

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Měření elektromagnetického rušení šířeného zářením  
na drážních vozidlech elektrické trakce**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2016/2017

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik KALAJ**  
Osobní číslo: **E15N0067P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**  
Název tématu: **Měření elektromagnetického rušení šířeného zářením na drážních vozidlech elektrické trakce**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

**Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

1. Proveďte teoretický rozbor problému a stanovte vliv na ostatní zařízení.
2. Vyhodnoťte legislativní rámec problematiky EMC (normy, nařízení).
3. Vypracujte postup měření a seznamte se s konkrétním měřicím zařízením.
4. Změřte rušení (EMC) na konkrétním vozidle a vyhodnoťte výsledky.
5. Identifikujte největší zdroje rušení a možnosti jejich eliminace.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Škubal, Ph.D.**


ŠKODA Transportation, Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility. Hlavní důraz je kladen na elektromagnetické rušení, které je šířené zářením. Nedílnou součástí práce je rozbor celé problematiky vlivu rušení na ostatní systémy - jak technické, tak i biologické.

Dále je práce zaměřena na měření elektromagnetického rušení prostřednictvím záření na konkrétním trakčním vozidle. V práci je rozebrán postup měření, který vychází z normy ČSN EN50121. Měření bylo provedeno na lokomotivě ŠKODA 109E. Další část práce se zaměřuje na zdroje rušení na drážním vozidle a na to, jak lze toto rušení eliminovat.

## **Klíčová slova**

Elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetické rušení, drážní vozidlo elektrické trakce, měření elektromagnetického záření, norma ČSN EN 50121, vysokofrekvenční rušení, měřicí antény, měřicí místo, měřicí přijímač

## **Abstract**

The Diploma thesis deals with the issue of electromagnetic compatibility. The main emphasis is placed on electromagnetic disturbance that is transmitted by radiation. An integral part of the thesis is the analysis of the problems and the influence of disturbance on other systems, both a technical and biological in their complexity.

Furthermore, the work is focused on the measurement of electromagnetic disturbance by radiation on a specific traction vehicle. The measurement procedure is based on the CSN EN 50121 standard. The measurements were made on the ŠKODA 109E locomotive. The next part of the thesis focuses on sources of disturbance on railway vehicles and their elimination.

## **Key words**

Elektromagnetic compatibility, elektromagnetic disturbance, electric traction railway vehicle, electromagnetic radiation measurement, standard CSN EN 50121, high frequency disturbance, measuring antennas, measuring siteúpoint, measuring receiver

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 18.5.2017

Bc. Patrik Kalaj

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavovi Škubalovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Karlu Kynclovi za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při zpracování této práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPTABILITA</b> .....	<b>12</b>
1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE.....	13
1.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPTABILITA BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ .....	14
1.3 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPTABILITA TECHNICKÝCH SYSTÉMU A ZAŘÍZENÍ.....	16
1.4 BLÍZKÉ A VZDÁLENÉ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE.....	18
<b>2 VAZEBNÍ MECHANIZMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ</b> .....	<b>22</b>
2.1 GALVANICKÁ VAZBA .....	23
2.2 KAPACITNÍ VAZBA .....	23
2.3 INDUKTIVNÍ VAZBA .....	23
2.4 VAZBA VYZAŘOVÁNÍM – ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM .....	23
<b>3 NORMY</b> .....	<b>25</b>
3.1 NORMALIZAČNÍ ORGANIZACE.....	25
3.2 NORMY PRO DRÁŽNÍ VOZIDLA – ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA .....	26
<b>4 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ</b> .....	<b>28</b>
4.1 MĚŘENÉ VELIČINY.....	28
4.2 ANTÉNY.....	29
4.2.1 Smyčková anténa .....	30
4.2.2 Bikónická anténa.....	31
4.2.3 Logaritmicko-periodická anténa .....	32
4.2.4 Širokopásmová kombinovaná anténa .....	32
4.3 MĚŘÍCÍ PŘIJÍMAČ .....	34
4.3.1 Špičkový detektor .....	36
4.3.2 Kvazi-špičkový detektor .....	36
4.3.3 Detektor střední hodnoty .....	38
<b>5 ZDROJE RUŠENÍ NA DRÁŽNÍM VOZIDLE</b> .....	<b>39</b>
5.1 VÝKONOVÉ POLOVODIČOVÉ MĚNIČE JAKO ZDROJE RUŠENÍ .....	39
5.2 IDENTIFIKACE ZDROJE RUŠENÍ .....	40



<b>6</b>	<b>ODRUŠOVACÍ PROSTŘEDKY</b> .....	<b>41</b>
6.1	ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ .....	41
6.1.1	Rozvaděčová / měničová skříň pro EMC .....	42
6.2	FERISTORY .....	45
6.3	STÍNĚNÍ KOAXIÁLNÍHO KABELU.....	46
6.4	ODRUŠOVACÍ FILTR .....	46
<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ V PRAXI</b> .....	<b>48</b>
7.1	MĚŘENÍ PODLE NORMY ČSN EN 50121 EDICE 2 .....	48
7.1.1	Podmínky při měření.....	48
7.1.2	Požadavky na měřicí zařízení .....	50
7.1.3	Měření elektromagnetického pozadí – šum pozadí .....	53
7.1.4	Konfigurace jednotlivých měření .....	54
7.1.5	Způsob zpracování naměřených dat.....	56
7.2	ROZDÍLY V MĚŘENÍ PŘI POUŽITÍ ČSN EN 50121 EDICE 3.....	59
7.2.1	Měřicí stanoviště podle edice 3.....	59
7.2.2	Frekvenční rozsah .....	60
<b>8</b>	<b>MĚŘENÍ KONKRÉTNÍHO TRAKČNÍHO VOZIDLA</b> .....	<b>61</b>
8.1	LOKOMOTIVA ŠKODA 109E3 – ZÁKLADNÍ INFORMACE .....	61
8.1.1	Skříň trakčních měničů .....	62
8.2	INFORMACE O MĚŘENÍ .....	63
8.2.1	Měřicí stanoviště.....	63
8.2.2	Povětrnostní podmínky .....	64
8.3	MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	64
8.4	KONFIGURACE MĚŘENÍ.....	67
8.5	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ .....	68
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>82</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>83</b>
	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>

## Seznam symbolů a zkratk

AF	anténní faktor
E	intenzita elektrického pole
EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMI	elektromagnetická interference (rušení)
EMS	elektromagnetická susceptibilita (odolnost, imunita)
f	frekvence
$f_{v1}$	počáteční frekvence pásma kde došlo k překročení limitu
$f_{v2}$	konečná frekvence pásma kde došlo k překročení limitu
$f_{x1}$	počáteční frekvence vyloučeného pásma
$f_{x2}$	konečná frekvence vyloučeného pásma
H	intenzita magnetického pole
$I_r$	rušivý proud
PWM	pulzně šířková modulace
r	vzdálenost od zdroje rušení
$r'$	hraniční vzdálenost mezi blízkým a vzdáleným polem (Rayleighovo kritérium)
SAR	měrný pohlcený výkon
$U_P$	napětí na výstupu špičkového detektoru
$U_{QP}$	napětí na výstupu kvazi-špičkového detektoru
$U_r$	rušivé napětí
VPS	výkonová polovodičová součástka
X	maximální velikost antény
$Z_0$	vlnová impedance
$\lambda$	vlnová délka

## Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility. Hlavní důraz je pak kladen na elektromagnetické rušení, především na rušení, které se šíří zářením. Nedílnou součástí práce je rozbor celé problematiky a vlivu rušení na ostatní systémy, a to jak technické, tak i biologické.

