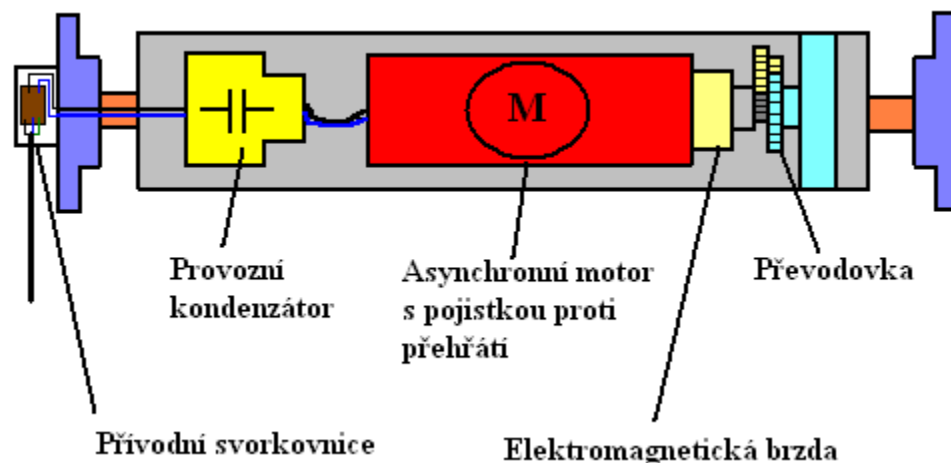
$$V = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad [25] \quad (25)$$

6 VIZUALIZACE A VERIFIKACE NAMĚŘENÝCH DAT

Vizualizace naměřených dat elektrické intenzity \vec{E} při měření expozice blízkého pole s využitím logaritmicko-periodické antény a FSH3 spektrálního analyzátoru je prováděna v prostředí Matlab. Prostředí Matlab je primárně určeno pro číselné výpočty, provádění modelů určitých situací, využívá se také pro simulování průběhů určitých funkcí a je součástí i několika jiných programových nástrojů. Příkladem implementace v jiném prostředí je například software Agilent Vee Pro 9.2 EVAL. Princip činnosti Matlabu je orientován na práci s maticemi. V diplomové práci jsem použil prostředí Matlab pro vizualizaci a následnou verifikaci naměřených hodnot v oblasti blízkého pole trubkového pohonu od společnosti Librax. Vizualizovány jsou hodnoty intenzity elektrického pole \vec{E} v oblasti pracovního kmitočtu OASIS868 MHz a také intenzity elektrického pole \vec{E} a intenzity magnetického pole \vec{H} nízkofrekvenční oblasti vyzařování trubkového pohonu (50 Hz - 100kHz).

Pro verifikaci naměřených hodnot trubkového pohonu je nutné znát vnitřní skladbu daného pohonu. Trubkový pohon je pohon určený k manipulaci mřížových výpletů, přičemž frekvence chodu pohonu není příliš vysoká. Celá koncepce pohonu je navržena tak, že k aktivaci pohonu dochází 2 x denně. Většinou jde o aktivaci při započetí pracovního procesu, např. v obchodních centrech, nebo k otevření vstupu v prostředí bank, kde jsou dané prostory střeženy ještě dalšími zabezpečovacími systémy, nebo při ukončení pracovního procesu, při opětovném zastřežení daného prostupu. U častějšího používání trubkového pohonu dochází k aktivaci tepelné pojistky chránící pohon proti přehřátí a následnému spálení vinutí, tedy destrukci.

Trubkový pohon Librax má průměr 80 mm. Uvnitř těla je integrován provozní kondenzátor pro pomocné vinutí. Z provozního kondenzátoru je napájeno pomocné vinutí asynchronního jednofázového motoru. Na blok asynchronního motoru navazuje třístupňová planetová převodovka. Převodovka je vybavena mazací náplní na celou dobu životnosti, je tedy bezúdržbová. Blok motoru a převodovky je spojen pomocí elektromagnetické brzdy určené k zastavení bez doběhu motoru. Vnitřní skladba trubkového pohonu je zobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 50. Vnitřní skladba pohonu Librax

6.1 Verifikace a vizualizace dat naměřených soustavou FSH3 a HE200

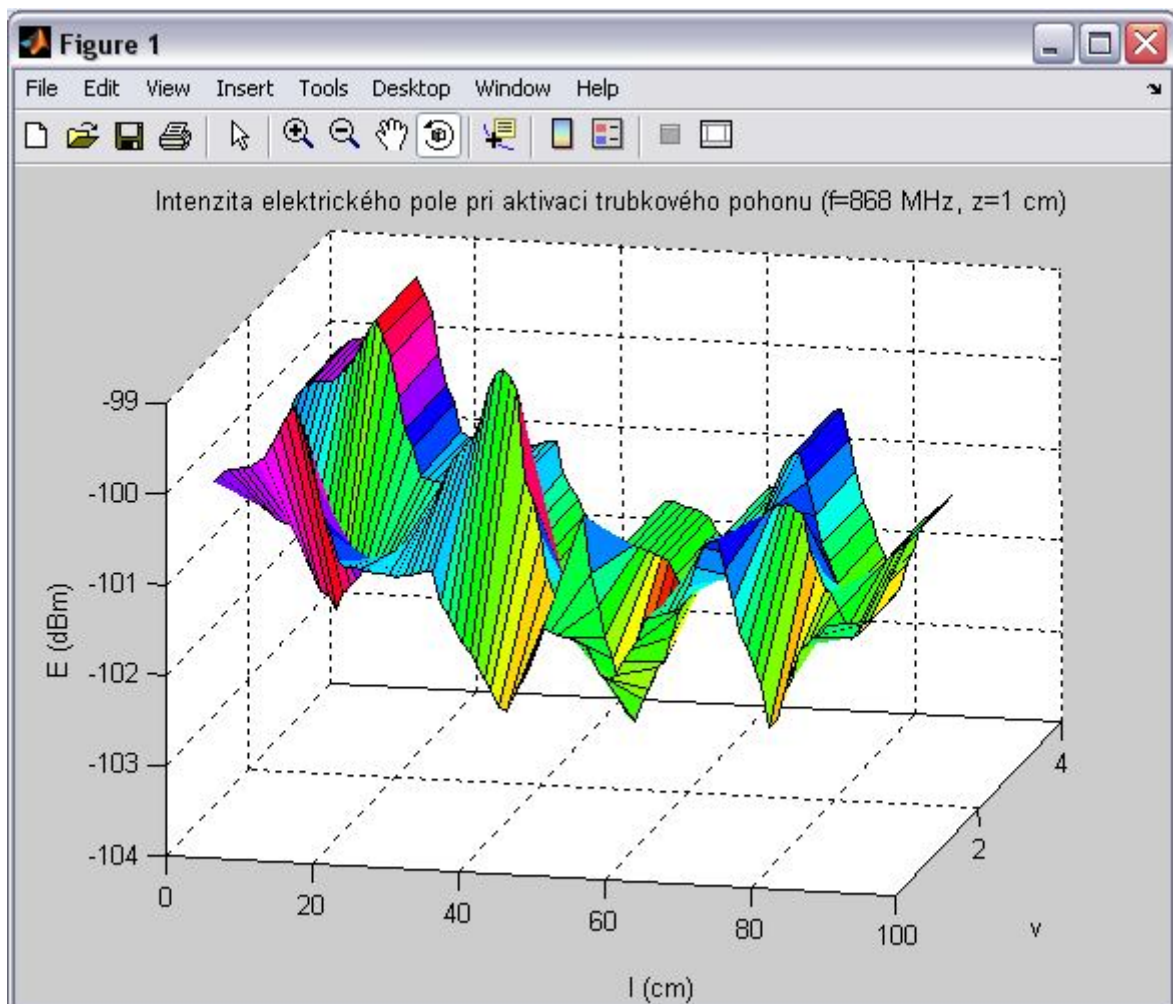
Měření expozice vyzařování trubkového pohonu probíhalo pro dva stavy. Prvním stavem bylo měření vyzařování pro pohyb mřížoviny směrem dolů a druhým pohyb mřížoviny směrem nahoru. Pro pohyb pohonu, kdy navíjel mřížovinu na válec, se očekávalo, že bude EMI daleko vyšší, než při pohybu dolů, kdy není motor natolik zatížen, neboť jeho pohybu pomáhá ještě gravitační síla působící na mřížový výplet. Z měření jsem však zjistil, že elektromagnetické vyzařování trubkového pohonu v oblasti 868 MHz je pro oba stavy pohybu totožné. Byly snímány jak maximální, tak minimální hodnoty s inkrementem 1cm, přičemž většího rozdílu mezi jednotlivými provozními stavy bylo dosaženo pro minimální hodnoty daného spektra.

V prostředí laboratoře bylo provedeno, před samotným započítáním měření EMI trubkového pohonu, měření referenčních hodnot prostředí. Z provedeného měření byla vyhodnocena maximální i minimální hodnota intenzity elektrického pole \vec{E} . Maximální hodnota snímaného spektra byla -78 dBm, přičemž minimální úroveň snímaného spektra dosahovala hodnoty - 119 dBm.

6.1.1 Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 1$ cm od pohonu

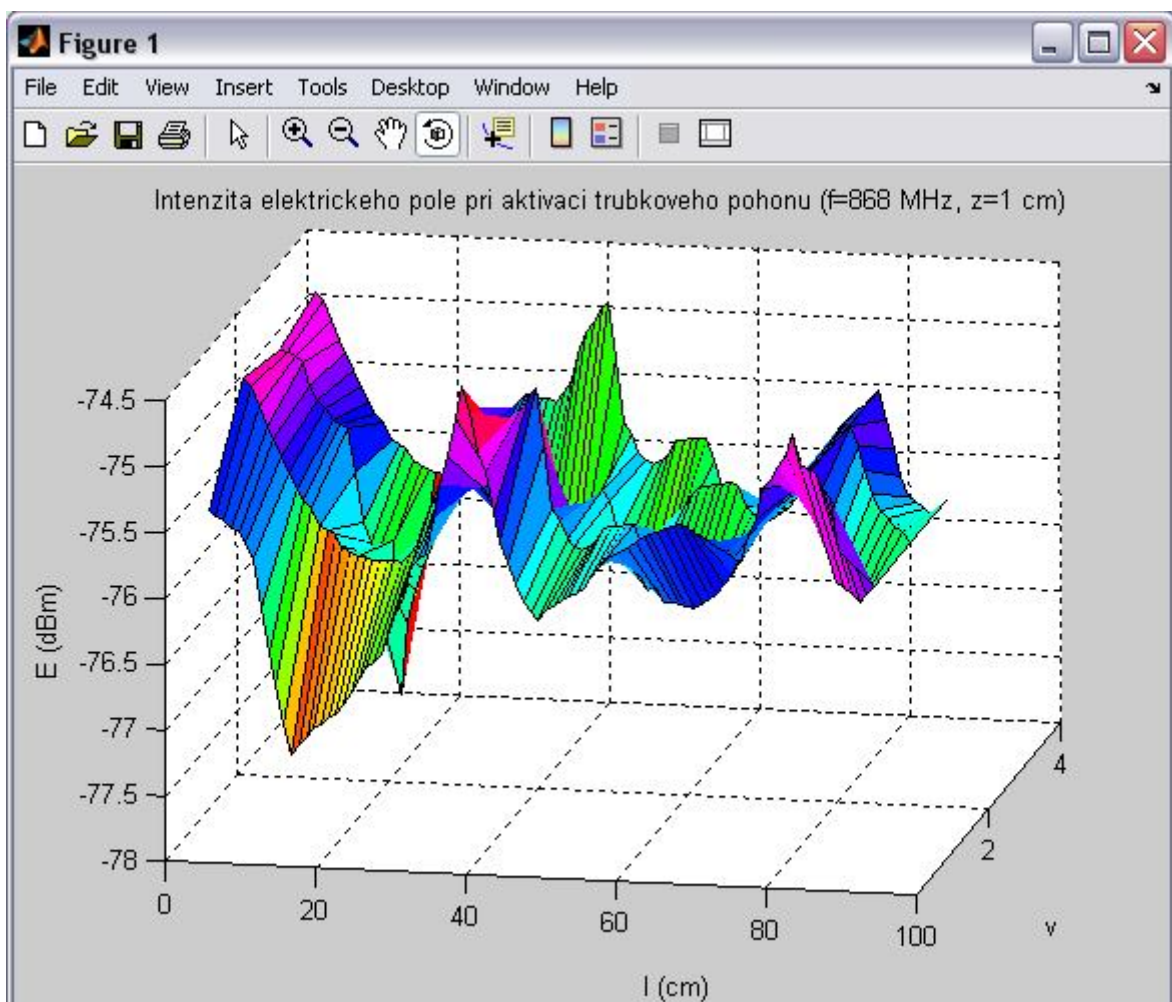
Na následujícím 3D grafu je zobrazena expozice ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu. Jedná se o minimální hodnoty snímaného spektra. Z Grafu 1 je patrné, že intenzita elektrického pole \vec{E} dosahuje ve vzdálenosti $l=15$ cm, v podélném řezu pohonu, tzv. peaku (špičky) v měřící hladině $v=1$, $v=3$ a $v=4$. V této vzdálenosti se nachází provozní

kondenzátor napájecí pomocné vinutí pohonu, přičemž úroveň $\vec{E} = -99,48$ dBm. Pro hodnotu délky $l=33$ cm nastává v druhé měřící hladině opětovný nárůst intenzity elektrického pole z hodnoty -102 dBm na hodnotu $-99,45$ dBm zapříčiněný elektrickým polem vyskytujícím se na přívodních svorkách trubkového pohonu. V oblasti podélného řezu pro $l=40 - 65$ cm se pohybují hodnoty \vec{E} na pomezí $-101,5$ dBm. K opětovnému nárůstu intenzity elektrického pole dochází při hodnotě $l=70$ cm. Nárůst hodnot je způsoben elektromagnetickou brzdou, která kolem sebe vytváří při pohybu trubkového pohonu elektrické pole. Hodnota \vec{E} je v této vzdálenosti ve všech měřících hladinách v téměř totožná a dosahuje úrovně $-100,5$ dBm.



Graf. 1. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu

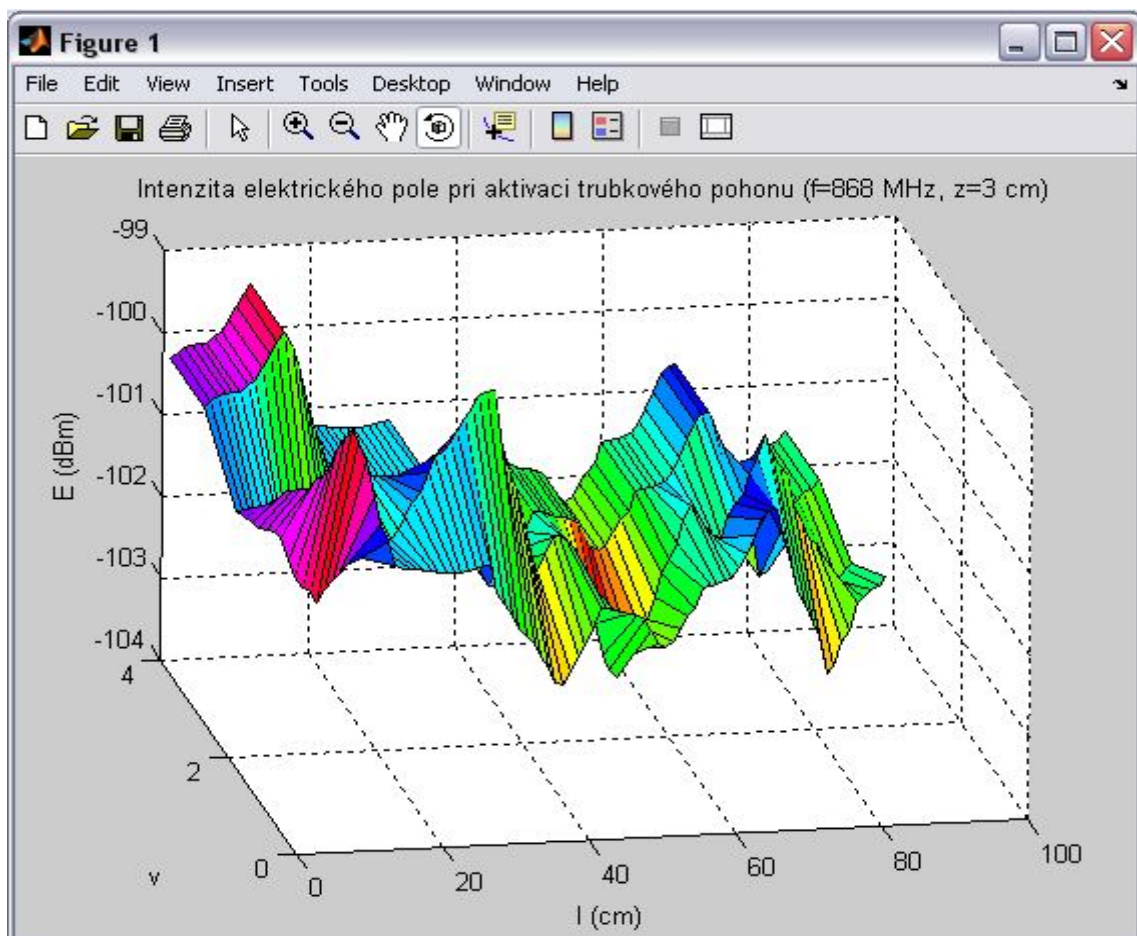
V grafu 2 jsou zobrazeny maximální hodnoty stejného snímaného spektra pro vzdálenost blízkého pole $z=1$ cm. Je patrné, že maximální hodnoty vyjadřují totožnou reakci intenzity elektrického pole \vec{E} v závislosti na vnitřní skladbě trubkového pohonu Librax. Ve vzdálenosti $l=15$ cm nastává opět špička, která dosahuje hodnot -75 dBm. Avšak v místě, kde se vyskytují přírodní svorky trubkového pohonu je intenzita elektrického pole ještě vyšší, konkrétně $-74,6$ dBm. K poslednímu peaku, vzhledem k podélnému řezu trubkového pohonu, dochází ve vzdálenosti $l=70$ cm, ve které je umístěna elektromagnetická brzda vytvářející elektrické pole v aktivním stavu pohonu. Úroveň intenzity elektrického pole je v blízkosti elektromagnetické brzdy rovna $-74,8$ dBm.