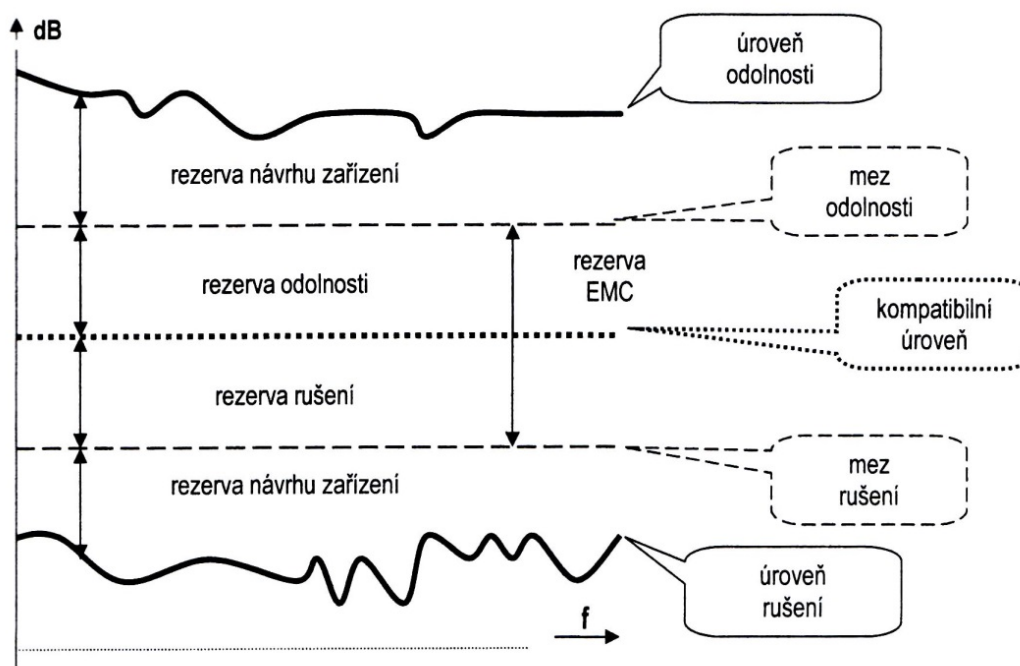
Dále je práce zaměřena na měření elektromagnetického rušení prostřednictvím záření na konkrétním trakčním vozidle. V práci je rozebrán postup měření, který vychází z normy ČSN EN50121. Blíže je také popsána měřicí aparatura, která se skládá z příslušných antén a měřicího přijímače. Měření bylo provedeno na lokomotivě ŠKODA 109E podle drážní normy ČSN EN50121-3-1 ed.2. V práci jsou také zmíněné rozdíly mezi edicemi této normy. V další části se práce zaměřuje na zdroje rušení na drážním vozidle a jejich eliminaci.

## 1 Elektromagnetická komptabilita

Elektromagnetická komptabilita (EMC) je definována jako schopnost zařízení, systému nebo přístroje zachovat správně funkčnost, a to i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetického signálu - jak přírodní, tak i umělé. Zároveň svojí vlastní elektromagnetickou činností neovlivňuje své okolí, to znamená, že nevyzařuje signál, který by byl rušivý pro jiné zařízení. [1,6]

Pojem elektromagnetická komptabilita vznikl v šedesátých letech v USA a označuje novou vědeckotechnickou disciplínu, která má za úkol zkoumat podmínky slučitelnosti provozu jednotlivých systémů a cest vedoucích k jejich optimalizaci. H. M. Schlike, jeden z průkopníků snah o uznání elektromagnetické komptability, v roce 1968 řekl: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý, bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky komptabilní. Spolehlivost a elektromagnetická komptabilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností.“ [1,6]

Základní členění problematiky EMC je na elektromagnetickou interferenci (rušení) a elektromagnetickou susceptibilitu (odolnost). Elektromagnetická odolnost se zabývá technickými opatřeními, která zvyšují odolnost objektu proti okolnímu elektromagnetickému rušení. Na obrázku 1 jsou ukázány úrovně a meze rušení a odolnosti. Úroveň rušení je generována konkrétním zařízením a je vyjádřena například v dB v závislosti na kmitočtu. Mez rušení je maximální přípustná úroveň, která je určena příslušnou normou daného zařízení. Rozdíl těchto úrovní vyjadřuje rezervu návrhu daného zařízení z hlediska elektromagnetického rušení. U odolnosti je tomu obdobně. [3,6]



Obr. 1: Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti [3]

## 1.1 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference (EMI) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do systému, který je tímto signálem rušen. Tento jev lze obecně posoudit jako nežádoucí ovlivnění normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení. [6]

Rušení však nezamořuje jen technické systémy, jeho vliv se projevuje i různými nepřímými účinky na životní prostředí. Z tohoto důvodu se považuje elektromagnetické rušení za problém nejen v odvětví technickém, ale i v ekologickém. Problematika biologických systému je blíže popsána v kapitole 1.2 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů.[1]

Elektromagnetická interference se zabývá především identifikaci zdrojů rušení, měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. Jinak řečeno EMI řeší příčinu rušení a jejich odstranění. K dosažení kompatibility celého systému se dostává pomocí technických opatření především na straně zdroje rušení a omezením vzájemných vazeb s přijímačem rušení (přenosových cest).

Vysokofrekvenční rušení je definováno od 9 kHz až po 400 GHz, nejčastěji je toto rušení způsobeno použitím výkonových polovodičových součástek. [1,6]

## **1.2 Elektromagnetická komptabilita biologických systémů**

EMC biologických systému se zabývá celkovým elektromagnetickým pozadím životního prostředí včetně přípustných úrovní rušivého, ale i užitečného elektromagnetického pole, a to jak od zdrojů přírodních, tak i umělých, a to vše s ohledem na působení na živé organizmy. I přesto, že jsou tyto vlivy zkoumány již delší dobu, existují na tuto problematiku různé názory. [6,7]

Pojem EMC biologických systému je většinou chápán v negativním slova smyslu, a to jako možné riziko nebo přímé ohrožení zdraví živých organismů. Existuje ovšem celá řada aplikací, které napomáhají řešit různé technické problémy spojené se zdravím nebo bezpečností. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí na jeho charakteru, době působení a na vlastnostech biologického objektu. Pod pojmem biologický objekt jsou v první řadě chápáni uživatelé dané technologie (obsluha) a ostatní fyzické osoby, ale také biologické objekty nižšího řádu - zvířata, rostliny, jednoduché buněčné systémy. Jelikož každý biologický objekt reaguje na působení elektromagnetického pole jinak, jeho adaptační, kompenzační a regenerační možnosti a schopnosti jsou individuální. Z tohoto důvodu je velmi složité analyzovat změny v organismu a na základě statistických výsledků dojít k obecně platným závěrům. [6,7]

Dále je třeba brát v úvahu skutečnost, že nežádoucí vlivy na člověka je potřeba dělit na přímé působení elektromagnetického pole na jeho pracovišti (v zaměstnání) a působení mimo pracoviště. Limity pro vystavení pracovníků jsou vyšší než pro obyvatelstvo, protože zaměstnanci jsou poučeni o podmínkách na pracovišti, dále jsou proškoleni a uvědomují si potenciální riziko. Zaměstnanci, kteří nejsou v práci, jsou považováni za obyvatelstvo, a tudíž pro ně platí stejné limity. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno dělení na zaměstnance a ostatní osoby - obyvatelstvo. [6,7]

V české republice s touto problematikou zabývá Nařízení vlády č. 291/2015 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením dne 5. 10. 2015, které mimo jiné stanovuje nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním prostředí. Pro elektromagnetické pole je frekvenční oblast určena do 300 GHz, pro optické a laserové záření jsou určené meze od vyšších kmitočtů. [14,15]

Nařízení stanovuje, aby vystavení osob elektrickým či magnetickým polem a elektromagnetickým zářením v uvedeném rozsahu bylo omezeno tak, aby proudová hustota indukovaná v těle, měrný výkon absorbovaný v těle ani hustota zářivého toku elektromagnetického pole dopadající na tělo nebo na jeho část nepřekročily stanovené limity. Nařízení rozlišuje mezi limity pro zaměstnance a ostatní obyvatelstvo, jak je popsáno výše. V kmitočtovém pásmu od 0 Hz do 10 MHz jsou stanovené přípustné hodnoty, které se týkají účinků způsobených elektrickou stimulací tkáně polem. Pod frekvencí nižší než 1 Hz jsou dány nejvyšší přípustné hodnoty pro účinky způsobené elektrickým a magnetickým polem. Dále v oblasti od 100 kHz do 6 GHz jsou maximální hodnoty měrného absorbovaného výkonu (SAR) a v pásmu od 6 GHz do 300 GHz se sledují nejvyšší přípustné hodnoty plošné hustoty zářivého toku dopadajícího elektromagnetického pole. Přípustné hodnoty pro absorbovaný výkon se dělí podle části těla, která je vystavena záření a tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce. [14,15]

Tab. 1: Nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu [14]

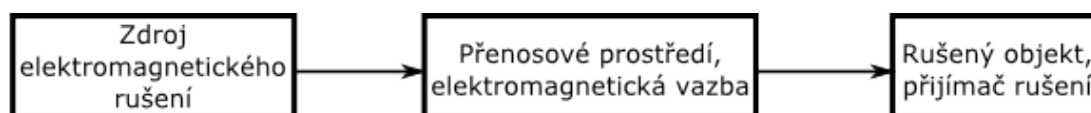
Vystavená část těla	SAR [ $W \cdot kg^{-1}$ ]	
	Zaměstnanec	Obyvatel
Celé tělo	0,4	0,08
Lokální	10	2
Lokální - končetina	20	4
Pro expozici hlavy v pásmu od 0,3 GHz do 6GHz je dána nejvyšší přípustná hodnota pro pulzy o délce kratší než 30 $\mu s$ v měrné absorbované energii [ $J \cdot kg^{-1}$ ]		
Hlava (0,3 GHz - 6GHz )	0,01 $J \cdot kg^{-1}$	0,002 $J \cdot kg^{-1}$

Účinky elektromagnetického pole lze rozdělit na:

1. Teplené účinky
  - a) Mikrovlnné pole
  - b) Ohřev tkáně
2. Netepelné účinky
  - a) Dlouhotrvající vystavení poli s relativně nízkým výkonem
  - b) Imunitní systém, centrální nervový systém, fyziologie, genetika, metabolismus, onkologie, srdečně-cévní systém, termoregulace, endokrinologie [7]

### 1.3 Elektromagnetická komptabilita technických systému a zařízení

Tato problematika je orientována na odolnost proti působení ostatních většinou sousedních zařízení a dále na ovlivňování jiných zařízení během vlastní činnosti. EMC se podle evropské legislativy stala hned po bezpečnosti nejdůležitější vlastností elektrických zařízení. Je totiž důležitou složkou kvality a výrazně ovlivňuje spolehlivou funkci elektrického zařízení. Při zkoumání EMC daného zařízení nebo systému (technického i biologického) se vychází z tzv. základního řetězce, ten je uveden na obrázku 2. [1,6]



Obr. 2: Základní řetězec EMC[1]

První oblast - zdroj elektromagnetického rušení zahrnuje vznik, charakter a intenzitu rušení. Patří sem přírodní (přírodní) zdroje rušivých signálů (Slunce, elektromagnetické procesy v atmosféře, galaktický šum) a pak umělé zdroje rušení (zdroje vytvořené lidskou činností). Pod tento pojem lze zařadit: motory, spínače, relé, stykače, elektroenergetické rozvody, výkonové polovodičové měniče, oscilátory, počítače, číslicové systémy, tepelné a světelné spotřebiče.[1,6]



Další část řetězce se zabývá elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami. To znamená způsoby a cesty, jakými se energie ze zdroje rušení dostává do rušeného zařízení či systému. Sem patří: vzdušný prostor, energetická soustava, zemnění, signálové a datové vodiče a parazitní elektromagnetické vazby (galvanická, induktivní, kapacitní, vazba vyzařováním elektromagnetického pole). [1,6]

Třetí a konečnou oblastí je problematika objektu (zařízení), který je přijímačem rušení. Zabývá se klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení. Z těchto skutečností vyplývá elektromagnetická odolnost zařízení. Mezi přijímače rušení může patřit: číslicová technika, počítače, citlivé měřicí přístroje, automatizační prostředky, telekomunikační soustavy, systémy přenosu dat, rozhlasové a televizní přijímače, střelivo a munice, organizmy (biologické objekty včetně člověka). [1,6]

Souvislost těchto tří oblastí je samozřejmě mnohem složitější, než je naznačeno na obrázku 2. Každý systém či zařízení či jeho část může být současně jak zdroj, tak přijímač rušivého signálu. Přesto v praxi lze většinou označit element méně citlivý na rušení a generující vyšší úroveň rušení jako zdroj rušícího signálu a citlivější element s menší úrovní generovaného rušení za přijímač rušivých signálů. [1,6]

Dále se ve skutečném řetězci EMC nikdy nejedná o působení jen jednoho zdroje rušení a jediného přijímače. Vždy se řeší vztahy více systémů, které se všestranně ovlivňují. I přesto se obvykle postupuje tak, že se nejprve jeden systém považuje za zdroj rušení a všechny ostatní za přijímače rušení. Pak se tento vybraný systém považuje za přijímač rušení a ostatní za zdroje rušení a hodnotí se důsledky jeho možných ovlivnění všemi ostatními systémy. Souhrn rušivého působení na zkoumaný systém se může projevat různými způsoby od zhoršení parametrů přes částečné nebo dokonce úplné omezení funkce až k havarijním technologickým či bezpečnostním stavům. Vzájemné působení různých systémů a zařízení je velmi složité a komplexní. [1,6]

Pokud by se podařilo zcela odstranit kteroukoliv část ze základního EMC řetězce, ztratila by elektromagnetická kompatibilita svůj smysl, jelikož by dané zařízení či systém byl absolutně elektromagneticky kompatibilní. V praxi toho nelze samozřejmě dosáhnout. Ale v praxi jsou snahy se tomuto stavu alespoň přiblížit tím, že pozornost se zaměřuje

na jednu ze tří oblastí zmíněného řetězce. Vybere se nejvhodnější oblast, jejíž úpravou se dosáhne nejvyššího efektu zmírnění elektromagnetického rušení. To samozřejmě závisí na konkrétním systému a okolnostech jeho činnosti. Především se musí rozlišovat, zda rušivé účinky zdroje rušení jsou jeho funkčními parametry (např. signál rozhlasového či TV vysílače) nebo zda jsou jeho parazitními produkty (např. jiskření na kontaktech, harmonické složky apod.). Podle toho se pak směřují prostředky pro minimalizaci těchto rušivých vlivů, a to buď převážně na zdroj rušení, nebo na rušený objekt, případně na přenosovou cestu mezi nimi. [1,6]

#### 1.4 Blízké a vzdálené elektromagnetické pole

Rušivé elektromagnetické pole je jednou z významných příčin nežádoucího ovlivnění zařízení. Velikost elektromagnetického pole je definována jako intenzita elektrického pole  $E$  a intenzita magnetického pole  $H$ . Poměr těchto veličin  $E/H$  vyjadřuje vlnovou impedanci  $Z_0$ , která se s charakterem elektromagnetického zdroje a vzdáleností od zdroje mění. Oblast kolem zdroje rušení se dělí na oblast blízkého elektromagnetického pole a vzdáleného elektromagnetického pole. [2]

V blízkém elektromagnetickém poli většinou převažuje elektrická nebo magnetická složka. To je dáno vlastní činností zařízení, kde se pracuje buď s velkým napětím a malým proudem, nebo naopak. V těchto případech se projevují rušivé vlivy častěji vazbou kapacitní nebo induktivní. [2]

Ve vzdáleném poli se uplatňuje anténní efekt, kdy se vodič stává elementárním dipólem, který zachytává elektromagnetickou energii a superponuje vzniklé rušivé napětí na užitečný signál. Tento děj může fungovat i obráceně. Vodič se stává anténou, která vysílá do okolí rušivou elektromagnetickou energii. [2]

Pro vzdálené pole je vlnová impedance  $Z_0$  vyjádřena:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \text{ } [\Omega]$$

V blízkém poli a tedy v blízkosti zdroje vlnění je však vlnová impedance různou hodnotu pro elektrickou magnetickou složku.