Graf. 2. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu

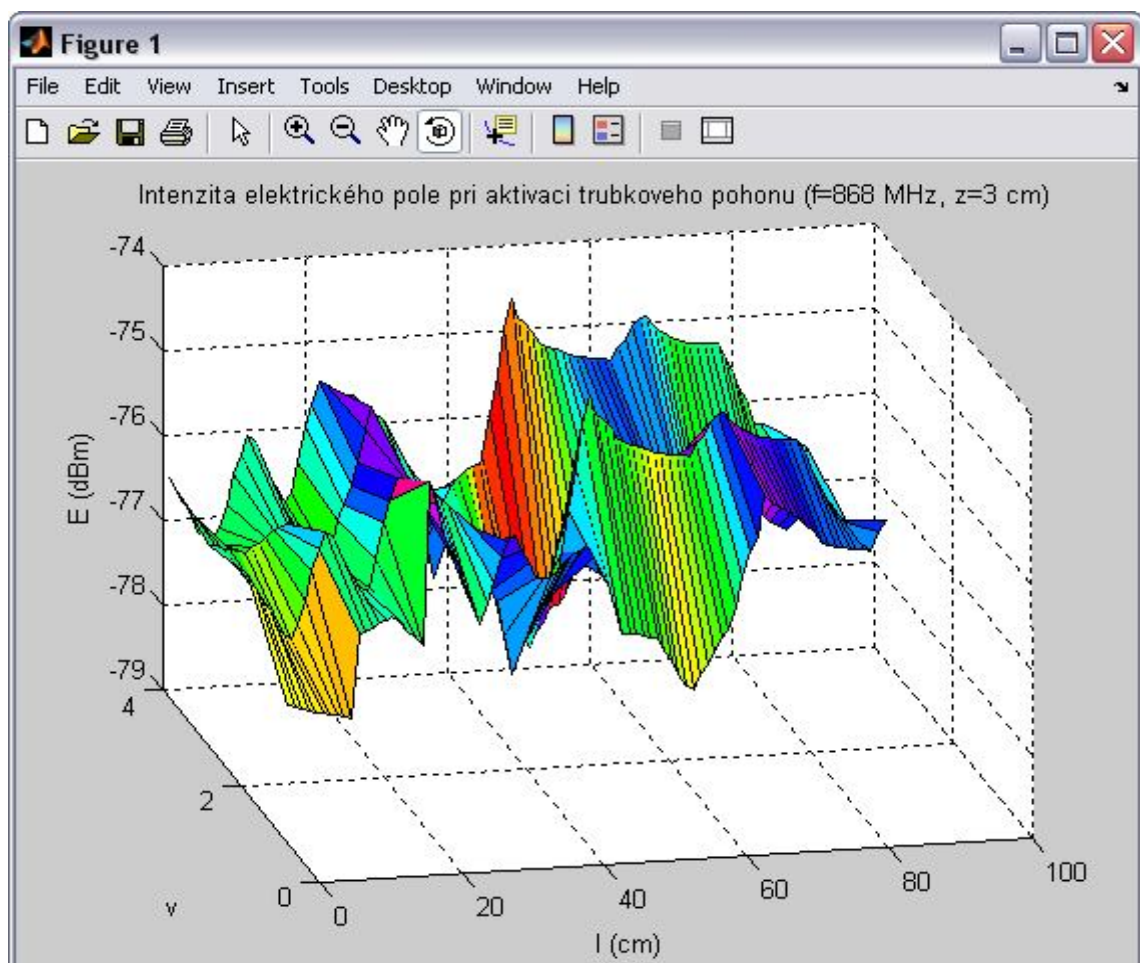
6.1.2 Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 3$ cm od pohonu

Ve vzdálenosti $z = 3$ cm od trubkového pohonu je v první, třetí a čtvrté hladině v dosaženo peaku pro $l = 15$ cm. Intenzita elektrického pole nabývá hodnot $-99,2$ dBm. Pro hladinu 2 je značný propad úrovně na hodnotu $-102,2$ dBm. Oproti měření prováděnému ve vzdálenosti $z = 1$ cm je zde patrná změna o $0,25$ dBm, což je dáno větší vzdáleností od zdroje EMI. V oblasti přívodní svorkovnice k trubkovému pohonu dochází opět k nárůstu \vec{E} . Největší zaznamenaná změna je pro hladinu $v = 2$, kde dosahuje \vec{E} hodnoty $-99,7$ dBm. V oblasti rozsahu vzdálenosti $l = 42 - 60$ cm je značný pokles \vec{E} . Avšak při přibližování k elektromagnetické brzdě intenzita elektrického pole znovu ve všech čtyřech měřených hladinách v narůstá až na hodnotu $-100,45$ dBm. V celkovém 3D zobrazení je nejsilnější úroveň rušivého signálu, z pohledu intenzity elektrického pole, v okolí pomocného kondenzátoru. Celá tato situace pro minimální hodnoty snímaného spektra je zřetelná z Grafu 3.



Graf. 3. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z = 3$ cm od trubkového pohonu

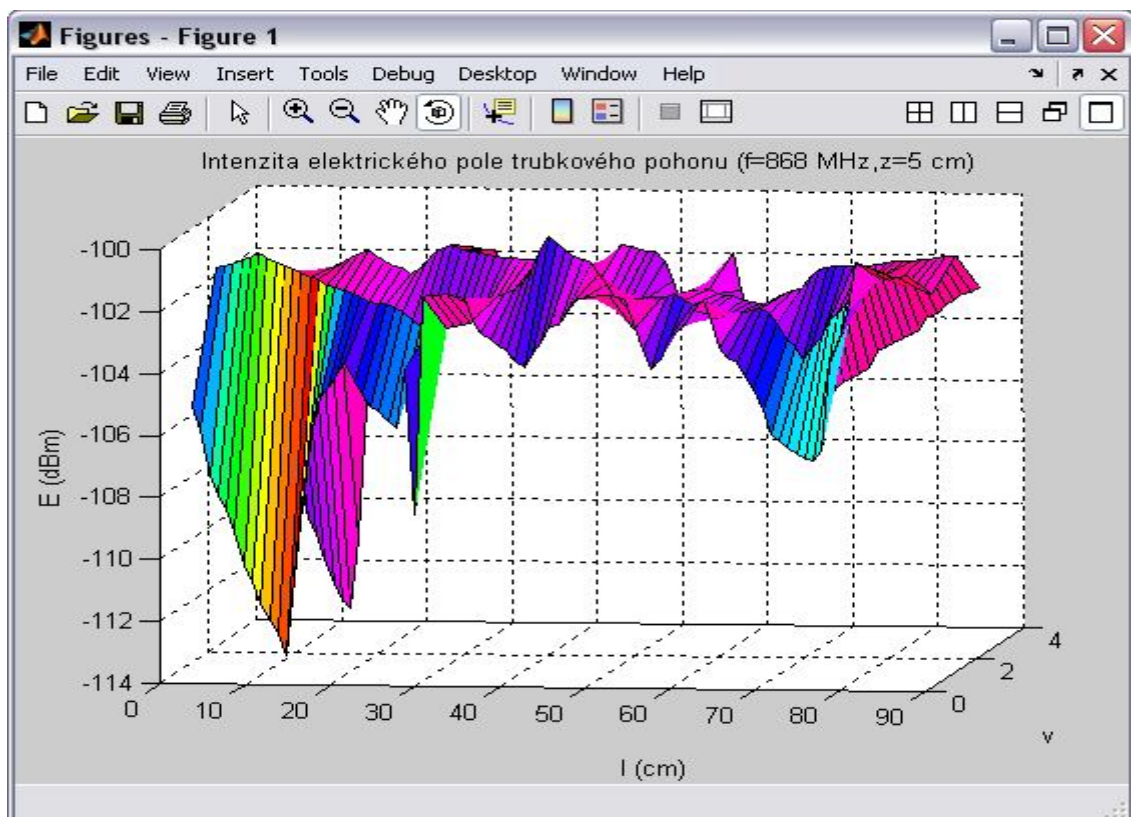
V grafu 4 jsou vizualizovány maximální hodnoty \vec{E} pro měření expozice ve vzdálenosti $z=3$ cm. Oproti předešlým grafům se zde snížila intenzita elektrického pole \vec{E} v oblasti provozního kondenzátoru ležícího v podélném průřezu pohonu ve vzdálenosti $l=15$ cm, kde je úroveň intenzity elektrického pole $-76,05$ dBm. K velkému nárůstu však došlo na pomezí svorkovnice trubkového pohonu a jeho těla. Ve vzdálenosti $l=38$ cm dochází u druhé a čtvrté měřicí hladiny ke zvýšení \vec{E} z hodnot $-75,75$ dBm na $-74,5$ dBm. V porovnání s měřením ve vzdálenosti $z=1$ cm je pro oblast pohonu nárůst o $1,2$ dBm na druhé a čtvrté měřicí hladině ve vzdálenosti $l=38$ cm. V oblasti $l=50 - 63$ cm dochází k pozvolnému poklesu úrovně \vec{E} . Avšak ve vzdálenosti, v níž je umístěna elektromagnetická brzda, nastává opět nárůst intenzity elektrického pole ve druhé a čtvrté hladině v na hodnotu $-74,9$ dBm. Úroveň \vec{E} v oblasti třístupňové převodovky dále sestupně klesá k hodnotě $-75,7$ dBm.



Graf. 4. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=3$ cm od trubkového pohonu

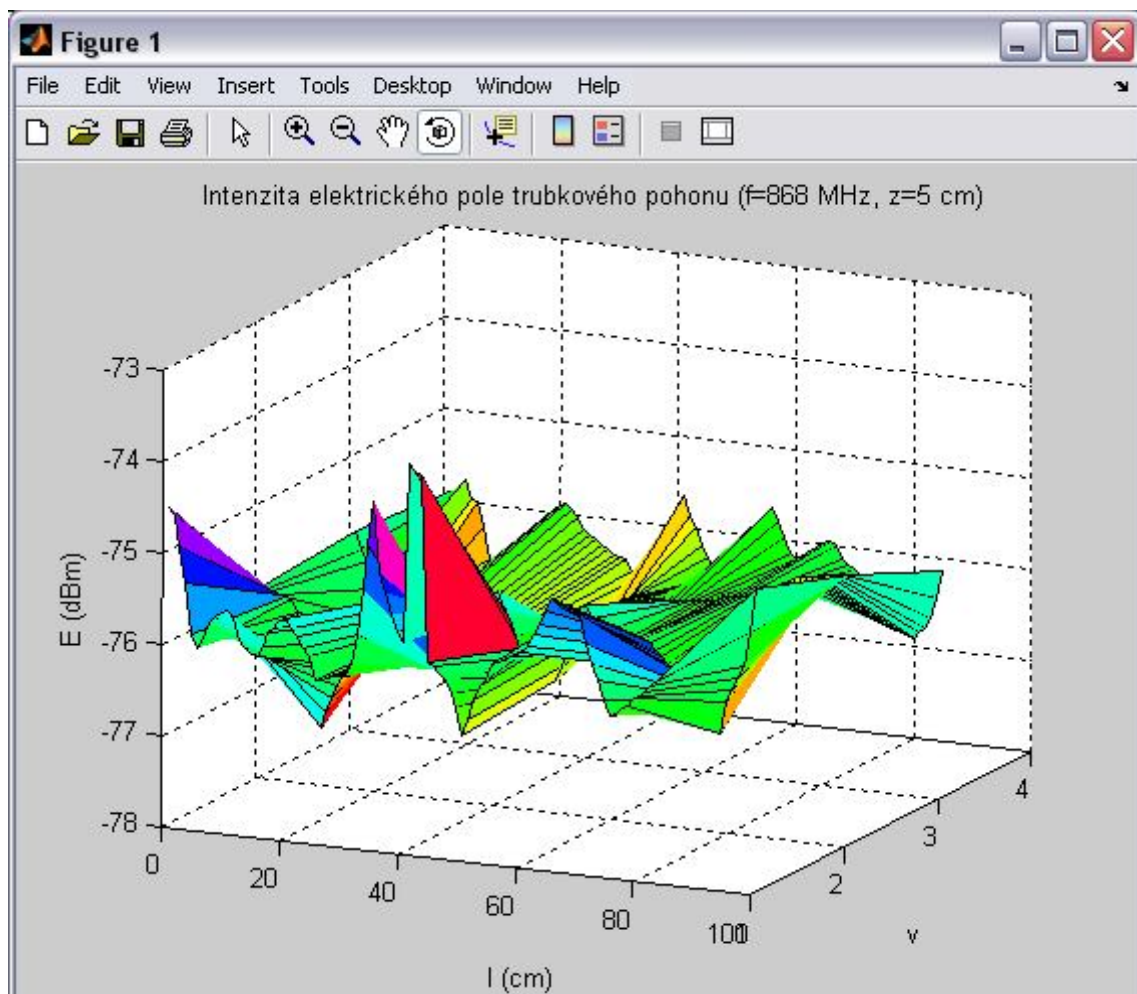
6.1.3 Vizualizace a verifikace dat ve vzdálenosti $z = 5$ cm od pohonu

Graf 5 zachycuje situaci měření blízkého pole trubkového pohonu ve vzdálenosti $z=5$ cm od pohonu. V grafu jsou zobrazeny minimální hodnoty snímaného spektra. Presentace intenzity elektrického pole \vec{E} je naprosto odlišná od grafů uvedených výše. Ve vzdálenosti $z=5$ cm a $l=15$ cm dochází ke značnému poklesu úrovně elektrické složky. K poklesu dochází v první a čtvrté měřící hladině, kdy hodnota intenzity elektrického pole klesá na úroveň $-113,2$ dBm. Z porovnání s grafem 3 vyplývá, že s narůstající vzdáleností klesá interference provozního kondenzátoru. Významnou částí je oblast ve vzdálenosti $l=38$ cm, kde se nachází svorkovnice a přilehlá část těla trubkového pohonu. Intenzita elektrického pole je v této oblasti rovna $-100,2$ dBm. V podélném řezu, pro hodnoty $l=39 - 85$ cm, již nedochází k významnému nárůstu \vec{E} . Z Grafu 5 vyplývá, že hodnoty intenzity elektrického pole trubkového pohonu s narůstající vzdáleností z , ve směru od trubkového pohonu, klesají.



Graf. 5. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=5$ cm od trubkového pohonu

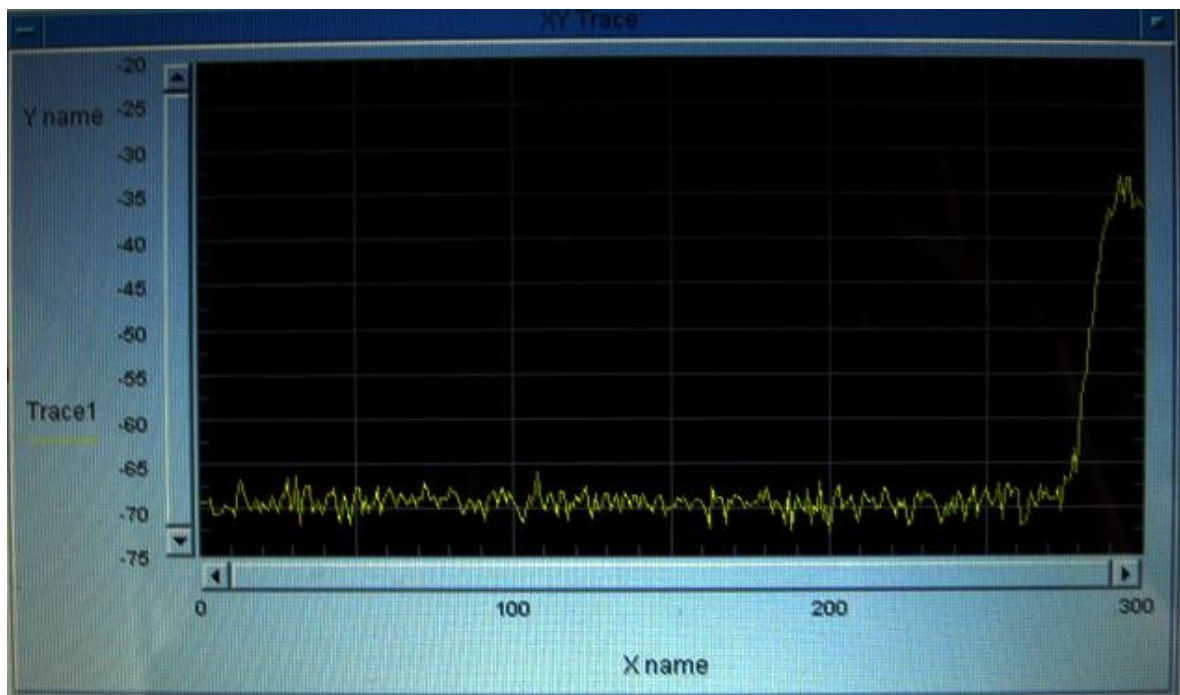
Graf 6 prezentuje maximální hodnoty intenzity elektrického pole trubkového pohonu ve vzdálenosti $z=5$ cm. Hodnoty intenzity elektrického pole \vec{E} v oblasti provozního kondenzátoru jsou stejné, jako v Grafu 5, nízké úrovně ve všech měřených hladinách v. Patrný nárůst, v první měřené hladině, lze sledovat v podélné oblasti až ve vzdálenosti $l=33$ cm na hodnotu $-74,15$ dBm. Tato špička je způsobena přívodními svorkami k připojení napájecího kabelu trubkového pohonu. Po peaku následuje snížení intenzity \vec{E} a ve vzdálenosti $l=38$ cm podélného řezu dochází k opětovnému zvýšení úrovně intenzity elektrického pole na hodnotu $-73,65$ dBm. Nárůst je způsoben netěsností krytu válcového těla asynchronního motoru. V oblasti $l=47 - 60$ cm je úroveň \vec{E} nízká, konkrétně $-75,8$ dBm. Při dalším navyšování inkrementu vzdálenosti l , až na hodnotu $l=70$ cm, dochází opět ke zvýšení \vec{E} , především v první a čtvrté měřící hladině na hodnotu $-74,9$ dBm. Zvýšení je reakcí na činnost elektromagnetické brzdy.



Graf. 6. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=5$ cm od trubkového pohonu

6.1.4 Peaky v blízkosti pracovního kmitočtového spektra 868 MHz

Výše uvedené grafy, Graf 1 - Graf 6 reprezentují vizualizaci snímaného spektra v kmitočtovém rozsahu 867987500 Hz - 868012500 Hz. Pro prozkoumání spektra v blízkosti kmitočtového rozsahu jsem se rozhodl rozšířit frekvenční rozsah v okolí pracovního kmitočtu 868 MHz. Na frekvenci 867987000 Hz docházelo v oblasti vzdálenosti $l = 38$ cm ve třetí měřicí hladině v k výraznému nárůstu intenzity elektrického pole \vec{E} z hodnoty -75 dBm na hodnotu -32,51 dBm.



Obr. 51. Špička snímaného spektra EMI trubkového pohonu

6.1.5 Určení chyby měření pro soustavu FSH3 a HE 200

Pro měření, k němuž byla využita měřicí soustava spektrálního analyzátoru FSH3 a logaritmicko-periodické antény bylo provedeno 9 shodných měření ve stejném měřicím bodě, abych zjistil chybu měření. Chyba měření je statisticky vyhodnocena pomocí směrodatné odchylky měření, která je ukazatelem, do jaké míry se od sebe liší měřená data. Jedná se o rozptyl dat v okolí centrální naměřené hodnoty. Pro výpočet byl použit následující vzorec:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 103512,7 - 931611}{81}} = 0,189 \quad [28] \quad (25)$$

kde:

n..... počet naměřených hodnot

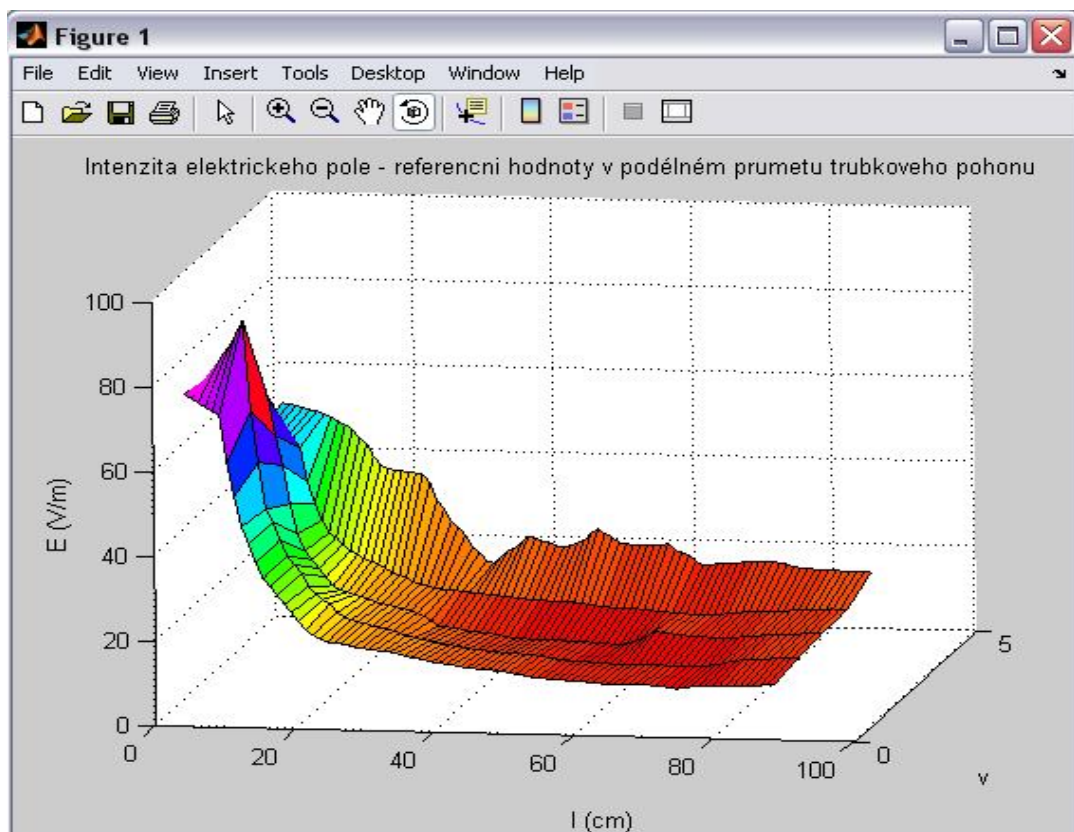
x..... konkrétní naměřená data

6.2 Vizualizace a verifikace dat naměřených digitálním elektrosmogem ME 3851A

Pomocí digitálního elektrosmogu bylo provedeno experimentální měření elektromagnetického pole v oblasti nižších frekvencí. Abych zjistil celkovou interferenci trubkového pohonu, rozhodl jsem se pomocí digitálního měřicího přístroje ME 3851A změřit intenzitu střídavého elektrického pole \vec{E} a intenzitu střídavého magnetického pole \vec{H} v kmitočtovém rozsahu 50 Hz - 100 kHz, tedy nízkofrekvenční složku vyzařování trubkového pohonu. Měření interference bylo prováděno ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu.