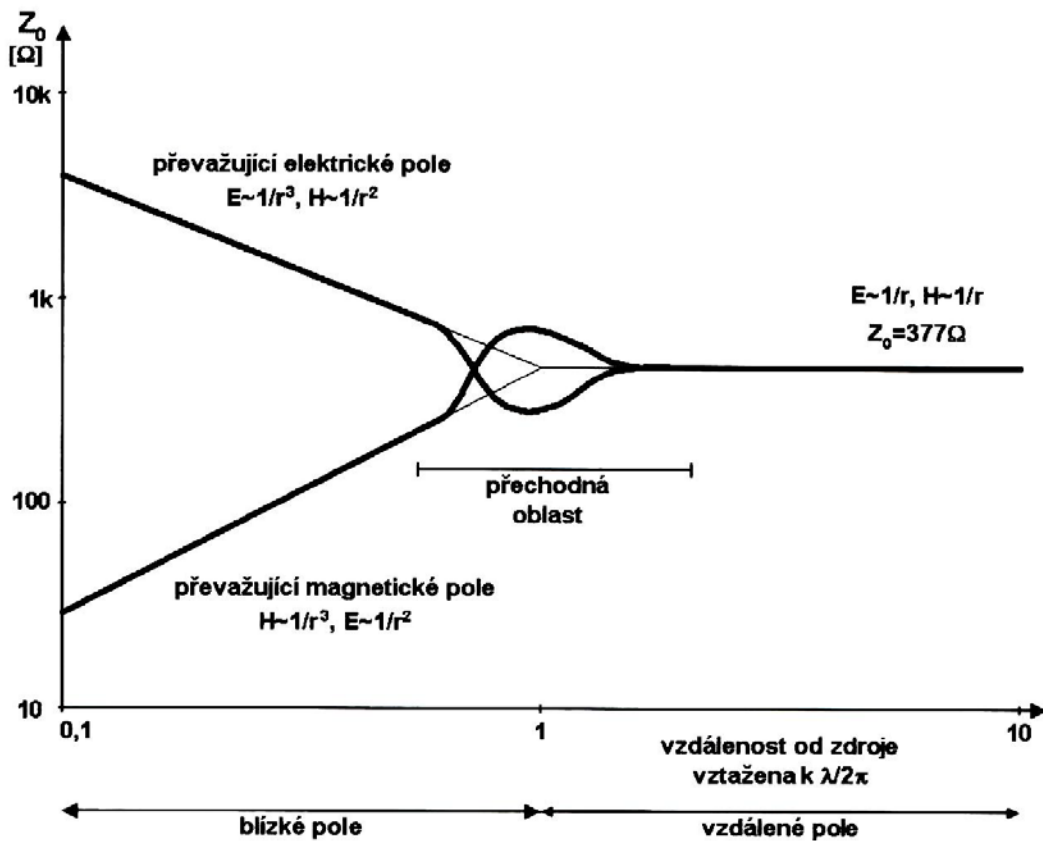
Pro blízké elektrické pole:

$$Z_0 = \frac{\lambda}{2\pi r} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad [\Omega]$$

Pro magnetické blízké pole:

$$Z_0 = \frac{2\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad [\Omega]$$

Z těchto vztahů se dá určit hraniční vzdálenost mezi blízkým a vzdáleným elektromagnetickým polem. Pakliže je vzdálenost  $r$  od zdroje záření k rušenému objektu menší než  $\lambda/2\pi$ , jedná se o blízké pole. Pokud je tato vzdálenost  $r$  větší než  $\lambda/2\pi$ , jedná se o vzdálené pole. Průběh vlnové impedance v závislosti na vzdálenosti od zdroje elektromagnetického je ukázán na obrázku 3. Hranice mezi blízkým a vzdáleným polem je množina bodů, které se nacházejí v přechodové oblasti a její pozice je ve vzdálenosti rovnající se  $\lambda/2\pi$ . Velikostí přechodové oblasti zhruba odpovídá jedné šestině vlnové délky. [2]



Obr. 3: Závislost vlnové impedance na vzdálenosti od zdroje elektromagnetického pole [2]

V obrázku Obr. 3 je dále znázorněna závislost změny intenzity elektrického a magnetického pole na vzdálenosti  $r$  a platí, že dominující intenzita v blízkém poli klesá s třetí mocninou vzdálenosti. [2]

Při pozorování elektrotechnických zařízení se může při zjišťování vzájemného ovlivňování uvnitř uzavřené skříně uvažovat, že většina zařízení se nachází v blízkém poli. Při měření vyzařování se ale obvykle podle normy nachází měřicí anténa ve vzdáleném poli. [2]

Kromě dělení pole na blízké a vzdálené pole (uvedeno výše), které vychází z Maxwellovy teorie elektromagnetického pole, existuje ještě dělení podle tzv. Rayleighova kritéria. Toto dělení v sobě zahrnuje skutečnost, že zdroje záření (anténa, vodič) nejsou bodové, ale mají určitou velikost, kterou je nutné vztáhnout k vlnové délce. Poté je hraniční vzdálenost definována jako:

$$r' = \frac{2X^2}{\lambda} \text{ [m]}$$

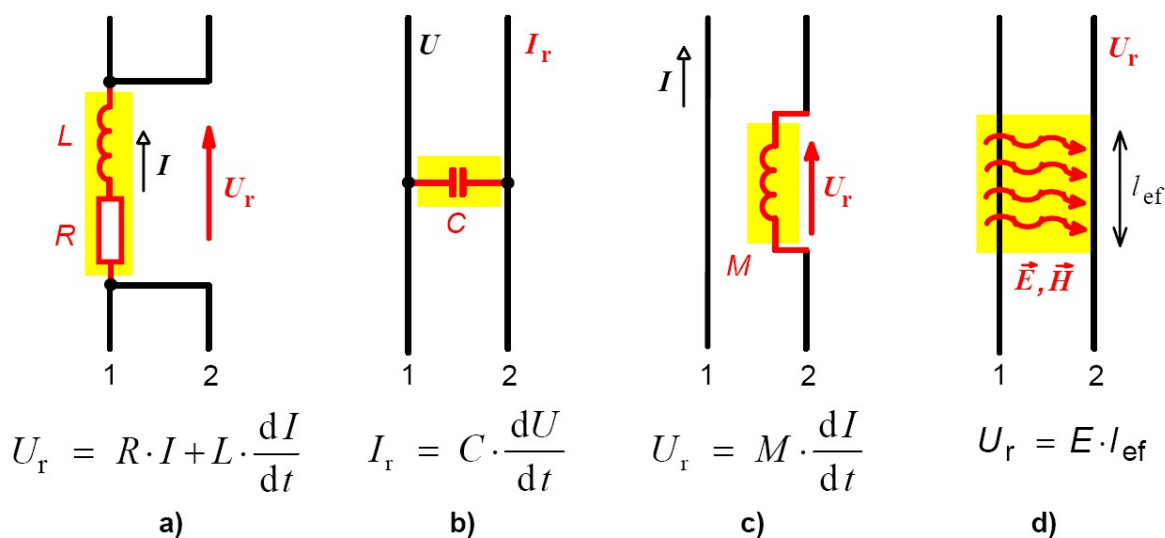
$X$  zde značí maximální velikost antény. Použití této skutečnosti může značně ovlivnit rozdělení mezi blízkým a vzdáleným polem. [2]