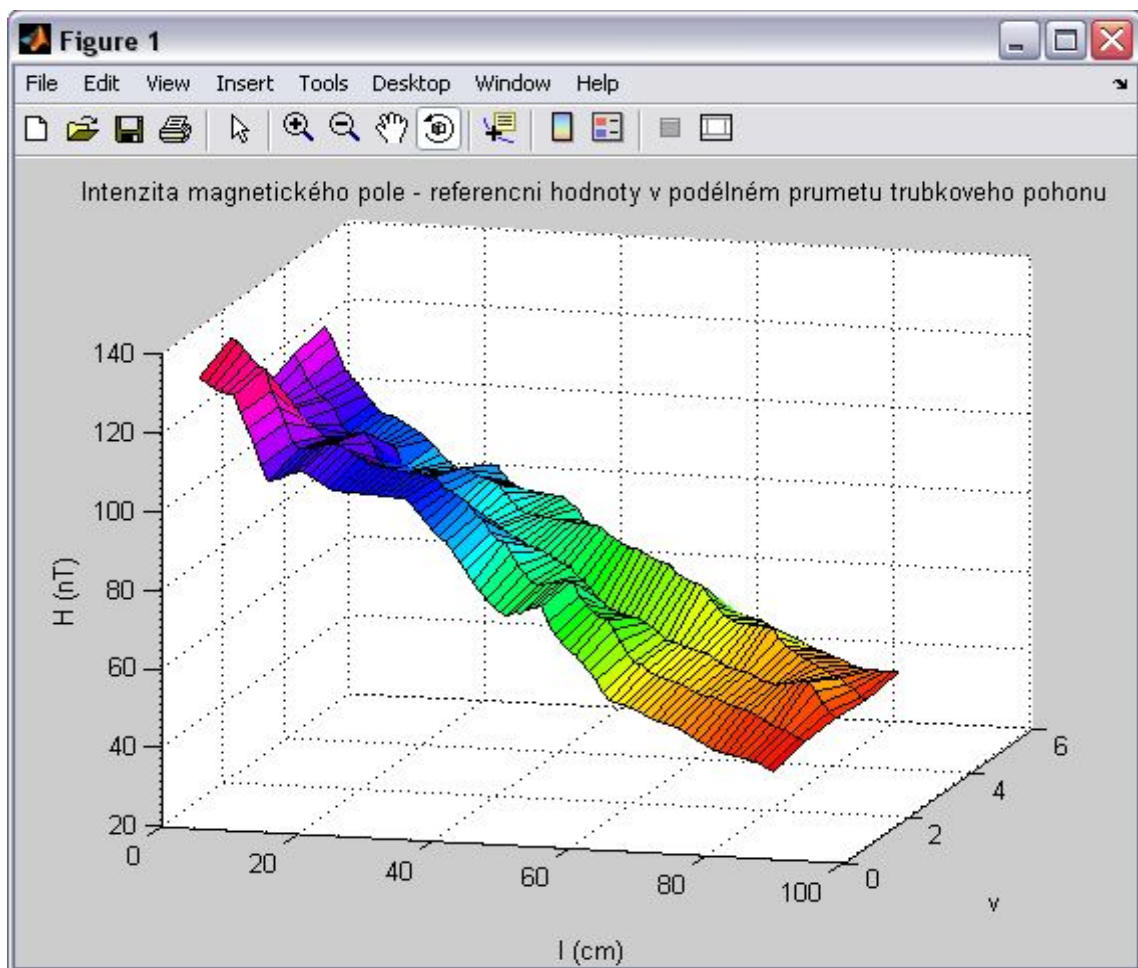
6.2.1 Vizualizace a verifikace dat stacionárního elektrického a magnetického pole

Digitálním elektrosmogem ME 3851A byla nejprve změřena referenční intenzita stacionárního pole trubkového pohonu ve vzdálenosti $z=1$ cm. Intenzita elektrického pole \vec{E} , při neaktivní činnosti trubkového pohonu je zobrazena v Grafu 7. Z Grafu 7 je patrné, že nejvyšší intenzita elektrického pole, tzv. peak je ve druhé měřicí hladině a dosahuje hodnoty 86 V/m. V této oblasti, tedy vzdálenosti $l=2$ cm se nachází přívodní svorkovnice od napájecího kabelu, z níž je veden přívod k provoznímu kondenzátoru. V rozmezí vzdáleností $l=3-25$ cm dochází k exponenciálnímu poklesu a v první, druhé, třetí a čtvrté hladině se neprojevuje žádná vnitřní součást trubkového pohonu. V páté měřicí hladině je už ovšem viditelný nepatrný vliv netěsnosti krytu pohonu, kdy dochází k nárůstu elektrické intenzity z hodnoty 10 V/m na 21 V/m.



Graf. 7. Podélný průmět intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu

V Grafu 8 je zobrazena intenzita stacionárního magnetického pole trubkového pohonu. Maximální špičky je dosaženo ve vzdálenosti $l=2$ cm ve druhé měřicí hladině. V této vzdálenosti l je montována přívodní svorkovnice od napájecího kabelu. Hodnota peaku je 132 nT. Ve druhé, třetí a čtvrté měřicí hladině dochází k poklesu \vec{H} a další peak nastává až v páté měřicí hladině a dosahuje hodnoty 117 nT. V rozsahu $l=10-85$ cm se intenzita magnetického pole rovnoměrně ve všech hladinách snižuje až na konečnou hodnotu 36 nT. Největší intenzita magnetického pole byla stejně, jako u předchozího Grafu 7 v oblasti přívodní svorkovnice, ze které je dále napájen provozní kondenzátor.

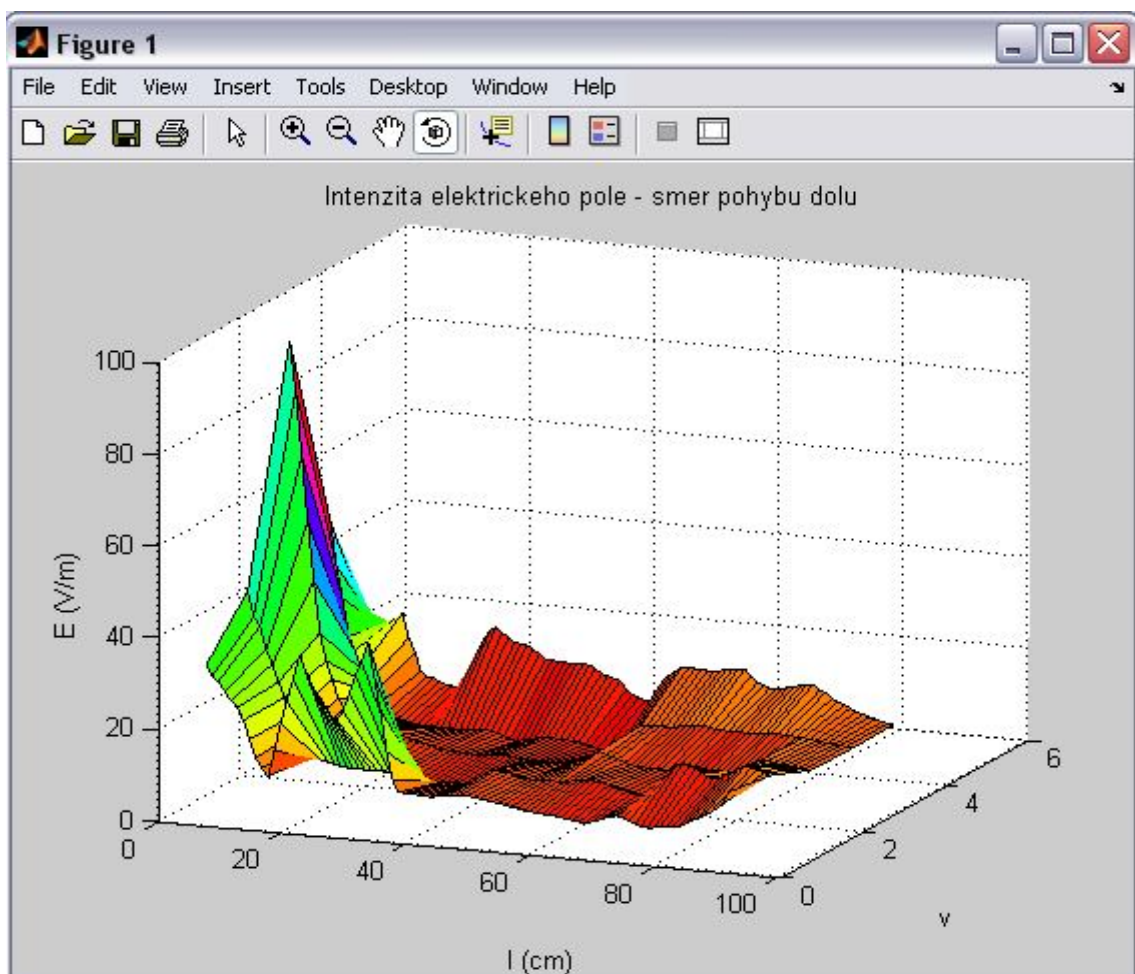


Graf. 8. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu

6.2.2 Vizualizace a verifikace dat intenzity elektrického pole ve 2 aktivních stavech

Intenzita elektrického pole byla měřena ve dvou aktivních stavech. První měření probíhalo při pohybu mřížoviny směrem dolů, kdy na výkon motoru působila pozitivně vlastní tíha mřížového výpletu. Pohybem mřížoviny směrem nahoru, kdy měl motor větší odpor, než v prvním případě, byl vymezen druhý aktivní stav. V Grafu 9 je zobrazena intenzita elektrického pole trubkového pohonu při pohybu mřížoviny směrem dolů. Při aktivním stavu trubkového pohonu, kdy dochází k odrolování mřížoviny z válce pohonu je peak intenzity elektrického pole ve třetí měřící hladině a vzdálenosti $l=3$ cm. Tato špička nabývá hodnoty 91 V/m. Ve stejné vzdálenosti jsou úrovně elektrické intenzity zrcadlově rozloženy kolem třetí měřící hladiny. Špička druhé a čtvrté měřící hladiny dosahuje hodnoty 40 V/m a špička první a páté hladiny hodnoty 25 V/m. Špičky elektrické intenzity ve vzdálenosti $l=3$ cm reprezentují elektrické pole vytvářené v okolí přívodní svorkovnice.

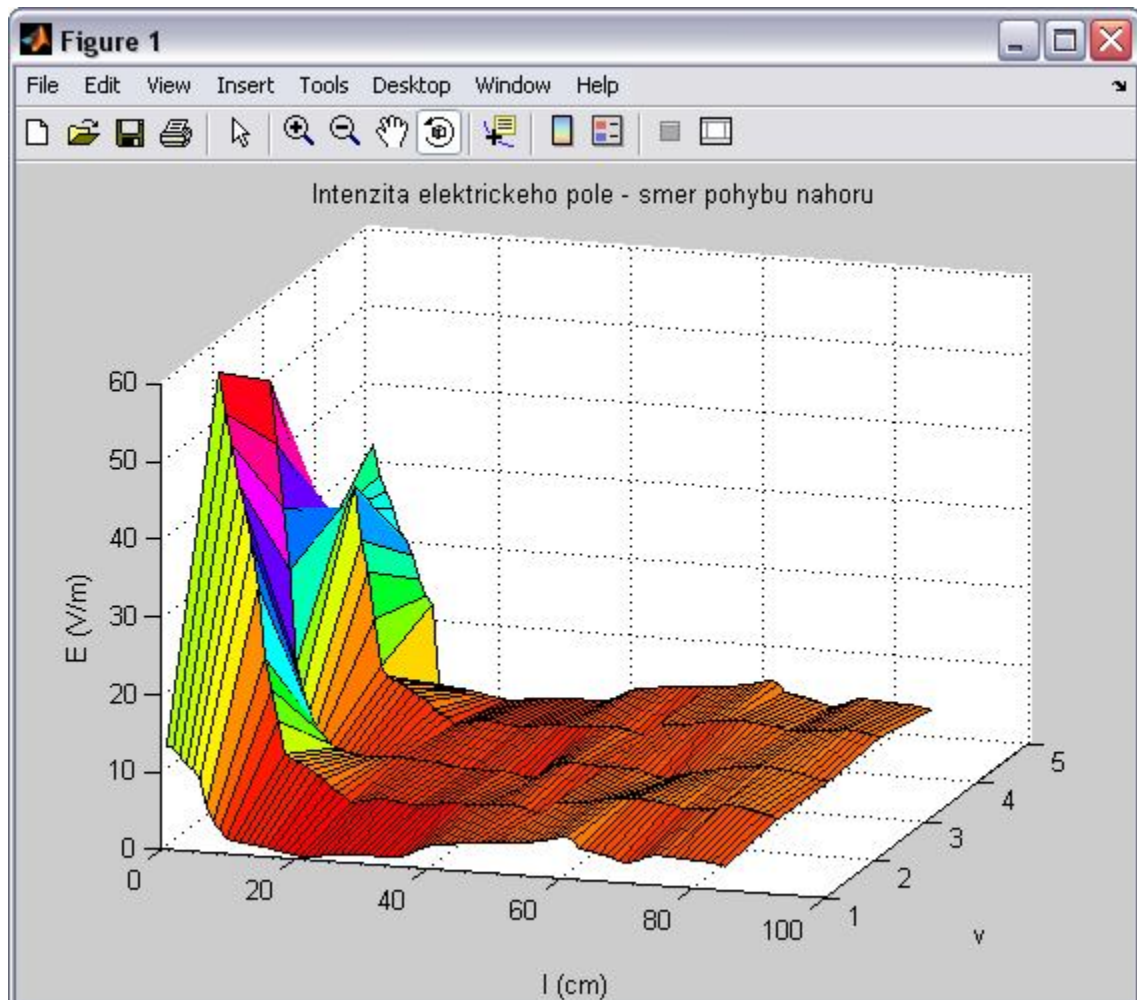
Další významná oblast je vymezena první a pátou měřicí hladinou v rozsahu vzdáleností $l = 22 - 33$ cm, kde dochází ke peakům v důsledku provozního kondenzátoru. Konkrétní hodnoty špiček v první hladině jsou 34 V/m a 39 V/m. Pro pátou hladinu dosahuje \vec{E} hodnoty 20,5 V/m. V páté hladině následuje mírný pokles v rozmezí vzdálenosti $l = 23 - 45$ cm. Další nárůst je zřetelný pro $l = 60 - 75$ cm vlivem trubkového pohonu a elektromagnetické brzdy. Nejnižší úroveň elektrické intenzity, 2 V/m, dosahovala 4. hladina ve vzdálenosti $l = 43$ cm.



Graf 9. Podélný průřez intenzity elektrického pole \vec{E} při pohybu trubkového pohonu směrem dolů

Graf 10 reprezentuje 3D vizualizaci intenzity elektrického pole pro pohyb mřížoviny směrem nahoru. Stejně jako v Grafu 9 dosahuje intenzita elektrického pole špičky ve vzdálenosti $l = 3$ cm pro druhou měřicí hladinu, konkrétně hodnoty 54 V/m. Mezi první a druhou hladinou dochází k nárůstu o 40 V/m. U třetí měřicí hladiny je malý pokles oproti druhé, pouhé 4 V/m. Rozdíl třetí a čtvrté hladiny je však již velký, konkrétně 20 V/m. Z

Grafu 9 vyplývá, že největší intenzita elektrického pole pro vzdálenost $l=3$ cm, kde se nachází přírodní svorkovnice, je v druhé hladině. S narůstajícím parametrem l dochází k exponenciálnímu poklesu elektrické intenzity ve všech hladinách na hodnotu 2,8 V/m, přičemž v rozsahu vzdálenosti $l=20 - 85$ cm lze považovat úroveň \vec{E} za téměř neměnnou.

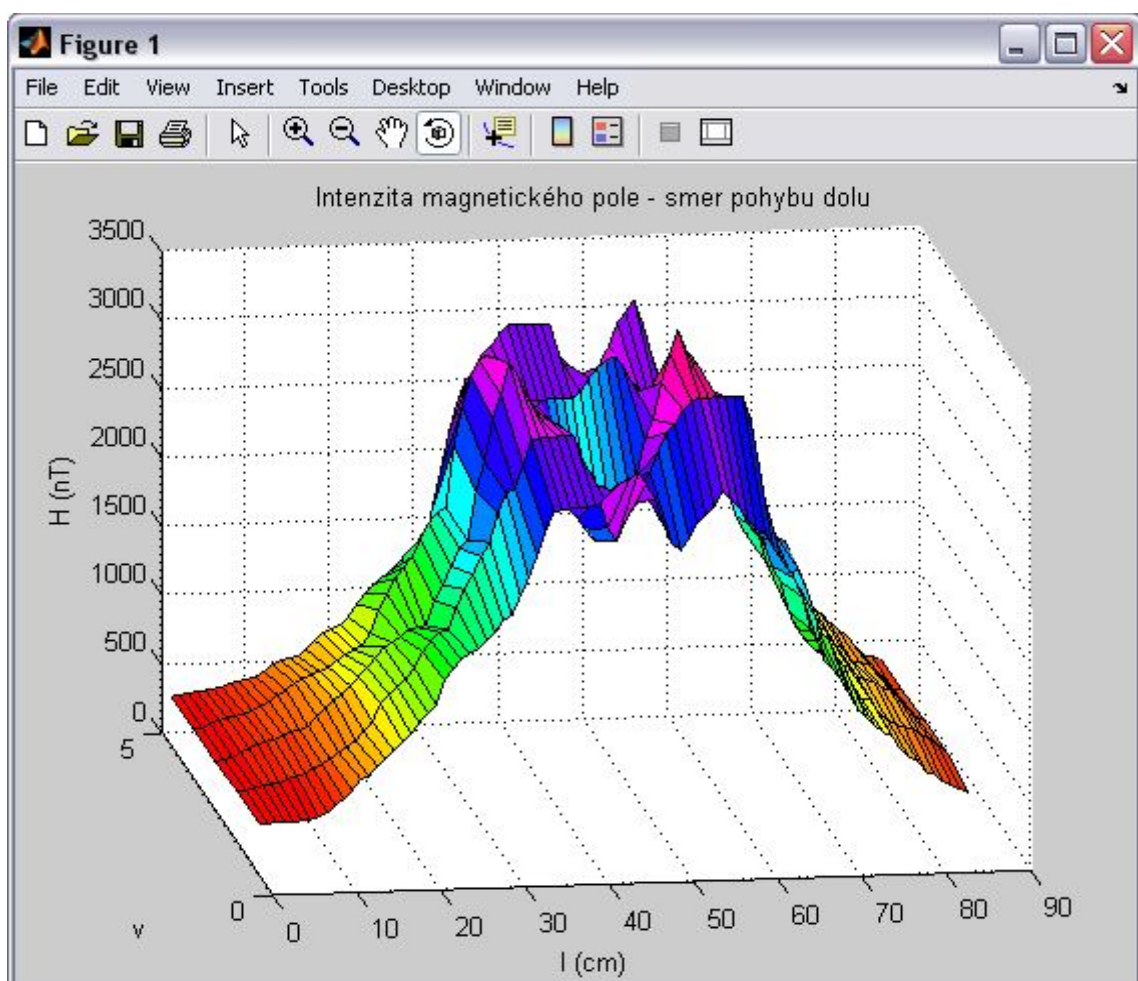


Graf. 10. Podélný průřez intenzity elektrického pole \vec{E} při pohybu trubkového pohonu směrem nahoru

6.2.3 Vizualizace a verifikace dat intenzity magnetického pole ve 2 aktivních stavech

Stejně jako pro měření intenzity elektrického pole, byla i u měření intenzity magnetického pole snímána interference při dvou aktivních stavech trubkového pohonu, tedy při pohybu mřížoviny dolů i nahoru. Graf 11 prezentuje 3D vizualizaci intenzity blízkého magnetického pole při pohybu směrem dolů. V oblasti vzdálenosti $l=2 - 33$ cm dochází k exponenciálnímu nárůstu ve všech hladinách z 320 nT na 2600 nT. Ve vzdálenosti $l=36$ cm nastává ve třetí měřící hladině špička s úrovní 3207 nT. Intenzita magnetického pole se

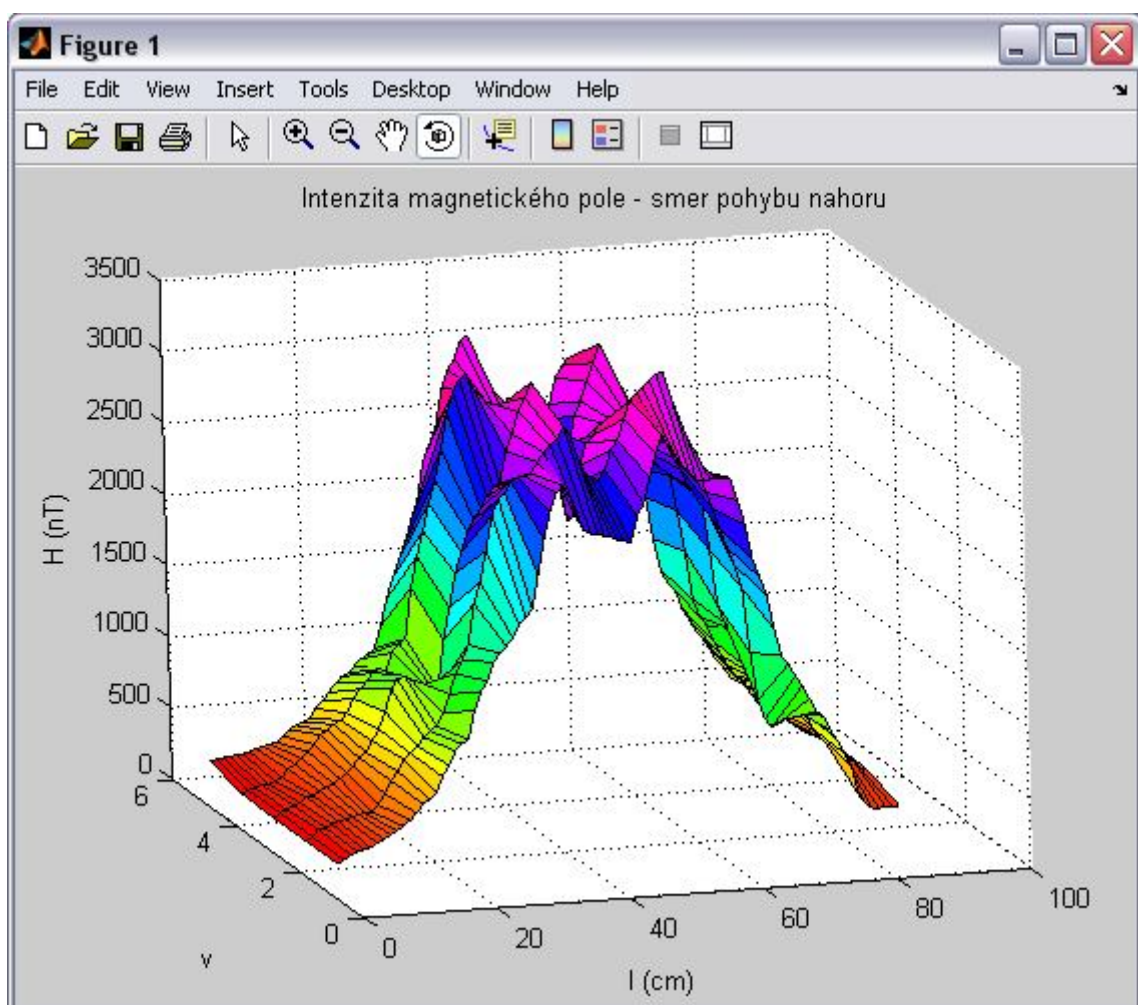
zrcadlově okolo třetí hladiny snižuje, kdy v první a páté hladině dosahuje hodnoty 2500 nT. V rozmezí vzdálenosti $l=40 - 50$ cm nastává ve třetí hladině pokles \vec{H} z 2500 nT na 1800 nT. U první, druhé, čtvrté a páté hladiny je intenzita magnetického pole na úrovni 2500 nT. Ve vzdálenosti $l= 56$ cm dochází k další špičce snímané expozice, ve třetí a páté měřící hladině, s hodnotou 3350 nT. V rozsahu vzdáleností podélného průmětu $l= 63 - 85$ cm nastává exponenciální pokles intenzity magnetického pole na hodnotu 400 nT. V oblasti maximální intenzity magnetického pole s parametrem $l= 35 - 65$ cm se nachází tělo trubkového pohonu společně s elektromagnetickou brzdou.



Graf. 11. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} při pohybu trubkového pohonu směrem dolů

V Grafu 12 je znázorněna 3D vizualizace intenzity blízkého magnetického pole při pohybu směrem nahoru. V oblasti vzdálenosti $l= 2 - 33$ cm dochází k exponenciálnímu nárůstu ve všech hladinách z 360 nT na 2720 nT. Ve vzdálenosti $l=36$ cm nastává ve čtvrté měřící hladině špička s úrovní 3010 nT. Ve vzdálenosti $l=41,5$ cm nastává další peak. Ke špičce

dochází ve třetí a páté měřící hladině. Úroveň \vec{H} ve třetí a páté hladině je 3212 nT. V oblasti, kde $l = 42 - 49$ cm nastává ve všech hladinách pokles na 2500 nT. V rozmezí parametru $l = 50 - 57$ cm opět vzrůstá intenzita magnetického pole a ve vzdálenosti $l = 58$ cm jsou patrné pro druhou a čtvrtou hladinu další peaky s hodnotami 3300 nT a 3200 nT. V rozsahu vzdáleností podélného průmětu $l = 63 - 85$ cm dochází k exponenciálnímu poklesu intenzity magnetického pole na hodnotu 400 nT. V oblasti maximální intenzity magnetického pole s parametrem $l = 35 - 65$ cm se nachází tělo trubkového pohonu společně s elektromagnetickou brzdou.



Graf. 12. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} při pohybu trubkového pohonu směrem nahoru

6.2.4 Určení chyby měření digitálního elektrosmogu ME 3851A

U měření nízkofrekvenční složky, stejně jako u měření s využitím soustavy FSH3 a HE 200 jsem provedl 9 shodných měření ve stejném měřícím bodě jak pro intenzitu

elektrického pole, tak pro intenzitu magnetického pole. Z naměřených hodnot jsou podle vzorce (25) vypočítány směrodatné odchylky. Následující rovnice zachycuje chybu měření pro intenzitu elektrického pole:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{9.3612,07 - 32508,09}{81}} = 0,081 \quad [28] \quad (26)$$

Chyba měření pro měření intenzity magnetického pole je následující:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{9.1440640 - 12965759,57}{81}} = 0,073 \quad [28] \quad (27)$$

7 BEZDRÁTOVÝ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉM OASIS

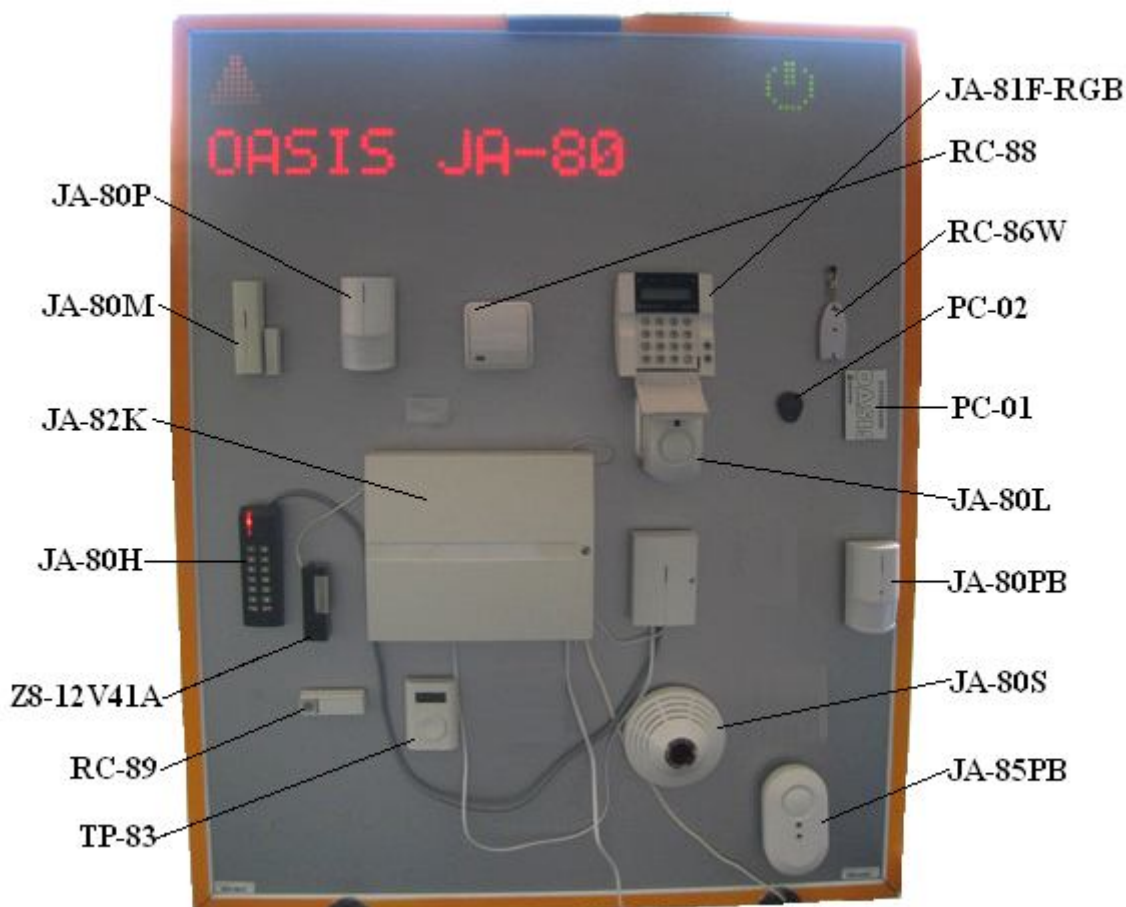
K prováděnému laboratornímu měření byl využit bezdrátový zabezpečovací systém OASIS JA-80. Bezdrátový systém OASIS je podle normy EN 50 131-1 certifikován pro 2. stupeň (nízká až střední rizika). Systém se používá k zabezpečení rodinných domů, rozsáhlých poschodových domů, komplexů kanceláří, atp. Pracovní kmitočet systému OASIS je 868 MHz, přičemž šířka pásma, neboli SPAN je 25 kHz. Bezdrátový zabezpečovací systém využívá frekvenční modulaci FM ke komunikaci mezi ústřednou a bezdrátovými detektory. Přenosová rychlost je 9600 Baud. Všechny tyto parametry byly důležité ke správnému nastavení měřicí soustavy spektrálního analyzátoru FSH3 a logaritmicko-periodické antény HE 200.

Základní nastavení systému lze provádět prostřednictvím připojení k počítači, v němž je spuštěno programovací prostředí O-LINK, nebo také využitím mobilního telefonu (GSM komunikátorem), popř. přímo z internetu (LAN + telefonní linkou). Nejjednodušší metodou programování je využití bezdrátové klávesnice JA-81F. K nastavení bezdrátového zabezpečovacího systému jsem využil klávesnici JA-81F, která umožňuje rychlou konfiguraci systému využitím přiloženého konfiguračního manuálu. Pro přiřazení prvků je možné použít až 50 adres. Systém se skládá z mnoha zabezpečovacích prvků. Je možné na něj připojit PIR detektory, magnetický kontakt JA-81M, bezdrátové sirény, speciální přístupové klávesnice-bezdotykovou RFID kartu, bezdrátový PIR detektor s kamerou JA-84P, bezdrátové ovladače-klíčenky, bezdrátový termostat TP-83, bezdrátový zvonek (RC 89 bezdrátové tlačítko napojené na vnitřní sirénu), detektor úniku plynu a detektor zaplavení. Systém lze rozdělit do 3 sekcí částečného zastřežení, podle toho, na jaké části je systém členěn. Dělení je provedeno na sekce A, B a C. Sekce A reprezentuje odpolední zastřežení, sekce B reprezentuje noční zastřežení. Kombinací sekcí A, B a C vznikne kompletní zastřežení daného objektu.⁸¹

Na Obr. 52. je zobrazen bezdrátový zabezpečovací systém OASIS JA-80, který je součástí vybavení laboratoře D315. Bezdrátový zabezpečovací systém je tvořen ústřednou JA-82K, na níž je připojen otvírač dveří Z8-12V41A, bezdrátovou klávesnicí JA-81F-RGB, kódovou čtečkou přístupového systému JA-80H, bezdrátovým termostatem TP-83, bezdrátovým tlačítkem zvonku RC-89 napojeným na vnitřní sirénu, vnitřní sirénou JA-

⁸¹ *Zabezpečení-objektu.jablotron.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-05-15]. Zabezpečení objektů. Dostupné z WWW: <<http://zabezpeceni-objektu.jablotron.cz/>>.

80L, magnetickým kontaktem JA-80M, PIR detektorem JA-80P, detektorem tříštění skla JA-80PB, bezdrátovým detektorem rozbití skla JA-85B, kombinovaným požárním detektorem (optický a teplotní) JA-80S, bezdrátovým nástěnným tlačítkem RC-88 umožňující vyhlášení tísňového poplachu. Pro ovládání je systém vybaven bezdrátovým ovladačem RC-86W, bezdotykovou RFID kartou PC-01 a bezdotykovým RFID přívěškem PC-02.⁸²

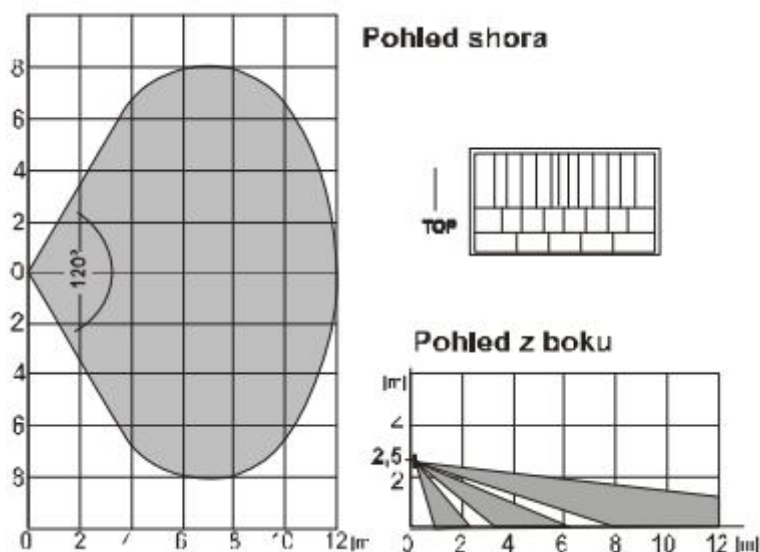


Obr. 52. Systém OASIS JA-80

Pro nastavení bezdrátového zabezpečovacího systému OASIS JA-80 byla použita bezdrátová klávesnice JA-81F-RGB. K ověření rušení trubkovým systémem bylo k ústředně JA-82K přiřazeno pouze několik periferií. S využitím jednoduchého manuálu instalace systému OASIS JA-80 od slečny Klváňové jsem ústředně přiřadil bezdrátový PIR

⁸² Zabezpečeni-objektu.jablotron.cz [online]. 2008 [cit. 2011-05-15]. Zabezpečení objektů. Dostupné z WWW: <<http://zabezpeceni-objektu.jablotron.cz/>>.

detektor pohybu JA-80P (2 stavy hlášení falešných poplachů), jehož detekční charakteristika je zobrazena na Obr. 53.



Obr. 53. Detekční charakteristika JA-80P [29]

K ústředně byl dále nakonfigurován detektor otevření dveří JA-83M, klíčenka RC-86, přístupová karta PC-01 a vnitřní siréna JA-80L reagující na poplach, příchodové/odchodové zpoždění a dveřní zvonek.

Po naučení všech periferií systému OASIS a konfiguraci příchodového a odchodového zpoždění bylo prováděno ověření rušení trubkovým pohonem od společnosti Librax.

7.1 Ověření rušení systému OASIS JA-80 trubkovým pohonem

K ověření rušení bezdrátového zabezpečovacího systému trubkovým pohonem od společnosti Librax byly zvoleny dvě metody. Po základním nakonfigurování systému byl k trubkovému pohonu umístěn bezdrátový PIR detektor JA-80P a provedlo se zastřežení systému. Poté byl aktivován trubkový pohon pomocí kolébkového spínače. V časovém horizontu 22 s běhu pohonu, kdy se odrolovávala mřížovina, nedošlo k výpadku komunikace PIR detektoru s ústřednou a po pohybu rukou, ve střeženém prostoru, nastalo vyhlášení poplachu indikovaného zvukem sirény JA-80L. Poté byl poplach zrušen, znovu byl zastřežen zájmový prostor a bylo provedeno totožné ověření pro opačný pohyb pohonu, tedy narolování mřížoviny na válec trubkového pohonu. V časovém intervalu 22 s, při pohybu mřížoviny směrem nahoru, ztráta spojení detektor-ústředna nenastala a při zkoušce vyvolání poplachu detektor zareagoval na pohyb ruky v zájmovém prostoru, přičemž byl vyhlášen poplach.

Druhým způsobem ověření funkčnosti bezdrátového zabezpečovacího systému bylo přemístění trubkového pohonu do blízkosti tabule systému OASIS JA-80. Před ověřením se znovu zastřežil zájmový prostor s využitím klávesnice JA-81F-RGB. Po zadání kódu pro zastřežení a uplynutí odchodového zpoždění se aktivoval pohon a mřížovina se odvíjela z válce trubkového pohonu. Po dobu 22 s nenastal žádný výpadek v komunikační trase detektor-ústředna a ani ústředna na tuto interferenci, ze strany pohonu, nijak nereagovala. Při vyvolání poplachu pohybem ruky před PIR detektorem nastala jeho aktivace a následné vyvolání poplachu doprovázené akustickou signalizací sirény. Po zadání kódu ke zrušení poplachu byl systém uveden do stavu klidu. Opětovným zadáním kódu proběhlo zastřežení a stejným způsobem byl systém OASIS JA-80 testován pro pohyb mřížového výpletu směrem nahoru. Při tomto testu nedošlo taktéž ke ztrátě spojení PIR detektoru s ústřednou a při pohybu ruky ve střeženém prostoru vyhlásil detektor JA-80P poplach, při němž byla aktivována i siréna JA-80L.

ZÁVĚR

Nasazení mříží, technického prostředku používaného v PKB, je základní forma ochrany prostupů a otvorů v plášti budov. Mříže lze využít k zajištění plášťové ochrany v soukromé i veřejné sféře. Většina mříží používaných v rozsáhlých nákupních centrech, v budovách bank a v soukromých objektech je poháněna trubkovým pohonem.

Diplomová práce se zabývá ověřením vlivu trubkových pohonů na bezdrátové zabezpečovací systémy. Problematika trubkových pohonů je velmi zajímavá, neboť jsou z praxe známy případy, které nasvědčují nežádoucímu vyzařování pohonů mající vliv např. na kamerové systémy. Po návštěvě Vojenského opravárenského podniku ve Vyškově, konkrétně odboru zkoušení techniky, jsem zjistil mnoho případů, které byly v rozporu s bezpečností. Příkladem je aktivace trubkového pohonu a odrolování garážových vrat v důsledku nastartování vozu ŠKODA 110L zaparkovaného ve vjezdu do garáže.

V souvislosti s bezdrátovým zabezpečovacím systémem OASIS JA-80, který je spolu s trubkovým pohonem od společnosti Librax součástí vybavení laboratoře mechanických zábranných systému D315, jsem provedl měření vyzařování trubkového pohonu v oblasti pracovního kmitočtu bezdrátového EZS. Pro oba provozní stavy a různé vzdálenosti měření expozice vykazoval trubkový pohon rušivý signál, ale tento signál byl pro kmitočtové spektrum, konkrétně startovací kmitočet $f_{\text{Start}} = 867987500$ Hz a stop kmitočet $f_{\text{Stop}} = 868012500$ Hz, v němž systém OASIS JA-80 pracuje v souladu s normou ČSN EN 55022. Po měření expozice v pracovním kmitočtovém spektru jsem se rozhodl oskenovat spektrum 500MHz - 868MHz a z měření vyplynulo, že na kmitočtu 867987000 Hz dochází v oblasti vzdálenosti $l=38$ cm k významným peakům, tedy nárůstu intenzity elektrického pole z hodnoty -75 dBm na hodnotu až -32,51 dBm.

Pro celkové zmapování interference trubkového pohonu, tedy i na nízkých kmitočtech, jsem provedl experimentální měření nízkofrekvenční části v rozsahu 50 Hz - 100kHz s využitím digitálního elektrosmogu ME 3851A. Elektrosmogem byla měřena intenzita elektrického pole i intenzita magnetického pole. Měřením s pomocí ME 3851A byla zjištěna vysoká intenzita elektrického pole v oblasti přívodní svorkovnice k trubkovému pohonu ve vzdálenosti $l=3$ cm, kde hodnota \vec{E} dosahovala 91 V/m. Z měření intenzity magnetického pole vyplynulo, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo v oblasti rozsahu vzdálenosti $l=35 - 65$ cm, v níž se nachází tělo trubkového pohonu. Intenzita magnetického pole byla zaznamenávána měřicím přístrojem až v horním omezovacím rozsahu a po

následném superponování důležitěmu ke zjištění celkové \vec{H} dosahovala špička hodnoty 3350 nT. Měřicím přístrojem ME 3851A byla tzv. očichána i zadní a boční strana trubkového pohonu a došel jsem k zjištění, že stejně, jako u měření s využitím spektrálního analyzátoru FSH3 a logaritmicko-periodické antény HE 200 dochází s narůstající vzdáleností z ke snížení intenzity elektrického i magnetického pole.