Například pro frekvenci 30 MHz, z rozdělení, kde není uvažována velikost antény, vychází vzdálenost  $r = 1,59$  m. Pokud je použito rozdělení s respektováním a velikost antény např. maximální velikost antény  $X = 2$  m, je potom vzdálenost  $r' = 0,8$  m, tedy poloviční proti předcházející úvaze. Ale pro frekvenci 300 MHz a velikost antény 0,5 m je  $r' = 0,5$  m oproti  $r = 0,159$  m. Pro analýzu a měření v EMC tedy vyplývá doporučení, aby sledované zařízení bylo pro správné výsledky prováděno ve vzdálenostech, které jednoznačně přísluší blízkému nebo vzdálenému poli. [2]

V problematice měření záření drážních vozidel se příliš nebere v úvahu rozdělení pole na blízké a vzdálené, a to z důvodu že normou je dána vzdálenost měřicí antény a limitní křivka právě pro danou vzdálenost.

## 2 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Přenos rušivých signálů ze zdroje rušení do přijímače závisí rozhodující měrou na elektromagnetickém vazebním prostředí, tedy na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení. Tyto vazby lze dělit podle různých hledisek, například podle technické realizace vazebního prostředí, které může být tvořeno: vzdušným prostorem, stínícími nebo absorpčními materiály, signálovými nebo napájecími kabely, zemnicími systémy, elektroenergetickými soustavami a dalšími druhy mezisystémových vazeb. Z hlediska fyzikálního principu, který je obvykle pro možnost potlačení parazitních vazeb nejdůležitější, se rozlišuje vazba galvanická, kapacitní, induktivní a vazba vyzařováním – elektromagnetickým polem. Na obrázku 4 jsou schématicky naznačeny základní principy těchto vazeb mezi dvěma vodiči 1 a 2. [6]



Obr. 4: Typy elektromagnetických vazeb: a) galvanická, b) kapacitní, c) induktivní, d) vyzařováním [17]

## 2.1 Galvanická vazba

Galvanická vazba (vazba společnou impedancí) vzniká, jsou-li zdroj a přijímač rušení spojeny společnou impedancí, která tvoří mezi těmito členy přenosový člen s výraznou galvanickou složkou. Tato impedance má nejčastěji charakter sériového RL obvodu a může jí tvořit například vnitřní impedance společného napájecího zdroje, společného přívodu řídicích obvodů nebo impedance společného zemnicího systému. Vazba je ukázána na obrázku 4 a). [1,6]

## 2.2 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba vzniká kvůli přítomnosti parazitních kapacit mezi jednotlivými vodiči (rušícím a rušeným) nebo mezi jednotlivými částmi obvodů nebo konstrukcemi zařízení. Parazitní kapacita ovlivňuje elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči s různým potenciálem. Tato situace typicky nastává při souběžném vedení energetických a signálových či datových kabelů a linek. Vazba je ukázána na obrázku 4 b). [1,6]

## 2.3 Induktivní vazba

Induktivní vazba vzniká na principu elektromagnetické indukce mezi dvěma či více elektrickými obvody, pokud alespoň jedním z nich protéká proud. Prochází-li obvodem elektrický proud, vzniká kolem obvodu magnetické pole. Podle časového průběhu proudu vzniká magnetické pole buď konstantní, nebo proměnného charakteru. Ve vodičích, které jsou v blízkosti časově proměnném magnetickém poli, se indukuje napětí. Toto napětí se zvyšuje s rostoucím kmitočtem nebo se zvyšující se rychlostí časových změn proudu. Vazba je ukázána na obrázku 4 c). [1,6]

## 2.4 Vazba vyzařováním – elektromagnetickým polem

V případech, kdy vzhledem k velkým vzdálenostem je vyloučena vazba induktivní a kapacitní, hovoří se o parazitní vazbě vyzařováním elektromagnetického pole, jinak řečeno vazba vyzařováním. Příčinou vzniku vazby vyzařováním je elektromagnetické pole generované proudovým obvodem, které se šíří do prostoru rychlostí světla. Rušení

způsobené vazbou vyzařováním se do rušeného zařízení dostává přes anténu nebo její svod. Pojmem anténa se zde myslí nejen účelové zařízení, ale i část obvodu zařízení rušeného. Působením elektromagnetického pole se ve vodiči rušeného zařízení indukuje rušivé napětí, které se v jeho obvodech sčítá s užitečným signálem nebo jej zcela překryje. O vazbě vyzařováním se většinou hovoří v souvislosti s vysokofrekvenčním rušením. Vazba je ukázána na obrázku 4 d). [1,6]



## **3 Normy**

### **3.1 Normalizační organizace**

Problematikou elektromagnetické komptability a tudíž i rušením se zabývají různé mezinárodní organizace a jejich národní výbory v jednotlivých zemích. Na mezinárodní úrovni se touto problematikou zabývá především specializovaný výbor pro radiovou interferenci CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, Speciální mezinárodní komise pro radioelektrické rušení), který je zastřešen pod Mezinárodní elektrotechnickou komisi IEC (International Electrotechnical Commission), v jejímž rámci se vytvářejí veškeré elektrotechnické normy a předpisy a tedy i normy pro oblast EMC. [17]

CISPR vznikl v 60. letech minulého století pro ochranu rádiového a televizního vysílání, během let se vyvinul v jednu z nejvýznamnějších mezinárodních autorit v celé oblasti EMC. Publikované dokumenty CISPRem (označované jako Committee Reports, Recommendations, příp. Publications) bývají velmi často základem pro příslušné regionální (např. evropské), příp. i národní normy. V současné době je hlavní pozornost CISPRu orientována na oblast Elektromagnetického rušení od zařízení informační techniky. [17]

IEC je oborově členěna do tak zvaných technických komisí TC (Technical Committee), popřípadě do subkomisí SC (Sub-Committee). K problematice EMC především přispívají technické komise TC 41, TC 65 a TC 77. Především komise TC77 značně ovlivňuje dění v oblasti EMC, a to podrobnými specifikacemi druhů elektromagnetického prostředí, rušivých emisí, odolnostmi postupů zkoušek a měřící techniky EMC atd. [17]

S vytvořením jednotné Evropy se společným a otevřeným trhem vznikla nutnost sjednotit a uvést ve vzájemný soulad mnoho různých předpisů a norem, a to i v oblasti elektromagnetické komptability. Kromě mezinárodních norem (IEC, CISPR) a norem národních vznikl v evropském prostoru systém jednotných evropských norem EN (European Norms). Technickou přípravou evropských norem se zabývají především dvě komise Evropské unie - CEN a CENELEC. [17]

V České republice byl v oblasti norem nejprve pověřen Český normalizační institut (ČNI) v Praze. Na základě rozhodnutí Ministerstva průmyslu a obchodu byl ke dni 31.12.2008 Český normalizační institut zrušen a jeho činnost přešla na Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví ÚNMZ. Technická normalizační komise TNK 47 Elektromagnetická kompatibilita, která spadala dříve pod ČNI a nyní pod ÚNMZ, postupně revidovala existující české normy ČSN (tj. i dřívější československé státní normy) v oblasti EMC a harmonizovala je s normami IEC, CISPR a EN. Díky převzetí a překladu těchto mezinárodních a evropských norem vznikly harmonizované normy ČSN s označením ČSN IEC, ČSN CISPR nebo ČSN EN.[17]

### 3.2 Normy pro drážní vozidla – elektromagnetická kompatibilita

Pro drážní zařízení z hlediska elektromagnetické kompatibility platí norma ČSN EN 50121. Zmíněná norma platí pro kmitočtový rozsah od 0 Hz (DC) do 400GHz, ale měření se nemusí provádět na kmitočtech, pro které nejsou specifikované požadavky. Tato norma obsahuje celkem 5 částí, kdy se ale 3. část dále dělí na další 2. [8,11]

**Část 1: Obecně:** První část, která je nazvána jen Obecně, popisuje elektromagnetické chování dráhy a specifikuje některé pojmy a určuje funkční kritéria pro celek.