Trubkový pohon tedy vykazuje nejvyšší úroveň intenzity elektrického pole v nízkofrekvenčním spektru 50 Hz - 100 kHz a na frekvenci 867987000 Hz, což je ovšem mimo pracovní spektrum bezdrátového zabezpečovacího systému OASIS JA-80.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Setting the lattice, technical means used in the PKB, is the basic form of protection for penetrations and openings in the building envelope. The lattice can be used to ensure the protection of the mantle in private and public sectors. Most of the lattice used in large shopping centres, banks and private buildings are driven by the tubular drive.

The thesis deals with the verification of the influence of tubular drives on wireless security systems. The issue of tubular drives is very interesting because there are cases in practice that indicates unwanted radiation of drives affecting e.g. CCTV. After visiting the Military Repair Company in Vyškov, especially the Department of testing techniques, I have found many cases which were contrary to safety. An example is the activation of the tubular drive and scroll of the garage door as a result of starting the car ŠKODA 110L parked in the entrance to the garage.

In connection with a wireless security system OASIS JA-80, which is together with the tubular drive from Librax part of the laboratory equipment of mechanical barrier system D315, I made the measurements of tubular drive radiation in the area of working frequency wireless EZS. For both operating conditions and different distance of metering the tubular drive showed the interfering signal, but the signal was for the frequency spectrum, specifically starting frequency $f_{\text{start}} = 867987500$ Hz and stop frequency $f_{\text{stop}} = 868012500$ Hz, whereof OASIS JA-80 system operates in accordance with the standard ČSN EN 55022. After the measurement of the working frequency spectrum, I decided to scan the spectrum 500MHz - 868MHz and the measurements showed that on the frequency 867987000 Hz occurs in the distance $l = 38$ cm to significant peaks, an increase of the electric field from the value of -75 dBm to -32,51 dBm.

To map the interference of the tubular drive at low frequencies I have made an experimental measurement of the low-frequency range 50 Hz - 100kHz using a digital electrosmog ME 3851A. The intensity of the electric field and magnetic field was measured by the electrosmog. The measurement with ME 3851A found a high intensity of electric field in the terminal block to the tubular drive in the distance $l = 3$ cm, where the value \vec{E} is 91 V/m. From the measurement of magnetic field showed that the highest values were achieved in a distance $l = 35 - 65$ cm where the body of the tubular drive is. The intensity of magnetic field was recorded by a measuring device in the upper limiting range and subsequent superimpose important to determine the total \vec{H} the peak reached value

3350 nT. The measuring instrument ME 3851A have taken a sniff at back and lateral sides of the tubular drive and I found that just as with the measurement using a spectrum analyzer FSH3 and a log-periodic antenna HE 200 occur with increasing distance to reduce of electric and magnetic fields intensity.

The tubular drive shows the highest level of electric field intensity in the low frequency spectrum 50 Hz - 100 kHz and the frequency 867987000 Hz, but it does not fall into the working range wireless security system OASIS JA-80.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EZS - elektrické zabezpečovací systémy

MZS - mechanické zábranné systémy

EMC - elektromagnetická kompatibilita

EMI - elektromagnetická interference

EMS - elektromagnetická susceptibilita

SE - efektivní stínění

R - útlum odrazem

A - absorpční útlum

M - útlum vlivem mnohonásobných odrazů

EUT - zkoušené zařízení

SRD - zařízení krátkého dosahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1. Ruční klika na pohon mříže [10]..... | 15 |
| Obr. 2. Boční pohon přímo spojený s hřídelí [11] | 16 |
| Obr. 3. Boční pohon spojený s hřídelí prostřednictvím řetězu [11]..... | 16 |
| Obr. 4. Pohon FAAC 540 [12]..... | 17 |
| Obr. 5. Detail centrálního pohonu [11] | 19 |
| Obr. 6. Centrální pohon bez dálkového ovládání [10] | 20 |
| Obr. 7. Centrální pohon s dálkovým ovládáním a kompenzačními pružinami [10]..... | 20 |
| Obr. 8. Integrace motoru v hřídeli [10] | 21 |
| Obr. 9. Úspora bočního místa [10]..... | 21 |
| Obr. 10. Propojení zkušebního kabelu s pohonem [10] | 22 |
| Obr. 11. Montáž trubkového pohonu [10]..... | 23 |
| Obr. 12. Osazení hřídele adapterem a unáščem [10]..... | 23 |
| Obr. 13. Unášec a hřídel po zajištění [10] | 23 |
| Obr. 14. Nasazení hřídele na pohon motoru [10]..... | 24 |
| Obr. 15. Nastavení koncových poloh spínačů [10]..... | 24 |
| Obr. 16. Schéma zapojení trubkového pohonu LS 40 [10] | 25 |
| Obr. 17. Rozdělení elektromagnetického spektra podle vlnové délky λ a frekvence f . [6] | 26 |
| Obr. 18. Struktura pole v okolí vyzařující antény [2] | 30 |
| Obr. 19. Struktura elektromagnetické vlny šířící se ve směru osy x a TEM vlna podél vedení [2] | 31 |
| Obr. 20. Polarizace elektromagnetických vln [2]..... | 34 |
| Obr. 21. Znázornění blízkého pole okolo antény [22] | 35 |
| Obr. 22. Znázornění blízkého a vzdáleného pole a metody měření rušivých signálů [8] ... | 35 |
| Obr. 23. Rotační elipsoidy Fresnelovy zóny [2] | 36 |
| Obr. 24. Příklady narušení Fresnelovy zóny [3] | 36 |

| | |
|---|----|
| Obr. 25. Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku [8] | 38 |
| Obr. 26. Zásady konstrukce elektromagnetických stíněných krytů [8]..... | 43 |
| Obr. 27. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [8]..... | 44 |
| Obr. 28. Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti [8] | 45 |
| Obr. 29. Příklad relativní orientace EUT vůči vektorům pole [19] | 48 |
| Obr. 30. Certifikovaná rolovací mříž od společnosti Librax | 54 |
| Obr. 31. Detail vnitřní skladby trubkového pohonu [26] | 55 |
| Obr. 32. Propojení komponent měřící soustavy..... | 56 |
| Obr. 33. Princip činnosti spektrálního analyzátoru [23]..... | 56 |
| Obr. 34. Popis spektrálního analyzátoru R&S FSH3 [23]..... | 57 |
| Obr. 35. Logaritmicke-periodická anténa HE 200..... | 59 |
| Obr. 36. Zisk antény HE 200 v aktivním režimu [24]..... | 60 |
| Obr. 37. Směrová charakteristika anténního modulu 500 MHz - 3 GHz [24]..... | 60 |
| Obr. 38. Převodník z USB na RS 232 UC-232A | 61 |
| Obr. 39. Detailní pohled vývojového prostředí Agilent Vee Pro 9.2 EVAL | 62 |
| Obr. 40. Vnitřní struktura vytvořeného programu potřebného k měření s R&S FSH3 | 63 |
| Obr. 41. Měřící soustava..... | 65 |
| Obr. 42. Pohled na způsob měření blízkého EMC pole | 66 |
| Obr. 43. Metodika snímání expozice v 3D prostoru | 67 |
| Obr. 44. Popis čelního panelu ME 3851A [25] | 68 |
| Obr. 45. Způsoby držení ME 3851A pro správné měření [25]..... | 69 |
| Obr. 46. Způsob měření intenzity elektrického pole v půdorysném pohledu..... | 70 |
| Obr. 47. Znázornění metodiky měření pomocí ME 3851A..... | 70 |
| Obr. 48. Směry měření intenzity magnetického pole v jednom bodě v půdorysném pohledu | 71 |
| Obr. 49. Výsledná intenzita magnetického pole | 71 |

| | |
|--|----|
| Obr. 50. Vnitřní skladba pohonu Librax | 73 |
| Obr. 51. Špička snímaného spektra EMI trubkového pohonu..... | 80 |
| Obr. 52. Systém OASIS JA-80 | 90 |
| Obr. 53. Detekční charakteristika JA-80P [29]..... | 91 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE [8] | 41 |
| Tab. 2: Stupně přísnosti expozice [20]..... | 49 |
| Tab. 3: Meze rušení zářením pro A ITE v měřicí vzdálenosti 10 m [21]..... | 50 |
| Tab. 4: Meze rušení zářením pro B ITE v měřicí vzdálenosti 10 m [21]..... | 50 |
| Tab. 5: Seznam zařízení SRD a jejich klasifikace [16]..... | 51 |
| Tab. 6: Tabulka funkcí [16] | 52 |
| Tab. 7: Tabulka funkcí [16] | 52 |
| Tab. 8. Technické údaje spektrálního analyzátoru FSH 3 [23]..... | 58 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Graf. 1. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu..... | 74 |
| Graf. 2. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu..... | 75 |
| Graf. 3. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=3$ cm od trubkového pohonu..... | 76 |
| Graf. 4. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=3$ cm od trubkového pohonu..... | 77 |
| Graf. 5. Minimální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=5$ cm od trubkového pohonu..... | 78 |
| Graf. 6. Maximální hodnoty úrovně intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=5$ cm od trubkového pohonu..... | 79 |
| Graf. 7. Podélný průmět intenzity elektrického pole \vec{E} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu..... | 82 |
| Graf. 8. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} ve vzdálenosti $z=1$ cm od trubkového pohonu..... | 83 |
| Graf. 9. Podélný průmět intenzity elektrického pole \vec{E} při pohybu trubkového pohonu směrem dolů..... | 84 |
| Graf. 10. Podélný průmět intenzity elektrického pole \vec{E} při pohybu trubkového pohonu směrem nahoru..... | 85 |
| Graf. 11. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} při pohybu trubkového pohonu směrem dolů..... | 86 |
| Graf. 12. Podélný průmět intenzity magnetického pole \vec{H} při pohybu trubkového pohonu směrem nahoru..... | 87 |

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAHŮŤÁK, Marcel. Edukační materiál pro prvky, technologie a zařízení využívané v mechanických zábranných systémech - mříže. Zlín, 2009. 104 s. *Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.*
- [2] Hácha, B. Pílný, P., Richterová, M. *Antény a šíření rádiových vln I. Šíření rádiových vln.* Brno: UO, 2004. Event.č. CD-637/04
- [3] *Fresnel zone disrupted.png.* In *Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2007, last modified on 2007 [cit. 2011-02-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fresnel_zone_disrupted.png>.*
- [4] HAŇKA, Ladislav. *Teorie elektromagnetického pole.* 2. vyd. Praha 1 : SNTL, 1982. Základní pojmy a vztahy, s. 224. 04-506-82.
- [5] HAŇKA, Ladislav. *Teorie elektromagnetického pole.* 1. vyd. Spálená 51, Praha 1 : Nakladatelství technické literatury, 1975. 580 s.
- [6] Electromagnetic waves : Electromagnetic spectrum. *Sky books [online].* 2009, 35, [cit. 2011-02-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.skybooksusa.com/time-travel/physics/electrom.htm>>.
- [7] FYSIKY, Předmětová komise. *Elektromagnetické spektrum : Poznámky&ilustrace [online].* Liberec, 2006. 15 s. Poznámky a ilustrace. Gymnázium F. X. Šaldy. Dostupné z WWW: <http://jan.gfxs.cz/studium/files/optika/spektrum.pdf>
- [8] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita : Principy a metody.* 1. vyd. Blansko : Vysoké učení technické v Brně, 2001. 156 s. Dostupné z WWW: <<http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=home>>. ISBN 80-214-1873-7.
- [9] KAŇUCH, Jan; KOVÁČOVÁ, Irena; KOVÁČ, Dobroslav. *EMC z hlediska teorie a aplikace.* 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
- [10] Vnitřní materiály společnosti CAIS
- [11] IVANKA, Ján. *Mechanické zábranné systémy.* 1. vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. 151 s. ISBN 978-80-7318-910-5.
- [12] *Faaccz.cz [online].* 2008 [cit. 2011-03-03]. FAACCCZ540. Dostupné z WWW: <<http://www.faaccz.cz/faac-540-d32.html>>.
- [13] SZÁNTÓ, Ladislav. *Wiki.matfyz.cz [online].* Praha : BEN - technická literatura, 2003, 14.2.2011 [cit. 2011-03-04]. Maxwellovy rovnice a jejich základní důsledky. Dostupné z WWW: <http://wiki.matfyz.cz/wiki/8._Maxwellovy_rovnice_a_jejich_z%C3%A1kladn%C3%AD_d%C5%AFsledky#Integr.C3.A1In.C3.AD_tvar>. ISBN 80-7300-096-2.

- [14] ŽÁČEK, Jaroslav; KÜNZEL, Karel. EMC v technické praxi IV : Omezování rušení v oblasti vysokých kmitočtů. *Automa : Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2006, 7, [cit. 2011-03-06]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31272>.
- [15] ŽÁČEK, Jaroslav; KÜNZEL, Karel. EMC v technické praxi IV: Omezování rušení v oblasti vysokých kmitočtů : Otvory, přípojná místa a další nehomogenity . *Automa : Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2006, č.7, [cit. 2011-03-07]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31272>.
- [16] ČSN ETSI EN 301 489-3 V1.4.1. *Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM) : Norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) rádiových zařízení a služeb.* [s.l.] : Český normalizační institut, Srpen 2003. 23 s.
- [17] *Označení CE a směrnice EU : 2004/108/EU – EMC směrnice o elektromagnetické kompatibilitě* [online]. 2009 [cit. 2011-03-20]. Wago.com. Dostupné z WWW: <<http://www.wago.com/cps/rde/xchg/SID-53EFFF9-5D9E9913/wago/style.xsl/csy-379.htm>>.
- [18] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *Sborníky technické harmonizace : Příručka ke směrnici 1999/5/ES o rádiových zařízeních a telekomunikačních koncových zařízeních* [online]. Listopad 2004 [cit. 2011-03-20]. Unmz.cz. Dostupné z WWW: <http://www.unmz.cz/sborniky_th/25.htm>.
- [19] ČSN EN 50130-4. *Poplachové systémy - elektromagnetická kompatibilita : Požadavky na odolnost komponentů požárních systémů, zabezpečovacích systémů a systémů přivolání pomoci.* [s.l.] : Český normalizační institut, Prosinec 1997. 19 s.
- [20] ČSN EN 50130-4 ZMĚNA A2. *Poplachové systémy - elektromagnetická kompatibilita : Požadavky na odolnost komponentů požárních systémů, zabezpečovacích systémů a systémů přivolání pomoci.* [s.l.] : Český normalizační institut, Srpen 2003. 9 s.
- [21] ČSN EN 55022. *Zařízení informační techniky : Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření.* [s.l.] : Český normalizační institut, Duben 2007. 71 s.
- [22] REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2011-04-16]. Stacionární magnetické pole. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=285>>.
- [23] *Ruční spektrální analyzátor R&S FSH3 : Návod k použití* [online] [online]. 2002, 8.12.2008 [cit. 2011-04-17]. Rohde&Schwarz. Dostupné z WWW: <[http://www.rohde-schwarz.com/www/cz_cont.nsf/file/Manual_FSH3_CZ.web.pdf/\\$file/Manual_FSH3_CZ.web.pdf](http://www.rohde-schwarz.com/www/cz_cont.nsf/file/Manual_FSH3_CZ.web.pdf/$file/Manual_FSH3_CZ.web.pdf)>.

- [24] *Směrová anténa R&S HE 200 : Návod k obsluze [online]* [online]. 2002, 8.12.2008 [cit. 2011-04-17]. Rohde&Schwarz. Dostupné z WWW: <[http://www.rohde-schwarz.com/www/cz_cont.nsf/file/HE200manual_CZweb.pdf/\\$file/HE200manual_CZweb.pdf](http://www.rohde-schwarz.com/www/cz_cont.nsf/file/HE200manual_CZweb.pdf/$file/HE200manual_CZweb.pdf)>.
- [25] *Livspace.com* [online]. 2009 [cit. 2011-04-21]. Information. Dostupné z WWW: <<http://www.livspace.com.au/contents/en-us/contactus.html>>.
- [26] Vnitřní materiál společnosti Somfy
- [27] KÖNIG, Holger; ERLACHER, Peter. *Neviditelná hrozba : Elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava, Hel : [s.n.], 2001. 120 s. ISBN 80-86167-15-1.
- [28] *Office.microsoft.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. Funkce SMODCH. Dostupné z WWW: <<http://office.microsoft.com/cs-cz/excel-help/funkce-smodch-HP010062543.aspx>>.
- [29] *Jablotron.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-05-15]. JA-80P bezdrátový PIR detektor pohybu oso. Dostupné z WWW: <http://www.jablotron.cz/upload/download/JA-80P_CZ_MHP51805.pdf>.
- [30] VACULÍKOVÁ, Polina; VACULÍK, Emil a kolektiv. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů : Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vf rušení*. 1. vyd. Havlíčkův Brod : Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s., 1998. 504 s. ISBN 80-7169-568-8.

PŘÍLOHA-HODNOTY MĚŘENÍ

| Intenzita elektrického pole - referenční hodnoty (V/m) ME3851 A | | | | | | | | | |
|---|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------|
| 1. hladina | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | | |
| 73 | 9,6 | 71,2 | 8,4 | 70 | 6,45 | 48,2 | 10,15 | 50,1 | 19,4 |
| 72 | 9,5 | 73 | 8,3 | 68 | 6,42 | 48 | 10,05 | 49,8 | 21 |
| 71 | 9,4 | 77 | 8,2 | 67 | 6,4 | 47,8 | 10 | 49,6 | 22,1 |
| 70 | 9,1 | 79 | 8 | 65 | 6,35 | 47,5 | 9,8 | 49,1 | 21 |
| 69 | 8,8 | 82 | 7,9 | 64 | 6,3 | 47,3 | 9,6 | 48,6 | 20,2 |
| 68,2 | 8,6 | 85,3 | 7,5 | 62 | 6,25 | 47,2 | 9,4 | 48,3 | 19 |
| 57 | 8,2 | 64 | 7,3 | 53 | 6,2 | 45 | 9,2 | 47,6 | 18,8 |
| 49 | 8 | 52 | 7,1 | 46 | 6,1 | 37 | 9 | 47 | 18,3 |
| 42 | 7,9 | 41 | 7 | 37 | 6 | 32 | 8,9 | 46 | 18,4 |
| 38 | 7,8 | 38 | 6,8 | 30 | 5,9 | 28 | 8,85 | 45,3 | 18,5 |
| 33,6 | 7,7 | 33,8 | 6,75 | 26 | 5,8 | 25,1 | 8,8 | 44,2 | 18,6 |
| 30 | 7,6 | 30 | 6,7 | 24 | 5,7 | 24 | 8,8 | 42,1 | 18,7 |
| 28 | 7,5 | 28 | 6,6 | 22 | 5,6 | 22,5 | 8,7 | 41 | 18,9 |
| 26 | 7,4 | 26 | 6,5 | 20 | 6 | 21 | 8,5 | 38 | 17,5 |
| 24 | 7,3 | 23 | 6,4 | 18 | 6,4 | 20 | 8,4 | 36 | 17 |
| 22,1 | 7,2 | 21,2 | 6,3 | 17 | 7 | 19,2 | 8,3 | 35,1 | 16,3 |
| 20 | 7 | 20 | 6,25 | 16,5 | 8 | 18,6 | 8 | 34,9 | 15 |
| 18 | 6,9 | 19 | 6,2 | 16 | 8,9 | 18 | 7,9 | 34,7 | 14,1 |
| 17 | 6,9 | 17 | 6,22 | 15,5 | 8,7 | 17 | 7,9 | 34,5 | 14,3 |
| 16 | 6,9 | 16 | 6,24 | 15 | 8,5 | 16 | 7,85 | 34,3 | 14,5 |
| 15,3 | 6,92 | 15,3 | 6,28 | 14,4 | 8,4 | 15,5 | 7,8 | 34,1 | 14,6 |
| 15,1 | 6,95 | 15 | 6,29 | 14 | 8,2 | 15 | 7,85 | 32 | 14,8 |
| 15 | 7 | 14,6 | 6,3 | 13,8 | 8 | 14 | 7,9 | 28 | 14,9 |
| 14,7 | 6,9 | 14,1 | 6,29 | 13,3 | 7,9 | 13,5 | 8 | 26 | 15 |
| 14,3 | 6,8 | 13,8 | 6,28 | 13 | 7,85 | 13 | 8,2 | 23 | 15,1 |
| 14 | 6,7 | 13,4 | 6,24 | 12,5 | 7,8 | 12,6 | 8,4 | 21,8 | 15,3 |
| 13,9 | 6,3 | 13 | 6,22 | 12 | 7,75 | 12,4 | 8,6 | 20 | 15,4 |
| 13,7 | 6,2 | 12,5 | 6,2 | 11,2 | 7,7 | 12,3 | 8,7 | 17 | 15,5 |
| 13,4 | 6,4 | 12 | 6,4 | 10,3 | 7,9 | 12,2 | 8,78 | 16 | 15 |
| 13,3 | 6,7 | 11,5 | 6,8 | 9 | 8 | 12 | 8,91 | 14 | 14,8 |
| 13,1 | 6,75 | 11,1 | 7 | 8,9 | 8,1 | 11,8 | 8,96 | 13,5 | 14,2 |
| 12,5 | 6,8 | 10,8 | 7,5 | 8,7 | 8,3 | 11,7 | 9 | 15 | 14 |
| 12,1 | 6,83 | 10,6 | 7,7 | 8,5 | 8,4 | 11,5 | 9,11 | 16,3 | 13,8 |
| 11,9 | 6,91 | 10,2 | 8 | 8,1 | 8,7 | 11,4 | 9,23 | 17,2 | 13,8 |
| 11,7 | 6,95 | 10 | 8,12 | 8 | 8,79 | 11,2 | 9,31 | 18,4 | 13,7 |
| 11,2 | 6,98 | 9,8 | 8,21 | 7,8 | 8,86 | 11,1 | 9,44 | 19,9 | 13,6 |
| 11 | 7,05 | 9,5 | 8,35 | 7,6 | 8,93 | 10,9 | 9,51 | 19,5 | 13,6 |
| 10,8 | 7,21 | 9,3 | 8,42 | 7,4 | 8,99 | 10,7 | 9,68 | 19 | 13,5 |
| 10,6 | 7,33 | 9 | 8,59 | 7,2 | 9,15 | 10,5 | 9,73 | 18,6 | 13,5 |
| 10,3 | 7,41 | 8,9 | 8,67 | 6,9 | 9,33 | 10,4 | 9,86 | 18 | 13,4 |
| 10 | 7,56 | 8,7 | 8,73 | 6,5 | 9,41 | 10,3 | 9,75 | 17,5 | 13,4 |
| 9,9 | 7,69 | 8,6 | 8,86 | 6,5 | 9,52 | 10,3 | 9,7 | 18 | 13,3 |
| 9,7 | | 8,5 | | 6,48 | | 10,2 | | 18,6 | |

| Intenzita magnetického pole - referenční hodnoty (nT) ME3851A | | | | | | | | | |
|---|------|------------|------|------------|------|------------|-------|------------|-------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | |
| 128,4 | 74 | 132,6 | 77 | 113,6 | 75 | 117,2 | 78,2 | 118,7 | 66 |
| 127 | 73 | 132 | 75 | 112 | 74 | 115 | 78 | 116 | 64,7 |
| 126 | 72 | 130 | 74,3 | 111 | 73,4 | 111 | 77,6 | 112 | 64 |
| 125 | 73 | 128 | 74,6 | 110,5 | 71 | 109 | 76 | 108 | 63 |
| 124,7 | 73 | 126 | 74,9 | 110 | 70 | 107 | 75 | 106 | 62,5 |
| 124,3 | 74 | 125,5 | 75,1 | 109,9 | 68 | 106,2 | 74 | 104,6 | 62 |
| 120 | 74,5 | 120 | 75,6 | 107 | 66 | 104 | 73 | 102 | 61 |
| 116 | 75 | 116 | 75,8 | 106 | 64,2 | 100 | 72,8 | 100 | 60 |
| 112 | 71 | 112 | 72 | 105 | 63 | 98 | 72 | 98 | 59 |
| 107 | 68 | 107 | 70 | 103 | 62,5 | 97 | 71 | 97 | 57 |
| 103 | 66 | 105,5 | 68 | 102,7 | 62 | 95,7 | 70 | 96,9 | 55 |
| 103,5 | 64 | 105,8 | 67 | 103 | 61,5 | 95,6 | 69,5 | 96 | 54,4 |
| 103,9 | 63 | 106 | 66,5 | 103,4 | 61,2 | 95,5 | 69,2 | 95 | 54 |
| 105 | 61 | 106,5 | 64 | 104 | 60 | 95,4 | 67 | 94 | 53,6 |
| 105,5 | 59 | 107 | 61 | 104,2 | 59 | 95,3 | 66 | 93 | 53 |
| 106 | 57 | 107,4 | 58 | 104,6 | 58 | 95 | 65 | 91,4 | 52,2 |
| 105 | 54 | 107 | 56 | 102 | 56 | 89,9 | 64,8 | 90 | 51,6 |
| 104 | 52 | 106 | 55,5 | 98 | 55,7 | 89,85 | 64 | 88 | 51,4 |
| 103 | 51,5 | 105 | 54 | 96 | 55 | 89,8 | 61 | 86 | 51,1 |
| 102 | 51 | 104 | 53 | 94 | 54,5 | 89,75 | 59 | 85 | 50,8 |
| 101,5 | 50,5 | 103 | 52,5 | 91,4 | 54 | 89,7 | 57 | 83,7 | 50,4 |
| 101,4 | 50 | 102,5 | 52 | 92 | 53,5 | 89,8 | 56 | 84 | 50 |
| 101,3 | 49 | 102,2 | 51,3 | 92,5 | 53,2 | 89,9 | 55,2 | 84,5 | 49 |
| 101,2 | 48 | 102 | 51 | 93 | 52 | 90 | 55 | 85 | 48 |
| 101,1 | 47,5 | 101,6 | 50 | 93,5 | 51 | 90,5 | 54,9 | 85,5 | 47 |
| 101 | 47 | 101,3 | 49 | 94 | 50 | 91 | 54,7 | 86 | 46 |
| 100,9 | 46,5 | 101,1 | 48,5 | 92 | 49,5 | 90 | 54,65 | 84 | 45,6 |
| 100,8 | 46 | 101 | 48,3 | 90 | 49,1 | 89 | 54,6 | 82 | 45 |
| 100,7 | 45 | 100,8 | 48 | 87 | 49 | 88,5 | 52 | 81 | 44 |
| 100,6 | 44 | 100,4 | 47 | 86 | 48 | 88 | 50 | 80 | 43,5 |
| 100,5 | 43 | 100 | 46,5 | 85 | 47 | 87 | 49 | 79,8 | 43 |
| 99 | 42 | 98 | 46 | 84 | 46,8 | 85 | 48 | 79,6 | 42 |
| 97 | 41 | 97 | 45,4 | 83,5 | 46,1 | 83 | 47 | 79,4 | 41,5 |
| 95 | 40,5 | 96 | 45 | 83 | 46,5 | 81 | 46 | 79,2 | 41 |
| 93 | 40 | 95 | 44 | 82,5 | 46,8 | 80 | 45 | 78,9 | 40 |
| 91 | 39,8 | 93,5 | 43 | 82,3 | 47 | 79,8 | 44 | 78,6 | 39,5 |
| 90 | 39,5 | 91 | 42 | 81 | 47,2 | 79,6 | 43 | 77 | 39,1 |
| 88 | 39 | 90 | 41,3 | 80 | 47,4 | 79,4 | 42,6 | 76 | 39 |
| 85 | 38,5 | 87 | 41 | 79 | 45 | 79,1 | 41 | 73 | 38,9 |
| 83 | 38 | 85 | 40 | 78 | 42 | 78,9 | 40 | 72 | 38,85 |
| 80 | 37 | 84,8 | 39 | 77,6 | 40 | 78,8 | 38 | 70,8 | 38,82 |
| 78 | 36,2 | 82 | 38,1 | 77 | 38,6 | 78,6 | 37,7 | 69 | 38,8 |
| 76 | | 79 | | 76 | | 78,4 | | 67 | |

| Intenzita elektrického pole - směr pohybu pohonu dolu (V/m) ME3851A | | | | | | | | | |
|---|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | |
| 29,3 | 5,8 | 40,4 | 5,6 | 89,7 | 3,45 | 45,5 | 1,3 | 16,6 | 7,5 |
| 27 | 5,6 | 35 | 5,3 | 79 | 3,5 | 36 | 1 | 17,2 | 7 |
| 26 | 5,4 | 33 | 5 | 65 | 3,6 | 29 | 0,8 | 17,8 | 6,7 |
| 24 | 5,1 | 28 | 5,02 | 51 | 4 | 21 | 1,9 | 19 | 8 |
| 22 | 5 | 25 | 5,04 | 38 | 4,6 | 18 | 3 | 20 | 12 |
| 20,7 | 4,8 | 21,2 | 5,06 | 26,9 | 5,1 | 14 | 4,2 | 21,3 | 13 |
| 18 | 4,4 | 18 | 5,08 | 21 | 6 | 11 | 5,5 | 16 | 14 |
| 14 | 4,2 | 14 | 5,1 | 17 | 6,7 | 9 | 7,3 | 13 | 15,1 |
| 10 | 3,9 | 11 | 5,2 | 13 | 6 | 7 | 7,35 | 9 | 15 |
| 8 | 3,8 | 8 | 5,4 | 11 | 5,7 | 5 | 7,4 | 8 | 14,9 |
| 6,2 | 3,6 | 6 | 5,6 | 9,7 | 5,3 | 4,2 | 7,43 | 7,8 | 14,8 |
| 12 | 3,5 | 5,5 | 5,8 | 9,5 | 4,6 | 4,1 | 7,47 | 7,1 | 14,7 |
| 18 | 3,4 | 5 | 6 | 9 | 4,2 | 3,8 | 7,5 | 6,6 | 14,6 |
| 23 | 3,3 | 4,8 | 5,8 | 8,5 | 4,1 | 3,5 | 7,7 | 6,4 | 14,9 |
| 28 | 3,1 | 4,5 | 5,6 | 8 | 4 | 3,2 | 7,9 | 6 | 15,2 |
| 33,2 | 2,8 | 4,1 | 5,2 | 7,9 | 3,96 | 3 | 8,1 | 5,9 | 15,4 |
| 30 | 2,7 | 4 | 5 | 7,5 | 3,94 | 2,99 | 8,3 | 8 | 15,7 |
| 27 | 2,5 | 3,95 | 4,7 | 7 | 3,9 | 2,96 | 8,4 | 13 | 15,8 |
| 25 | 2,4 | 3,9 | 4,4 | 6,3 | 3,8 | 2,94 | 8,1 | 17 | 14,5 |
| 23 | 2,8 | 3,85 | 4,1 | 5,9 | 3,7 | 2,92 | 7,9 | 19 | 13 |
| 21 | 3,1 | 3,8 | 3,8 | 5,5 | 3,6 | 2,9 | 7,8 | 20,1 | 12,6 |
| 19,9 | 3,8 | 3,82 | 3,6 | 5,2 | 3,5 | 3 | 7,75 | 19 | 12 |
| 22 | 4,2 | 3,84 | 3,5 | 4,9 | 3,4 | 3,1 | 7,7 | 18 | 11,9 |
| 26 | 4,6 | 3,86 | 5 | 4,5 | 3,5 | 3,2 | 7,72 | 17 | 12,3 |
| 30 | 4,2 | 3,88 | 7 | 4,1 | 3,6 | 3,2 | 7,74 | 16,9 | 12,6 |
| 33 | 3,7 | 3,9 | 9,5 | 4 | 3,8 | 3,4 | 7,76 | 16,8 | 13 |
| 37,5 | 3,1 | 3,6 | 11 | 3,9 | 3,9 | 3 | 7,78 | 16 | 13,2 |
| 30 | 2,7 | 3,3 | 11,5 | 3,8 | 4 | 2,8 | 7,8 | 15 | 13,6 |
| 23 | 2,5 | 3 | 11 | 3,7 | 4,3 | 2,3 | 8,2 | 14 | 13,8 |
| 14 | 2,7 | 2,8 | 10,5 | 3,6 | 4,6 | 1,9 | 8,1 | 13,9 | 12,5 |
| 8 | 3 | 2,6 | 10 | 3,5 | 4,9 | 1,5 | 8 | 13,7 | 12,3 |
| 5,4 | 3,1 | 2,65 | 9 | 3,55 | 5 | 1,8 | 7,9 | 13,68 | 11 |
| 5,35 | 3,2 | 2,7 | 8,7 | 3,6 | 5,2 | 2 | 7,78 | 13,66 | 10,4 |
| 5,3 | 3,4 | 2,74 | 9 | 3,7 | 8 | 2,4 | 7,7 | 13,64 | 9,9 |
| 5,2 | 4 | 2,78 | 10 | 3,8 | 7,8 | 2,7 | 7,5 | 13,62 | 9,3 |
| 5,1 | 5 | 2,8 | 10,5 | 3,9 | 7,6 | 2,9 | 7,3 | 13,6 | 8,7 |
| 5 | 5,5 | 3,3 | 11,5 | 3,7 | 7,3 | 2,8 | 7,2 | 13 | 8,2 |
| 5,2 | 6,4 | 4 | 12,1 | 3,6 | 7,2 | 2,7 | 7,1 | 12 | 7,8 |
| 5,4 | 7 | 5 | 11,8 | 3,5 | 7,1 | 2,65 | 6,9 | 11,6 | 7,4 |
| 5,6 | 8 | 6 | 11,4 | 3,4 | 6,95 | 2,6 | 6,8 | 11,2 | 6,9 |
| 5,8 | 9 | 6,4 | 11 | 3,3 | 6,84 | 2,5 | 6,7 | 10,8 | 6,7 |
| 6,1 | 11,9 | 6,2 | 10,5 | 3,35 | 6,7 | 2,1 | 6,5 | 9 | 6,65 |
| 6 | | 6 | | 3,4 | | 1,7 | | 8 | |

| Intenzita elektrického pole - směr pohybu pohonu nahoru (V/m) ME3851A | | | | | | | | | |
|---|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | |
| 13,3 | 3,4 | 56,2 | 3,34 | 50,1 | 3,5 | 24,2 | 3,34 | 31,9 | 3,4 |
| 13 | 3,5 | 51 | 3,38 | 42 | 3,8 | 27 | 3,38 | 28 | 3,5 |
| 12 | 3,6 | 47 | 3,4 | 34 | 4 | 28 | 3,4 | 26 | 3,6 |
| 11 | 3,65 | 42 | 3,2 | 26 | 3,96 | 29 | 3,2 | 24 | 3,65 |
| 10,5 | 3,7 | 39 | 2,9 | 14 | 3,88 | 30 | 2,9 | 21 | 3,7 |
| 9,3 | 3,8 | 34,4 | 2,7 | 10,9 | 3,81 | 31,8 | 2,7 | 20 | 3,8 |
| 6 | 3,85 | 29 | 2,5 | 8 | 3,8 | 25 | 2,5 | 18 | 3,85 |
| 4 | 3,9 | 20 | 2,3 | 6 | 3,7 | 21 | 2,3 | 15 | 3,9 |
| 3 | 4 | 16 | 4,3 | 5,3 | 3,72 | 15 | 4,3 | 13 | 4 |
| 2 | 4,1 | 12 | 4,3 | 4,1 | 3,74 | 9 | 4,3 | 12 | 4,1 |
| 1,7 | 4,2 | 7,8 | 4,35 | 3,6 | 3,76 | 7,8 | 4,35 | 1,7 | 4,2 |
| 1,6 | 4,3 | 7,4 | 4,4 | 3,4 | 3,78 | 7,4 | 4,4 | 1,6 | 4,3 |
| 1,5 | 4,4 | 7 | 4,5 | 3,1 | 3,8 | 7 | 4,5 | 1,5 | 4,4 |
| 1,4 | 4,6 | 6,5 | 4,6 | 3 | 3,6 | 6,5 | 4,6 | 1,4 | 4,6 |
| 1,3 | 4,7 | 6 | 4,8 | 2,9 | 3,3 | 6 | 4,8 | 1,3 | 4,7 |
| 1,2 | 5 | 5,4 | 5 | 2,8 | 3 | 5,4 | 5 | 1,2 | 5 |
| 1 | 5,2 | 5 | 5,1 | 2,86 | 2,9 | 5 | 5,1 | 1 | 5,2 |
| 0,8 | 5,4 | 4 | 5,2 | 2,89 | 2,8 | 4 | 5,2 | 0,8 | 5,4 |
| 0,7 | 5 | 3,5 | 5,3 | 2,93 | 3,2 | 3,5 | 5,3 | 0,7 | 5 |
| 0,5 | 4 | 3 | 5,4 | 2,97 | 3,4 | 3 | 5,4 | 0,5 | 4 |
| 0,4 | 3,8 | 2,2 | 5,5 | 3 | 3,6 | 2,2 | 5,5 | 0,4 | 3,8 |
| 0,45 | 3,7 | 2,4 | 5,4 | 2,96 | 3,9 | 2,4 | 5,4 | 0,45 | 3,7 |
| 0,5 | 3,5 | 2,6 | 5,3 | 2,91 | 4 | 2,6 | 5,3 | 0,5 | 3,5 |
| 0,6 | 3,3 | 2,8 | 5,2 | 2,84 | 4,2 | 2,8 | 5,2 | 0,6 | 3,3 |
| 0,7 | 3,1 | 2,9 | 5,1 | 2,76 | 4,4 | 2,9 | 5,1 | 0,7 | 3,1 |
| 0,8 | 2,8 | 3 | 5 | 2,7 | 4,6 | 3 | 5 | 0,8 | 2,8 |
| 0,85 | 2,5 | 2,9 | 4,9 | 2,6 | 4,7 | 2,9 | 4,9 | 0,85 | 2,5 |
| 0,9 | 2,8 | 2,8 | 4,5 | 2,4 | 4,9 | 2,8 | 4,5 | 0,9 | 2,8 |
| 0,95 | 3 | 2,7 | 4,6 | 2,3 | 5 | 2,7 | 4,6 | 0,95 | 3 |
| 1 | 3,5 | 2,6 | 4,65 | 2,2 | 5,1 | 2,6 | 4,65 | 1 | 3,5 |
| 1,1 | 3,8 | 2,5 | 4,73 | 2,1 | 5,2 | 2,5 | 4,73 | 1,1 | 3,8 |
| 1,12 | 3,9 | 2,7 | 4,86 | 2,15 | 5,4 | 2,7 | 4,86 | 1,12 | 3,9 |
| 1,14 | 3,8 | 2,8 | 4,9 | 2,19 | 5,3 | 2,8 | 4,9 | 1,14 | 3,8 |
| 1,17 | 3,75 | 2,9 | 5,6 | 2,24 | 5,2 | 2,9 | 5 | 1,17 | 3,75 |
| 1,19 | 3,7 | 3 | 5,5 | 2,28 | 5,1 | 3 | 5,1 | 1,19 | 3,7 |
| 1,2 | 3,65 | 3,1 | 5,4 | 2,3 | 5 | 3,1 | 5,2 | 1,2 | 3,65 |
| 1,5 | 3,6 | 3,12 | 5,3 | 2,1 | 4,8 | 3,12 | 5,3 | 1,5 | 3,6 |
| 1,9 | 3,55 | 3,14 | 5,1 | 1,9 | 4,6 | 3,14 | 5,2 | 1,9 | 3,55 |
| 2,4 | 3,5 | 3,16 | 4,9 | 1,7 | 4,4 | 3,16 | 5,1 | 2,4 | 3,5 |
| 2,8 | 3,48 | 3,18 | 4,7 | 1,65 | 4,2 | 3,18 | 5 | 2,8 | 3,48 |
| 3,1 | 3,25 | 3,2 | 4,5 | 1,6 | 4 | 3,2 | 4,9 | 3,1 | 3,25 |
| 3,2 | 3,11 | 3,25 | 4,1 | 2,4 | 3,9 | 3,25 | 4,6 | 3,2 | 3,11 |
| 3,3 | | 3,3 | | 2,95 | | 3,3 | | 3,3 | |