**Část 2: Emise celého drážního systému do vnějšího prostředí:** Druhá část stanovuje meze vysokofrekvenčních emisí z dráhy do vnějšího prostředí. Dále stanovuje zkušební metody a podmínky pro měření - obecně.

**Část 3-1: Drážní vozidlo – Vlak a celkové vozidlo:** Tato část stanovuje meze emisí pro všechny typy drážních vozidel. Jsou zde hnací vozy a celé vlakové soupravy i nezávislé tažené vozy. Dále jsou upřesněny podmínky pro měření. Rozsah platnosti končí u rozhraní vozu na odpovídajících vstupech/výstupech.

**Část 3-2: Drážní vozidlo – Zařízení:** Část 3-2 platí pro emise a odolnosti EMC elektrických a elektrotechnických zařízení, která jsou určena k použití na drážních vozidlech. Tato část se používá v případě, že zkouška odolnosti celého vozidla je obtížná a nepraktická. Dále je dobré jí využít při dílčích měřeních při vývoji vozidla nebo jeho částí.

**Část 4: Emise a odolnost zabezpečovacích a sdělovacích zařízení:** Tato část stanovuje meze elektromagnetických emisí a odolnosti zabezpečovacích a sdělovacích zařízení instalovaných na drážní infrastrukturu.

**Část 5: Emise a odolnost pevných instalací a zařízení trakčních napájecích soustav:** Tato poslední část platí pro emise a odolnost EMC elektrických a elektronických zařízení určených k využití v pevných instalacích spojených s napájecí soustavou.

V této diplomové práci byly především využity první 3 části zmíněné normy a následující odstavec se týká právě těchto částí.

V současné době platí dvě edice normy ČSN EN 50121, a to edice 2 a edice 3. Edice 2 platí od 1.7.2009 a nahradila předchozí edici z června 2001. Edice 2 platí do 5.1.2018, kdy ji zcela nahradí edice 3. Edice 3 je již v platnosti a to od začátku roku 2016. V současné době tedy platí obě tyto edice. Největší rozdíl mezi nimi je, že dolní hranice měřeného pásma se posunula z 9 kHz na 150 kHz, horní hranice 1 GHz zůstala. Další podstatnější změnou je zmírnění požadavku na měřící místo. Těmito dvěma změnami je blíže věnována podkapitola 0, která se těmito dvěma změnami blíže zabývá v rámci měření.

## 4 Měření elektromagnetického rušení

Měření elektromagnetického rušení patří v problematice EMC k jedné z nejdůležitějších částí. Měření v podstatě představuje praktické ověření dosaženého stupně v EMC navrženého nebo testovaného zařízení z hlediska jeho vysokofrekvenčního rušivého vyzařování. Z praktického hlediska je však nemožné dosáhnout dokonalé elektromagnetické kompatibility jakéhokoliv zařízení. Proto je nutno stanovit a právě měřím ověřit dodržení přípustných maximálních hodnot, které jsou většinou dány příslušnou normou, v případě trakčních vozidel normou ČSN EN 50121, rušivého signálu pro daný typ zařízení.

Charakteristické veličiny pro měření elektromagnetického rušení šířeného zářením jsou intenzity elektrického a magnetického pole, které se pomocí vhodné antény dále převede na napětí. Toto napětí je přivedeno do měřicího přijímače, který jej vyhodnotí.

### 4.1 Měřené veličiny

Při měření elektromagnetického rušení zářením se měří dvě veličiny, a to intenzita magnetického pole a intenzita elektrického pole.

Intenzita magnetického pole značí se jako  $H$  a udává se v jednotce  $\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}$ . Vyjadřuje působení magnetické složky rušení, a to v rozsahu frekvencí 9 kHz až 30 MHz. Tato intenzita je měřena pomocí smyčkové antény. Tato veličina je vztažena k  $1\mu\text{A}/\text{m}$ .

$$H[\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}] = 20 \log \frac{H [\mu\text{A}/\text{m}]}{1 \mu\text{A}/\text{m}}$$

Intenzita elektrického pole značí se  $E$  a udává se v jednotce  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ . Vyjadřuje působení elektrické složky rušení, a to v rozsahu 30 MHz až 1 GHz. Měřena je pomocí bikónické antény a logaritmicko-periodické antény, případně kombinované širokopásmové antény. Tato veličina je vztažena k  $1\mu\text{V}/\text{m}$ .

$$E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = 20 \log \frac{E [\mu\text{V}/\text{m}]}{1 \mu\text{V}/\text{m}}$$

## 4.2 Antény

Antény jsou součástí vybavení pro měření dvou základních zkoušek v EMC ve vysokofrekvenční oblasti, a to měření vyzařování emisí (EMI) a testování odolnosti (EMS) vůči vnějším elektromagnetickým polím. Anténa je část přijímacího nebo vysílacího systému, která je určena pro přijímání nebo vyzařování elektromagnetického pole. Pro měření emisí se používají různé druhy antén podle měřené frekvence. Antény se nejčastěji používají v pásmu od 9 kHz až do řádu GHz. Měření rušivých elektromagnetických polí pomocí přijímací antény je prakticky jediná reálná metoda, jelikož přímé měření rušivých polí napětí a proudu na těchto kmitočtech je značně problematické nebo zcela nemožné. V základní sestavě představuje anténa přídavné zařízení k přeměně elektrické složky  $E$  a magnetické složky  $H$  rušivého pole na výstupní napětí  $U_r$  na svých výstupních svorkách. Toto napětí je vyhodnoceno měřicím přijímačem. [3]

Převod mezi velikostí vstupní intenzity pole a velikostí napětí na výstupních svorkách antény udává anténní faktor AF [1/m]. Častěji se vyjadřuje v logaritmické míře.

Pro magnetické pole

$$AF[1/m] = \frac{E [V/m]}{U_r[V]}$$

Pro elektrické pole

$$AF[1/m] = \frac{E [V/m]}{U_r[V]}$$

$$AF[dB/m] = E[dBV/m] - U_r[dBV]$$

$$AF[dB/m] = E[dBV/m] - U_r[dBV]$$

Výhodou anténního faktoru je jednoduché použití při vyhodnocování velikosti rušivého pole. Podle výše uvedených vzorců lze určit hledanou intenzitu rušivého pole. Například pro hledanou intenzitu elektrického pole se k změřenému rušivému napětí  $U_r$  v dBV/m se přičte k anténní faktor použité antény v dB/m [6].

$$E[dBV/m] = AF[dB/m] + U_r[dBV]$$

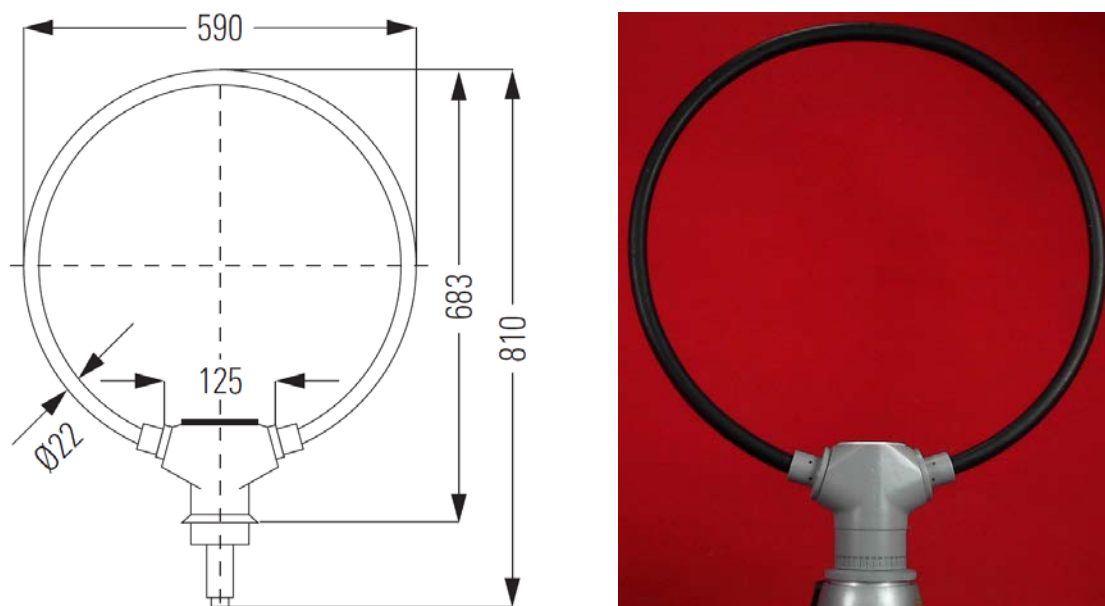
Anténní faktor, někdy označovaný jako přijímací anténní faktor, je základním parametrem pro každou anténu určenou pro měření elektromagnetického rušení. Jeho kmitočtový průběh je základním údajem výrobce antény [6].

Teoretická hodnota anténního faktoru vzrůstá s rostoucím kmitočtem za těchto předpokladů: konstantní zisk a konstantní vstupní impedance antény. Toho je alespoň přibližně splněno například u logaritmicko-periodické antény. U jiných typů měřících antén je závislost anténního faktoru na frekvenci složitější. Skutečná hodnota anténního faktoru závisí na mnoha dalších faktorech. Některé z nich jsou jen obtížně a ne vždy jednoznačně specifikovatelné. Anténní faktor závisí na podmínkách měření a uspořádání měřícího pracoviště - například: výšce antény nad zemí, vodivosti a tedy odrazivosti země, přítomnosti jiných odražených signálů, polarizaci pole, vzdálenosti antény od zdroje rušení atd. Hodnota AF je ovlivněna i přítomností testovaného zařízení a závisí rovněž na impedančním přizpůsobení antény, napáječe a měřícího přijímače. Proto je každá měřící anténa individuálně kalibrována. To znamená, že je změřen její anténní faktor v celém pracovním kmitočtovém pásmu za přesně definovaných podmínek kalibrace. Zjištěné hodnoty AF pak platí jen pro stejné pracovní podmínky v procesu měření. [6]

Obecnou praxí se stalo pravidlo udávat ekvivalentní anténní faktor ve volném prostoru, což znamená hodnoty AF platné pro anténu ve zcela volném (bezodrazovém) prostoru bez jakýchkoliv překážek a pro impedančně přizpůsobenou zátěž  $50 \Omega$ . Taková hodnota AF by měla být co nejbližší své teoretické velikosti. [6]

#### 4.2.1 Smyčková anténa

Smyčková anténa se používá k měření magnetické složky rušivého elektromagnetického pole, a to v pásmu 9 kHz až 30 MHz. Maximální rozměry jsou 600 x 600 mm. Cívka antény je umístěna v kovovém stínění, aby se omezil parazitní vliv elektrické složky pole. Anténa je sestavena z jednoho či více závitů, které jsou tvarované do podoby cívky kruhové nebo čtvercového průřezu. Na obrázku 5 je zobrazena smyčková anténa HFH2-Z2 od výrobce ROHDE & SCHEARZ, která byla použita pro měření. [3,6]



Obr. 5: Smyčková anténa HFH2-Z2, rozměry v mm [18,19]

#### 4.2.2 Bikónická anténa

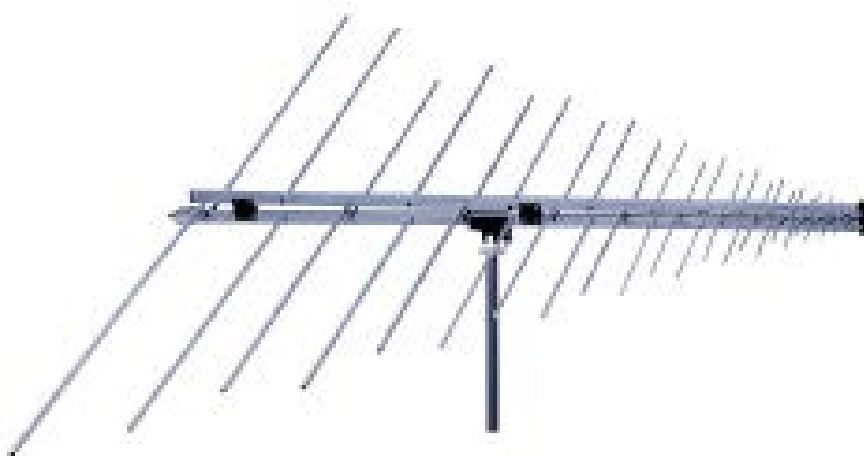
V kmitočtovém pásmu 20 MHz – 300 MHz se pro měření rušivého elektrického pole používá bikónická anténa. Jedná se o širokopásmovou anténu složité konstrukce. Měření se provádí jak ve vertikální, tak i horizontální polarizaci. Někdy se označuje bikónická anténa jako bikónický dipól. Na obrázku 6 je ukázka bikónické antény. [6]



Obr. 6: Bikónická anténa [17]

### 4.2.3 Logaritmicko-periodická anténa

Logaritmicko-periodická anténa je typická anténa vhodná pro měření. Provozní pásmo nemá teoreticky omezené, avšak používá se především v pásmu 200 MHz až 6 GHz, kde jsou její vlastnosti prakticky neměnné. Anténu tvoří řada vhodně napájených rezonančních unipolů. Jejich délka a vzájemná vzdálenost je pro sousední prvky v pevném poměru, který je dán podílem logaritmů jejich rezonančních kmitočtů. Logaritmicko-periodická anténa je zobrazena na obrázku 7. [6]