| Intenzita magnetického pole - směr pohybu pohonu dolů (nT) ME3851A | | | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | |
| 279,2 | 2671 | 280,5 | 2315 | 258,8 | 1941 | 264,2 | 2570 | 263,8 | 2874 |
| 283 | 2693 | 286 | 2106 | 276 | 1849 | 271 | 2571 | 271 | 2873 |
| 286 | 2737,8 | 300 | 1999,3 | 289 | 1775,7 | 298 | 2572,9 | 285 | 2872,7 |
| 289 | 2654 | 317 | 2136 | 325 | 1856 | 321 | 2613 | 294 | 2643 |
| 290 | 2543 | 326 | 2268 | 349 | 1926 | 338 | 2711 | 301 | 2581 |
| 292,3 | 2346 | 329,9 | 2394 | 381,1 | 2041 | 347,5 | 2786 | 309,7 | 2493 |
| 299 | 2217 | 364 | 2500 | 396 | 2181 | 365 | 2838 | 321 | 2448 |
| 321 | 2163,4 | 378 | 2647,1 | 407 | 2226,1 | 382 | 2865,5 | 348 | 2429,7 |
| 346 | 2248 | 395 | 2777 | 438 | 2500 | 411 | 2796 | 359 | 2587 |
| 395 | 2362 | 428 | 2836 | 460 | 2638 | 445 | 2684 | 372 | 2701 |
| 443,2 | 2413 | 461,1 | 2941 | 470,3 | 2901 | 489,6 | 2613 | 386,1 | 2864 |
| 500 | 2475 | 495 | 3000 | 496 | 3114 | 523 | 2584 | 425 | 2948 |
| 583 | 2591,8 | 541 | 3023 | 568 | 3281,2 | 576 | 2568,7 | 471 | 3031,9 |
| 600 | 2513 | 578 | 3024 | 628 | 3125 | 601 | 2531 | 500 | 2856 |
| 672 | 2453 | 623 | 3025 | 685 | 3056 | 632 | 2500 | 517 | 2613 |
| 718,6 | 2371 | 683,7 | 3026 | 721 | 2865 | 652,8 | 2468 | 524,5 | 2425 |
| 776 | 2296 | 756 | 3027 | 781 | 2798 | 681 | 2453 | 573 | 2394 |
| 842 | 2277,9 | 882 | 3028,3 | 845 | 2779,1 | 725 | 2434,9 | 642 | 2378,3 |
| 893 | 2156 | 946 | 2846 | 911 | 2432 | 769 | 2365 | 688 | 2156 |
| 973 | 2067 | 999 | 2413 | 976 | 2089 | 800 | 2156 | 717 | 2036 |
| 1046,8 | 1974 | 1054 | 2115 | 1052,6 | 1869 | 828,3 | 2104 | 744,3 | 1938 |
| 1100 | 1998 | 1138 | 2000 | 1086 | 1798 | 914 | 2038 | 799 | 1883 |
| 1278 | 1840,3 | 1249 | 1963,8 | 1123 | 1746,8 | 1082 | 1960,2 | 891 | 1838,5 |
| 1356 | 1645 | 1326 | 1700 | 1174 | 1548 | 1201 | 1785 | 964 | 1625 |
| 1426 | 1328 | 1387 | 1558 | 1189 | 1435 | 1306 | 1564 | 1032 | 1439 |
| 1471 | 1268 | 1401,6 | 1323 | 1200,1 | 1212 | 1387,2 | 1326 | 1078,4 | 1320 |
| 1498 | 1186 | 1562 | 1290 | 1376 | 1086 | 1461 | 1279 | 1123 | 1290 |
| 1563 | 1071,2 | 1693 | 1260 | 1489 | 994 | 1586 | 1256,8 | 1188 | 1284,4 |
| 1611 | 968 | 1801 | 1120 | 1620 | 932 | 1703 | 1111 | 1205 | 1136 |
| 1698 | 903 | 1926 | 1035 | 1752 | 900 | 1778 | 1020 | 1228 | 1059 |
| 1732,2 | 846 | 2027,8 | 867 | 1803 | 862 | 1810,1 | 953 | 1232,9 | 997 |
| 1868 | 796 | 2240 | 801 | 2158 | 823 | 2256 | 873 | 1568 | 900 |
| 2000 | 766,6 | 2380 | 798,2 | 2369 | 803,3 | 2538 | 817,6 | 1832 | 829 |
| 2156 | 665 | 2412 | 700 | 2681 | 736 | 2762 | 736 | 2110 | 769 |
| 2331 | 606 | 2578 | 652 | 2853 | 700 | 2869 | 682 | 2331 | 712 |
| 2476,2 | 586 | 2760,3 | 614 | 3079,3 | 689 | 2901,1 | 603 | 2481,7 | 649 |
| 2482 | 497 | 2768 | 591 | 2986 | 643 | 2835 | 589 | 2536 | 591 |
| 2491 | 481,9 | 2772 | 577,7 | 2846 | 619,7 | 2713 | 574,4 | 2678 | 552,2 |
| 2496 | 425 | 2778 | 534 | 2723 | 559 | 2648 | 500 | 2721 | 468 |
| 2500 | 400 | 2780 | 500 | 2692 | 487 | 2591 | 453 | 2810 | 403 |
| 2503,6 | 368 | 2781,9 | 452 | 2649,4 | 426 | 2565,5 | 385 | 2879,2 | 388 |
| 2558 | 337,9 | 2613 | 405,1 | 2386 | 397,3 | 2567 | 377,5 | 2878 | 374,6 |
| 2612 | | 2438 | | 2012 | | 2568 | | 2876 | |

| Intenzita magnetického pole - směr pohybu pohonu nahoru (nT) ME3851A | | | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | | 5. hladina | |
| 214,9 | 2324 | 212,7 | 2639 | 208,6 | 2599 | 219,8 | 2849 | 286,8 | 2405 |
| 236 | 2317 | 236 | 2599 | 243 | 2368 | 236 | 2865 | 291 | 2215 |
| 267 | 2305,2 | 286 | 2574,9 | 261 | 2122,2 | 254 | 2870,4 | 299 | 2150,8 |
| 289 | 2486 | 294 | 2648 | 288 | 2363 | 268 | 2810 | 305 | 2189 |
| 300 | 2568 | 317 | 2786 | 302 | 2512 | 272 | 2695 | 312 | 2245 |
| 309,3 | 2748 | 328,9 | 2846 | 337,7 | 2668 | 287,4 | 2587 | 318,3 | 2279 |
| 336 | 2911 | 343 | 2993 | 346 | 2713 | 313 | 2493 | 328 | 2286 |
| 359 | 3042,8 | 355 | 3111,4 | 375 | 2787,8 | 364 | 2410,7 | 348 | 2297,5 |
| 388 | 2945 | 369 | 3168 | 394 | 2790 | 398 | 2686 | 359 | 2489 |
| 412 | 2876 | 373 | 3201 | 421 | 2812 | 436 | 2784 | 371 | 2600 |
| 441,9 | 2801 | 378,4 | 3249 | 449,7 | 2843 | 479,6 | 2915 | 380,8 | 2782 |
| 479 | 2759 | 426 | 3287 | 489 | 2856 | 523 | 3043 | 421 | 2863 |
| 523 | 2703,9 | 501 | 3306 | 532 | 2874,5 | 589 | 3171,9 | 462 | 2914,3 |
| 586 | 2703,9 | 586 | 3141 | 586 | 2813 | 614 | 3059 | 488 | 2900 |
| 617 | 2703,9 | 649 | 2968 | 622 | 2756 | 656 | 2931 | 507 | 2814 |
| 654,1 | 2704 | 727,4 | 2732 | 697,2 | 2711 | 680,8 | 2816 | 530,3 | 2736 |
| 767 | 2704 | 768 | 2612 | 777 | 2663 | 726 | 2626 | 596 | 2665 |
| 842 | 2704,1 | 814 | 2595,6 | 894 | 2621,3 | 825 | 2516,3 | 641 | 2639,3 |
| 939 | 2546 | 873 | 2438 | 1046 | 2514 | 886 | 2465 | 700 | 2516 |
| 986 | 2375 | 913 | 2315 | 1112 | 2433 | 936 | 2391 | 762 | 2394 |
| 1010,6 | 2130 | 945,5 | 2167 | 1133,9 | 2312 | 994,2 | 2300 | 805,4 | 2300 |
| 1208 | 1998 | 1036 | 2036 | 1103 | 2289 | 1016 | 2276 | 828 | 2196 |
| 1336 | 1870,6 | 1162 | 1910,9 | 1089 | 2219,5 | 1001 | 2221,8 | 876 | 2101,9 |
| 1412 | 1625 | 1301 | 1752 | 1068 | 1856 | 1126 | 1968 | 919 | 1903 |
| 1541 | 1436 | 1388 | 1298 | 1045 | 1469 | 1188 | 1682 | 948 | 1605 |
| 1597,1 | 1374 | 1496,5 | 963 | 1027,3 | 1342 | 1214,9 | 1343 | 984,8 | 1387 |
| 1645 | 1287 | 1780 | 825 | 1363 | 1289 | 1568 | 1218 | 1136 | 1290 |
| 1701 | 1216,2 | 1926 | 766 | 1589 | 1287,9 | 1782 | 1153,7 | 1325 | 1248,6 |
| 1788 | 1123 | 2143 | 789 | 1824 | 1023 | 1956 | 1036 | 1468 | 1111 |
| 1834 | 1028 | 2386 | 812 | 1969 | 968 | 2149 | 937 | 1597 | 1031 |
| 1894,5 | 996 | 2501 | 845 | 2103,8 | 914 | 2306,3 | 864 | 1711,1 | 942 |
| 2123 | 897 | 2534 | 851 | 2189 | 891 | 2516 | 792 | 1868 | 886 |
| 2369 | 816,2 | 2612 | 861,3 | 2268 | 873,7 | 2768 | 756,8 | 2000 | 807,8 |
| 2561 | 723 | 2638 | 735 | 2342 | 805 | 2912 | 700 | 2276 | 726 |
| 2688 | 631 | 2645 | 678 | 2400 | 762 | 3000 | 683 | 2388 | 681 |
| 2737,3 | 426 | 2659,7 | 624 | 2430,7 | 710 | 3037,3 | 645 | 2512,4 | 600 |
| 2658 | 367 | 2736 | 588 | 2648 | 666 | 2936 | 586 | 2765 | 581 |
| 2496 | 323,4 | 2798 | 573,2 | 2768 | 622 | 2875 | 574 | 2896 | 538,3 |
| 2413 | 325 | 2845 | 503 | 2916 | 542 | 2825 | 500 | 2965 | 476 |
| 2390 | 328 | 2890 | 487 | 3012 | 486 | 2797 | 445 | 3095 | 408 |
| 2377,6 | 329 | 2971,9 | 436 | 3114,9 | 462 | 2793 | 398 | 3122,6 | 388 |
| 2363 | 330,2 | 2900 | 422,1 | 2963 | 434,3 | 2800 | 364,6 | 2868 | 375,9 |
| 2351 | | 2736 | | 2713 | | 2823 | | 2624 | |

| Intenzita elektrického pole (max. hodnoty - dBm), z=5 cm | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|---------|------------|--------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| -74,49 | -73,82 | -75,9 | -76,12 | -75,81 | -76,41 | -75,9 | -76,16 |
| -74,56 | -75,86 | -75,91 | -76,24 | -76 | -76,32 | -75,92 | -76,29 |
| -74,92 | -75,9 | -75,93 | -76,31 | -76,12 | -76,24 | -75,93 | -76,49 |
| -75,3 | -75,98 | -75,95 | -76,49 | -76,43 | -76,22 | -75,75 | -76,5 |
| -75,86 | -76,04 | -75,97 | -76,5 | -76,77 | -76,21 | -75,97 | -76,51 |
| -76,01 | -76,18 | -75,98 | -76,52 | -76,92 | -76,2 | -75,98 | -76,52 |
| -75,88 | -76,32 | -76,12 | -76,53 | -76,85 | -76,19 | -76,26 | -76,53 |
| -75,71 | -76,62 | -76,48 | -76,54 | -76,68 | -76,18 | -76,58 | -76,54 |
| -75,64 | -76,43 | -76,72 | -76,37 | -76,6 | -76,17 | -76,87 | -76,32 |
| -75,57 | -76,22 | -76,99 | -76,14 | -76,51 | -76,165 | -77,09 | -76,14 |
| -75,54 | -76,06 | -77,36 | -75,94 | -76,43 | -76,16 | -77,36 | -75,91 |
| -75,61 | -75,98 | -77,18 | -75,77 | -76,42 | -76,155 | -77,17 | -75,74 |
| -75,86 | -75,8 | -77,03 | -75,66 | -76,41 | -76,15 | -76,94 | -75,66 |
| -75,93 | -75,76 | -76,89 | -75,81 | -76,4 | -76,145 | -76,83 | -75,81 |
| -75,99 | -75,73 | -76,75 | -75,99 | -76,39 | -76,14 | -76,75 | -75,96 |
| -76,02 | -75,68 | -76,64 | -76,16 | -76,38 | -76,13 | -76,64 | -76,13 |
| -75,89 | -75,66 | -76,38 | -76,21 | -76,35 | -76,125 | -76,37 | -76,2 |
| -75,74 | -75,63 | -76,17 | -76,28 | -76,3 | -76,12 | -76,14 | -76,28 |
| -75,69 | -75,55 | -76 | -76,18 | -76,27 | -76,1 | -75,96 | -76,24 |
| -75,6 | -75,42 | -75,96 | -76,09 | -76,24 | -76,08 | -75,91 | -76,18 |
| -75,56 | -75,3 | -75,89 | -76 | -76,21 | -76,06 | -75,89 | -76,04 |
| -75,67 | -75,14 | -75,97 | -75,97 | -76,29 | -76,05 | -75,94 | -75,97 |
| -75,74 | -75,01 | -76,06 | -75,96 | -76,34 | -76,04 | -76,02 | -75,96 |
| -75,87 | -75,04 | -76,14 | -76 | -76,39 | -76,03 | -76,14 | -76 |
| -75,94 | -75,09 | -76,19 | -76,09 | -76,44 | -76,02 | -76,19 | -76,14 |
| -76,2 | -75,11 | -76,24 | -76,14 | -76,48 | -76,02 | -76,24 | -76,2 |
| -76,18 | -75,12 | -76,29 | -76,21 | -76,5 | -76,015 | -76,29 | -76,23 |
| -76,16 | -75,13 | -76,34 | -76,28 | -76,52 | -76,01 | -76,34 | -76,28 |
| -76,14 | -75,46 | -76,39 | -76,39 | -76,53 | -75,96 | -76,38 | -76,35 |
| -76,13 | -75,67 | -76,41 | -76,47 | -76,55 | -75,91 | -76,4 | -76,47 |
| -76,12 | -75,84 | -76,42 | -76,53 | -76,56 | -75,84 | -76,42 | -76,64 |
| -75,98 | -76,04 | -76,49 | -76,58 | -76,57 | -75,79 | -76,54 | -76,81 |
| -75,64 | -76,21 | -76,56 | -76,61 | -76,59 | -75,74 | -76,62 | -76,83 |
| -75,13 | -76,17 | -76,67 | -76,67 | -76,6 | -75,73 | -76,7 | -76,85 |
| -74,64 | -76,11 | -76,76 | -76,73 | -76,61 | -75,72 | -76,77 | -76,87 |
| -74,16 | -76,07 | -76,83 | -76,91 | -76,62 | -75,71 | -76,83 | -76,9 |
| -74,93 | -75,99 | -76,61 | -76,55 | -76,67 | -75,7 | -76,52 | -76,91 |
| -75,14 | -75,96 | -76,38 | -76,42 | -76,7 | -75,69 | -76,24 | -76,85 |
| -75,38 | -75,9 | -76 | -76,27 | -76,75 | -75,68 | -76,04 | -76,78 |
| -75,56 | -75,84 | -75,8 | -76,13 | -76,8 | -75,67 | -75,82 | -76,67 |
| -75,68 | -75,78 | -75,64 | -75,77 | -76,84 | -75,66 | -75,64 | -76,45 |
| -73,71 | -75,7 | -75,81 | -75,28 | -76,74 | -75,65 | -75,86 | -76,13 |
| -73,78 | | -75,92 | | -76,56 | | -75,98 | |

| Intenzita elektrického pole (min. hodnoty - dBm), z=5 cm | | | | | | | |
|--|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| -105,6 | -102,81 | -101,6 | -101,2 | -102 | -102,84 | -105,6 | -101,1 |
| -106,3 | -102,32 | -101,55 | -101,3 | -102,3 | -102,93 | -105,8 | -100,3 |
| -107,8 | -102 | -101,48 | -101,7 | -102,7 | -103 | -106,4 | -99,61 |
| -108,4 | -101,7 | -101,32 | -102 | -102,96 | -102,98 | -107,9 | -100,4 |
| -108,9 | -101,2 | -101,26 | -102,6 | -103,2 | -102,96 | -109,3 | -101,6 |
| -109,6 | -100,4 | -101,12 | -103 | -103,4 | -102,94 | -110,7 | -102,9 |
| -110,7 | -99,61 | -101,24 | -103,4 | -103,25 | -102,92 | -111,2 | -103,7 |
| -111,2 | -100 | -101,41 | -103,2 | -103,08 | -102,9 | -112 | -104,2 |
| -111,9 | -101,2 | -101,52 | -102,7 | -102,78 | -102,84 | -112,8 | -103,85 |
| -112,4 | -102,9 | -101,63 | -102,5 | -102,46 | -102,8 | -113,3 | -103,22 |
| -112,9 | -103,6 | -101,7 | -102,4 | -102,16 | -102,72 | -113,6 | -102,87 |
| -113,6 | -104,2 | -101,86 | -102,3 | -102 | -102,68 | -111,3 | -102,61 |
| -111,1 | -103,9 | -101,92 | -102,5 | -101,89 | -102,63 | -107,1 | -102 |
| -108,7 | -103,2 | -102,15 | -102,67 | -101,74 | -102,79 | -106,5 | -103,2 |
| -106,3 | -103 | -102,21 | -102,78 | -101,62 | -102,83 | -105,1 | -104 |
| -105,2 | -102,8 | -102,3 | -102,89 | -101,48 | -102,86 | -104,1 | -105,3 |
| -104,9 | -102,3 | -102,41 | -103 | -101,69 | -102,99 | -104,8 | -105,8 |
| -104,5 | -102 | -102,51 | -102,97 | -101,84 | -103,05 | -105,3 | -106,3 |
| -104,1 | -102,6 | -102,63 | -102,95 | -102 | -103,08 | -105,7 | -106,46 |
| -104,7 | -103,5 | -102,68 | -102,85 | -102,06 | -103,12 | -106 | -106,71 |
| -105,1 | -103,8 | -102,7 | -102,8 | -102,24 | -102,88 | -106,2 | -106,93 |
| -105,5 | -104 | -102,85 | -102,76 | -102,12 | -102,77 | -104,6 | -107,05 |
| -105,7 | -104,4 | -102,97 | -102,89 | -101,86 | -102,69 | -103 | -107,12 |
| -106 | -104,8 | -103,24 | -103,24 | -101,53 | -102,64 | -101,9 | -106,84 |
| -106,2 | -105,5 | -103,41 | -103,75 | -101,4 | -102,21 | -100 | -106,37 |
| -104,3 | -106,3 | -103,6 | -103,96 | -101,32 | -102 | -99,45 | -106,12 |
| -109 | -106,5 | -103,51 | -104,36 | -101,46 | -101,9 | -100,1 | -106 |
| -101,9 | -106,7 | -103,47 | -104 | -101,51 | -101,89 | -101,2 | -105,84 |
| -100 | -106,9 | -103,41 | -103,67 | -101,58 | -101,88 | -102,4 | -105,66 |
| -99,45 | -107,1 | -103,35 | -103,12 | -101,63 | -101,87 | -102,9 | -105,14 |
| -100 | -107,12 | -103,3 | -102,86 | -101,68 | -101,86 | -103,12 | -104,99 |
| -101,6 | -106,8 | -103 | -102,61 | -101,7 | -101,84 | -103,45 | -104,87 |
| -102 | -104 | -102,61 | -102,44 | -101,72 | -101,8 | -103,67 | -104,68 |
| -102,7 | -103,2 | -102,47 | -102,06 | -101,74 | -101,74 | -103,94 | -104,59 |
| -103,12 | -102,3 | -102,36 | -101,88 | -101,75 | -101,69 | -104,05 | -104,41 |
| -103,3 | -100,7 | -102,18 | -101,75 | -101,76 | -101,67 | -104,2 | -104 |
| -103,5 | -100,8 | -101,99 | -101,6 | -101,82 | -101,66 | -103,8 | -103,88 |
| -103,7 | -100,9 | -101,58 | -101,8 | -101,88 | -101,64 | -103,45 | -103,62 |
| -104 | -101,2 | -101 | -101,94 | -101,93 | -101,62 | -103,17 | -103,48 |
| -104,2 | -101,3 | -100,5 | -102 | -101,95 | -101,58 | -102,96 | -103,25 |
| -103,7 | -101,2 | -100,71 | -102,1 | -101,98 | -101,54 | -102,32 | -103,17 |
| -103,4 | -101,1 | -100,89 | -102,2 | -102,2 | -101,5 | -102,12 | -103,04 |
| -102,9 | | -101,1 | | -102,57 | | -101,75 | |

| Intenzita elektrického pole (max. hodnoty - dBm), z=3 cm | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| -77,5 | -75,97 | -76,51 | -76,96 | -76,73 | -77,86 | -76,51 | -76,96 |
| -77,53 | -76,18 | -76,68 | -76,46 | -76,75 | -78,04 | -76,68 | -76,46 |
| -77,55 | -76,29 | -76,81 | -76 | -76,79 | -78,16 | -76,81 | -76 |
| -77,58 | -76,54 | -76,94 | -75,53 | -76,81 | -78 | -76,94 | -75,53 |
| -77,6 | -76,88 | -77,17 | -74,98 | -76,84 | -77,88 | -77,17 | -74,98 |
| -77,61 | -76,9 | -77,25 | -74,64 | -76,86 | -77,72 | -77,25 | -74,64 |
| -77,63 | -76,91 | -77,32 | -74,88 | -76,8 | -77,68 | -77,32 | -74,88 |
| -77,65 | -76,93 | -77,14 | -74,95 | -76,75 | -77,61 | -77,14 | -74,95 |
| -77,68 | -76,95 | -76,88 | -75,04 | -76,68 | -77,35 | -76,88 | -75,04 |
| -77,7 | -76,96 | -76,51 | -75,19 | -76,61 | -77,21 | -76,51 | -75,19 |
| -76,71 | -77,12 | -76,28 | -75,24 | -76,58 | -76,76 | -76,28 | -75,24 |
| -76,68 | -77,24 | -76,07 | -75,27 | -76,54 | -76,48 | -76,07 | -75,27 |
| -76,64 | -77,41 | -76,14 | -75,3 | -76,61 | -76,29 | -76,14 | -75,3 |
| -76,59 | -77,55 | -76,38 | -75,33 | -76,75 | -76,17 | -76,38 | -75,33 |
| -76,56 | -77,59 | -76,65 | -75,36 | -76,82 | -76,11 | -76,65 | -75,36 |
| -76,51 | -77,41 | -76,69 | -75,38 | -76,91 | -75,99 | -76,69 | -75,38 |
| -76,6 | -77,32 | -76,89 | -75,4 | -76,98 | -75,97 | -76,89 | -75,4 |
| -76,72 | -77,16 | -76,77 | -75,41 | -77 | -75,95 | -76,77 | -75,41 |
| -76,79 | -77 | -76,42 | -75,42 | -76,53 | -76,01 | -76,42 | -75,42 |
| -76,88 | -76,91 | -76 | -75,43 | -76,36 | -76,1 | -76 | -75,43 |
| -74,95 | -76,64 | -75,76 | -75,29 | -76,13 | -76,13 | -75,76 | -75,29 |
| -75,26 | -76,29 | -75,48 | -75,19 | -75,86 | -76,15 | -75,48 | -75,19 |
| -75,59 | -76 | -75,52 | -75,04 | -75,49 | -76,11 | -75,52 | -75,04 |
| -75,87 | -75,85 | -75,58 | -74,96 | -75,23 | -76,26 | -75,58 | -74,96 |
| -75,93 | -75,35 | -75,64 | -74,95 | -75,68 | -76,38 | -75,64 | -74,95 |
| -76,28 | -75,46 | -75,66 | -75,06 | -75,89 | -76,49 | -75,66 | -75,06 |
| -76,45 | -75,49 | -75,67 | -75,13 | -76,32 | -76,73 | -75,67 | -75,13 |
| -76,68 | -75,54 | -75,76 | -75,19 | -76,67 | -76,97 | -75,76 | -75,19 |
| -76,42 | -75,61 | -75,84 | -75,24 | -76,98 | -76,91 | -75,84 | -75,24 |
| -76,19 | -75,68 | -75,91 | -75,26 | -76,75 | -76,86 | -75,91 | -75,26 |
| -75,89 | -75,74 | -75,98 | -75,28 | -76,54 | -76,8 | -75,98 | -75,28 |
| -75,71 | -75,81 | -76,1 | -75,29 | -76,46 | -76,72 | -76,1 | -75,29 |
| -75,66 | -75,96 | -76,35 | -75,3 | -76,4 | -76,68 | -76,35 | -75,3 |
| -75,84 | -75,99 | -76,57 | -75,31 | -76,38 | -76,62 | -76,57 | -75,31 |
| -75,99 | -76,01 | -76,88 | -75,31 | -76,2 | -76,71 | -76,88 | -75,31 |
| -76,16 | -76,02 | -77 | -75,46 | -76,12 | -76,8 | -77 | -75,46 |
| -76,17 | -76,04 | -77,43 | -75,64 | -76,04 | -76,86 | -77,43 | -75,64 |
| -76,18 | -76,06 | -77,89 | -75,84 | -75,99 | -76,91 | -77,89 | -75,84 |
| -76,09 | -76,07 | -77,65 | -75,98 | -75,98 | -76,97 | -77,65 | -75,98 |
| -75,98 | -76,08 | -77,49 | -76,28 | -76,43 | -76,64 | -77,49 | -76,28 |
| -75,93 | -75,86 | -77,35 | -76,3 | -76,88 | -76,39 | -77,35 | -76,3 |
| -75,88 | -75,74 | -77,21 | -76,31 | -76,99 | -76 | -77,21 | -76,31 |
| -75,82 | | -77,04 | | -77,24 | | -77,04 | |

| Intenzita elektrického pole (min. hodnoty - dBm), z=3 cm | | | | | | | |
|--|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| -100,33 | -102,24 | -101 | -101,52 | -100,33 | -102,24 | -100,33 | -102,24 |
| -100,27 | -102,04 | -101,09 | -101,34 | -100,27 | -102,04 | -100,27 | -102,04 |
| -100,19 | -101,79 | -101,16 | -101 | -100,19 | -101,79 | -100,19 | -101,79 |
| -100,18 | -101,8 | -101,22 | -101,63 | -100,18 | -101,8 | -100,18 | -101,8 |
| -100,17 | -101,83 | -101,26 | -101,99 | -100,17 | -101,83 | -100,17 | -101,83 |
| -100,16 | -101,86 | -101,28 | -102,34 | -100,16 | -101,86 | -100,16 | -101,86 |
| -100,08 | -101,88 | -101,35 | -102,57 | -100,08 | -101,88 | -100,08 | -101,88 |
| -100,03 | -101,91 | -101,64 | -102,96 | -100,03 | -101,91 | -100,03 | -101,91 |
| -99,89 | -101,95 | -101,84 | -103,16 | -99,89 | -101,95 | -99,89 | -101,95 |
| -99,72 | -102,1 | -101,98 | -103,25 | -99,72 | -102,1 | -99,72 | -102,1 |
| -99,58 | -102,25 | -102,04 | -103 | -99,58 | -102,25 | -99,58 | -102,25 |
| -99,46 | -102,3 | -102,18 | -102,88 | -99,46 | -102,3 | -99,46 | -102,3 |
| -99,63 | -102,24 | -102,01 | -102,63 | -99,63 | -102,24 | -99,63 | -102,24 |
| -99,86 | -102,08 | -101,91 | -102,56 | -99,86 | -102,08 | -99,86 | -102,08 |
| -100,3 | -101,94 | -101,84 | -102,29 | -100,3 | -101,94 | -100,3 | -101,94 |
| -100,65 | -101,85 | -101,73 | -102 | -100,65 | -101,85 | -100,65 | -101,85 |
| -100,85 | -101,6 | -101,69 | -101,86 | -100,85 | -101,6 | -100,85 | -101,6 |
| -101,15 | -101,58 | -101,65 | -101,64 | -101,15 | -101,58 | -101,15 | -101,58 |
| -101,2 | -101,56 | -101,58 | -101,37 | -101,2 | -101,56 | -101,2 | -101,56 |
| -101,21 | -101,53 | -101,5 | -101,2 | -101,21 | -101,53 | -101,21 | -101,53 |
| -101,22 | -101,5 | -101,45 | -101,31 | -101,22 | -101,5 | -101,22 | -101,5 |
| -101,24 | -101,36 | -101,43 | -101,45 | -101,24 | -101,36 | -101,24 | -101,36 |
| -101,25 | -101,21 | -101,34 | -101,58 | -101,25 | -101,21 | -101,25 | -101,21 |
| -101,26 | -101 | -101,18 | -101,6 | -101,26 | -101 | -101,26 | -101 |
| -101,27 | -100,79 | -101 | -101,36 | -101,27 | -100,79 | -101,27 | -100,79 |
| -101,28 | -100,7 | -100,88 | -101,21 | -101,28 | -100,7 | -101,28 | -100,7 |
| -101,27 | -100,68 | -100,65 | -101,09 | -101,27 | -100,68 | -101,27 | -100,68 |
| -101,26 | -101 | -100,46 | -100,86 | -101,26 | -101 | -101,26 | -101 |
| -101,24 | -101,36 | -100,39 | -100,64 | -101,24 | -101,36 | -101,24 | -101,36 |
| -101,21 | -101,68 | -100,28 | -100,38 | -101,21 | -101,68 | -101,21 | -101,68 |
| -101,2 | -101,86 | -100,17 | -100,59 | -101,2 | -101,86 | -101,2 | -101,86 |
| -101,56 | -102,1 | -100 | -100,75 | -101,56 | -102,1 | -101,56 | -102,1 |
| -101,69 | -102,26 | -99,87 | -100,88 | -101,69 | -102,26 | -101,69 | -102,26 |
| -101,83 | -102,72 | -99,74 | -101,23 | -101,83 | -102,72 | -101,83 | -102,72 |
| -101,99 | -102,64 | -99,69 | -101,45 | -101,99 | -102,64 | -101,99 | -102,64 |
| -102,09 | -102,34 | -99,68 | -101,68 | -102,09 | -102,34 | -102,09 | -102,34 |
| -102,19 | -102,21 | -100,3 | -101,72 | -102,19 | -102,21 | -102,19 | -102,21 |
| -102,36 | -101,88 | -100,64 | -101,89 | -102,36 | -101,88 | -102,36 | -101,88 |
| -102,48 | -101,8 | -100,86 | -102,08 | -102,48 | -101,8 | -102,48 | -101,8 |
| -102,67 | -101,72 | -101,25 | -102,19 | -102,67 | -101,72 | -102,67 | -101,72 |
| -102,7 | -101,68 | -101,68 | -102,06 | -102,7 | -101,68 | -102,7 | -101,68 |
| -102,55 | -101,56 | -101,9 | -102 | -102,55 | -101,56 | -102,55 | -101,56 |
| -102,38 | | -101,71 | | -102,38 | | -102,38 | |

| Intenzita elektrického pole (max. hodnoty - dBm), z=1 cm | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| -75,66 | -76,33 | -74,98 | -76,09 | -75,09 | -76,05 | -74,98 | -76,09 |
| -75,69 | -76,39 | -75,04 | -76,15 | -75,11 | -76,13 | -75,04 | -76,15 |
| -75,73 | -76,31 | -75,19 | -76,17 | -75,13 | -76,38 | -75,19 | -76,17 |
| -75,78 | -76,27 | -75,34 | -76,15 | -75,18 | -76,51 | -75,34 | -76,15 |
| -75,81 | -76,22 | -75,42 | -76,09 | -75,35 | -76,64 | -75,42 | -76,09 |
| -75,88 | -76,19 | -75,56 | -75,83 | -75,46 | -76,72 | -75,56 | -75,83 |
| -76 | -76,17 | -75,68 | -75,64 | -75,52 | -76,8 | -75,68 | -75,64 |
| -76,39 | -76,12 | -75,79 | -75,57 | -75,6 | -76,72 | -75,79 | -75,57 |
| -76,71 | -76,04 | -75,88 | -75,81 | -75,63 | -76,64 | -75,88 | -75,81 |
| -76,95 | -75,97 | -75,94 | -75,96 | -75,67 | -76,51 | -75,94 | -75,96 |
| -77,26 | -75,9 | -76,08 | -76,12 | -76 | -76,38 | -76,08 | -76,12 |
| -77,49 | -75,86 | -76,11 | -76,32 | -76,38 | -76,13 | -76,11 | -76,32 |
| -77,4 | -75,84 | -76,13 | -76,46 | -76,52 | -76,05 | -76,13 | -76,46 |
| -77,34 | -75,8 | -76,22 | -76,54 | -76,61 | -75,89 | -76,22 | -76,54 |
| -77,28 | -75,76 | -76,27 | -76,55 | -76,68 | -75,8 | -76,27 | -76,55 |
| -77,25 | -75,71 | -76,29 | -76,56 | -76,5 | -75,71 | -76,29 | -76,56 |
| -77,19 | -75,69 | -76,3 | -76,57 | -77,67 | -75,64 | -76,3 | -76,57 |
| -77,16 | -75,67 | -76,32 | -76,58 | -77,12 | -75,76 | -76,32 | -76,58 |
| -77,08 | -75,65 | -76,32 | -76,55 | -76,88 | -75,89 | -76,32 | -76,55 |
| -77 | -75,63 | -76,32 | -76,5 | -76,69 | -76,12 | -76,32 | -76,5 |
| -76,89 | -75,61 | -76,32 | -76,46 | -76,54 | -76,17 | -76,32 | -76,46 |
| -76,8 | -75,64 | -76,33 | -76,39 | -76,35 | -76,23 | -76,33 | -76,39 |
| -76,75 | -75,68 | -76,26 | -76,31 | -76,19 | -76,14 | -76,26 | -76,31 |
| -76,7 | -75,71 | -76,19 | -76,18 | -75,88 | -76,07 | -76,19 | -76,18 |
| -76,48 | -75,73 | -76,03 | -76,07 | -75,64 | -76 | -76,03 | -76,07 |
| -76,39 | -75,77 | -75,87 | -76 | -75,46 | -75,96 | -75,87 | -76 |
| -76,24 | -75,81 | -75,79 | -75,94 | -75,67 | -75,9 | -75,79 | -75,94 |
| -76,02 | -75,85 | -75,73 | -75,82 | -75,89 | -75,96 | -75,73 | -75,82 |
| -75,96 | -75,88 | -75,68 | -75,76 | -75,93 | -75,79 | -75,68 | -75,76 |
| -75,92 | -75,67 | -75,7 | -75,7 | -76,11 | -75,74 | -75,7 | -75,7 |
| -75,64 | -75,53 | -75,71 | -75,66 | -76,23 | -75,68 | -75,71 | -75,66 |
| -75,38 | -75,31 | -75,715 | -75,6 | -76,39 | -75,63 | -75,715 | -75,6 |
| -75,16 | -75,24 | -75,73 | -75,54 | -76,45 | -75,55 | -75,73 | -75,54 |
| -74,87 | -75,13 | -75,65 | -75,77 | -76,5 | -75,48 | -75,65 | -75,77 |
| -74,63 | -75,04 | -75,57 | -75,98 | -76,56 | -75,63 | -75,57 | -75,98 |
| -74,82 | -74,88 | -75,36 | -76,19 | -76,63 | -75,81 | -75,36 | -76,19 |
| -75,12 | -75,12 | -75,19 | -76,33 | -76,69 | -75,99 | -75,19 | -76,33 |
| -75,28 | -75,14 | -75,11 | -76,38 | -76,74 | -76,12 | -75,11 | -76,38 |
| -75,57 | -75,18 | -75 | -76,42 | -76,8 | -76,17 | -75 | -76,42 |
| -75,81 | -75,28 | -74,96 | -76,48 | -76,72 | -76,23 | -74,96 | -76,48 |
| -75,96 | -75,36 | -75,38 | -76,42 | -76,64 | -76,28 | -75,38 | -76,42 |
| -76,11 | -75,75 | -75,86 | -76,35 | -76,51 | -76,35 | -75,86 | -76,35 |
| -76,25 | | -75,96 | | -76,13 | | -75,96 | |

| Intenzita elektrického pole (min. hodnoty - dBm), z=1 cm | | | | | | | |
|--|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| 1. hladina | | 2. hladina | | 3. hladina | | 4. hladina | |
| 100,33 | -102,24 | -101 | -101,52 | -100,33 | -102,24 | -100,33 | -102,24 |
| -100,27 | -102,04 | -101,09 | -101,34 | -100,27 | -102,04 | -100,27 | -102,04 |
| -100,19 | -101,79 | -101,16 | -101 | -100,19 | -101,79 | -100,19 | -101,79 |
| -100,18 | -101,8 | -101,22 | -101,63 | -100,18 | -101,8 | -100,18 | -101,8 |
| -100,17 | -101,83 | -101,26 | -101,99 | -100,17 | -101,83 | -100,17 | -101,83 |
| -100,16 | -101,86 | -101,28 | -102,34 | -100,16 | -101,86 | -100,16 | -101,86 |
| -100,08 | -101,88 | -101,35 | -102,57 | -100,08 | -101,88 | -100,08 | -101,88 |
| -100,03 | -101,91 | -101,64 | -102,96 | -100,03 | -101,91 | -100,03 | -101,91 |
| -99,89 | -101,95 | -101,84 | -103,16 | -99,89 | -101,95 | -99,89 | -101,95 |
| -99,72 | -102,1 | -101,98 | -103,25 | -99,72 | -102,1 | -99,72 | -102,1 |
| -99,58 | -102,25 | -102,04 | -103 | -99,58 | -102,25 | -99,58 | -102,25 |
| -99,46 | -102,3 | -102,18 | -102,88 | -99,46 | -102,3 | -99,46 | -102,3 |
| -99,63 | -102,24 | -102,01 | -102,63 | -99,63 | -102,24 | -99,63 | -102,24 |
| -99,86 | -102,08 | -101,91 | -102,56 | -99,86 | -102,08 | -99,86 | -102,08 |
| -100,3 | -101,94 | -101,84 | -102,29 | -100,3 | -101,94 | -100,3 | -101,94 |
| -100,65 | -101,85 | -101,73 | -102 | -100,65 | -101,85 | -100,65 | -101,85 |
| -100,85 | -101,6 | -101,69 | -101,86 | -100,85 | -101,6 | -100,85 | -101,6 |
| -101,15 | -101,58 | -101,65 | -101,64 | -101,15 | -101,58 | -101,15 | -101,58 |
| -101,2 | -101,56 | -101,58 | -101,37 | -101,2 | -101,56 | -101,2 | -101,56 |
| -101,21 | -101,53 | -101,5 | -101,2 | -101,21 | -101,53 | -101,21 | -101,53 |
| -101,22 | -101,5 | -101,45 | -101,31 | -101,22 | -101,5 | -101,22 | -101,5 |
| -101,24 | -101,36 | -101,43 | -101,45 | -101,24 | -101,36 | -101,24 | -101,36 |
| -101,25 | -101,21 | -101,34 | -101,58 | -101,25 | -101,21 | -101,25 | -101,21 |
| -101,26 | -101 | -101,18 | -101,6 | -101,26 | -101 | -101,26 | -101 |
| -101,27 | -100,79 | -101 | -101,36 | -101,27 | -100,79 | -101,27 | -100,79 |
| -101,28 | -100,7 | -100,88 | -101,21 | -101,28 | -100,7 | -101,28 | -100,7 |
| -101,27 | -100,68 | -100,65 | -101,09 | -101,27 | -100,68 | -101,27 | -100,68 |
| -101,26 | -101 | -100,46 | -100,86 | -101,26 | -101 | -101,26 | -101 |
| -101,24 | -101,36 | -100,39 | -100,8 | -101,24 | -101,36 | -101,24 | -101,36 |
| -101,21 | -101,68 | -100,28 | -100,77 | -101,21 | -101,68 | -101,21 | -101,68 |
| -101,2 | -101,86 | -100,17 | -100,75 | -101,2 | -101,86 | -101,2 | -101,86 |
| -101,56 | -102,1 | -100 | -100,8 | -101,56 | -102,1 | -101,56 | -102,1 |
| -101,69 | -102,26 | -99,65 | -100,88 | -101,69 | -102,26 | -101,69 | -102,26 |
| -101,83 | -102,72 | -99,51 | -101,23 | -101,83 | -102,72 | -101,83 | -102,72 |
| -101,99 | -102,64 | -99,43 | -101,45 | -101,99 | -102,64 | -101,99 | -102,64 |
| -102,09 | -102,34 | -99,51 | -101,68 | -102,09 | -102,34 | -102,09 | -102,34 |
| -102,19 | -102,21 | -99,65 | -101,72 | -102,19 | -102,21 | -102,19 | -102,21 |
| -102,36 | -101,88 | -100,64 | -101,89 | -102,36 | -101,88 | -102,36 | -101,88 |
| -102,48 | -101,8 | -100,86 | -102,08 | -102,48 | -101,8 | -102,48 | -101,8 |
| -102,67 | -101,72 | -101,25 | -102,19 | -102,67 | -101,72 | -102,67 | -101,72 |
| -102,7 | -101,68 | -101,68 | -102,06 | -102,7 | -101,68 | -102,7 | -101,68 |
| -102,55 | -101,56 | -101,9 | -102 | -102,55 | -101,56 | -102,55 | -101,56 |
| -102,38 | | -101,71 | | -102,38 | | -102,38 | |