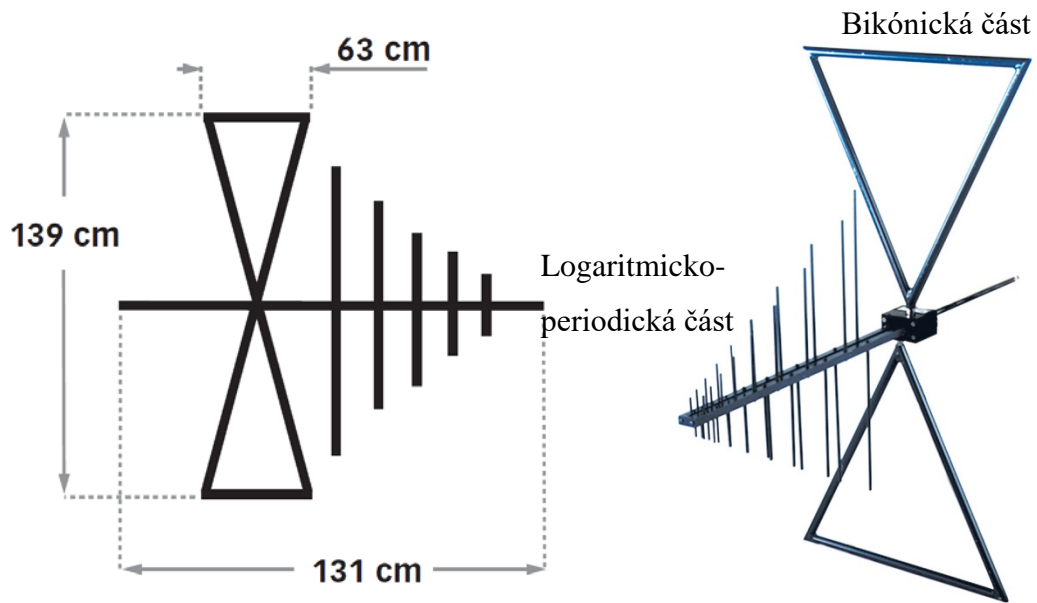


Obr. 7: Logaritmicko-periodická anténa [17]

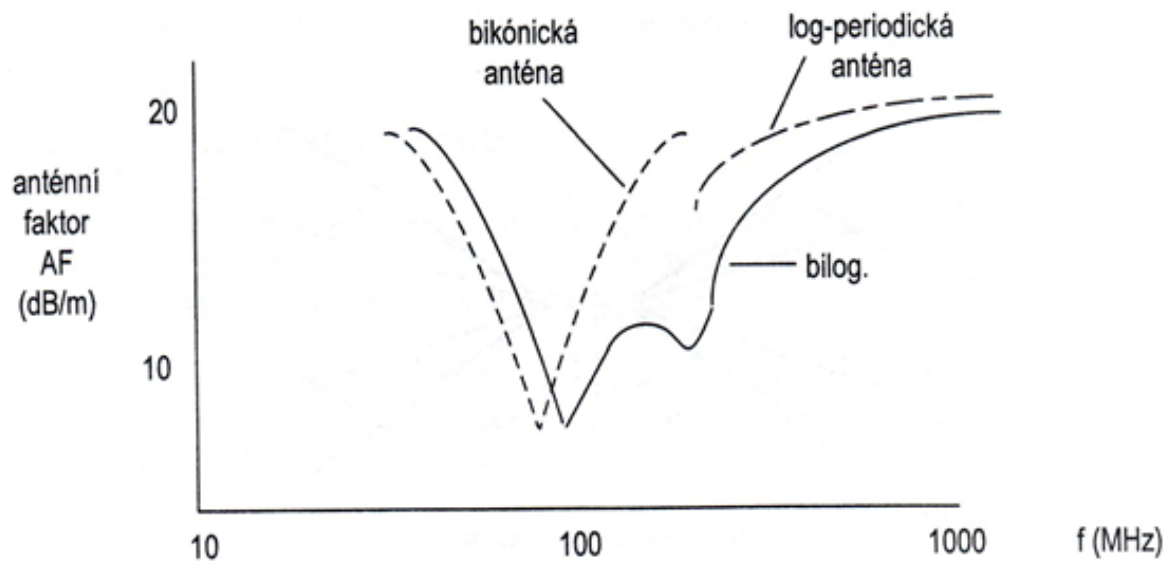
### 4.2.4 Širokopásmová kombinovaná anténa

Jedná se o spojení logaritmicko-periodické a bikónické antény. Tato kombinace má za cíl co možná nejvíc zvětšit širokopásmovost a současně zlepšit některé elektrické vlastnosti. Tato anténa umožňuje měřit v pásmu od 30 MHz až do jednotek GHz (v tomto případě do 1 GHz). Nahrazuje měření bikónickou anténou a logaritmicko-periodickou anténou. Širokopásmová kombinovaná anténa je ukázána na obrázku 8, jedná se o anténu CBL6111D od výrobce TESEQ, jedná se o anténu typu BiLog. Přímou tuto anténa byla použita v měření. Vlastnosti antény na nízkých kmitočtech jsou dány vlastnostmi bikónické části a na vysokých kmitočtech jsou dány logaritmicko-periodickou částí. Na Obrázku 9 je znázorněn kmitočtový průběh anténních činitelů pro bikónickou, logaritmicko-periodickou a kombinovanou anténu typu bilog. [3,6]





Obr. 8: Bikónicko-logaritmická anténa CBL 6111D[20]

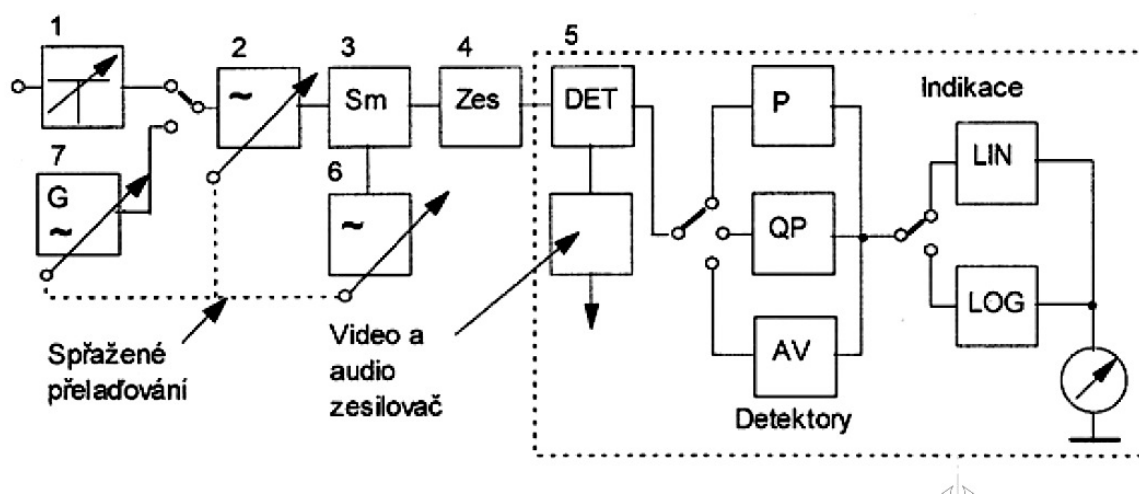


Obr. 9: Kmitočtový průběh anténních činitelů AF u širokopásmových antén [3]

### 4.3 Měřicí přijímač

Pro měření elektromagnetického rušení se obvykle využívá měřicí přijímač, který je koncipovaný jako selektivní mikrovoltmetr pracující na superheterodynním principu. Blokové schéma měřiče rušení je uvedeno na obrázku 10. Základní vlastnosti přijímače jsou určeny především normou ČSN EN 55016-1-1. Na měřič rušení jsou kladeny především tyto specifické požadavky:

- Možnost spojitého přeladování v širokém kmitočtovém rozsahu
- Vysoká citlivost a nízký vlastní šum kvůli možnosti měřit i nízké úrovně rušivých napětí
- Velký dynamický rozsah (větší než 40 dB) vysoká přebuditelnost umožňuje v lineárním režimu měřit i vysoké úrovně rušivých napětí
- Různé druhy detektorů pro různé způsoby vyhodnocení rušivých signálů (napětí) v souladu s normou
- Výstupy nebo obvody pro obrazovou analýzu a monitorování měřených signálů
- Kvalitní elektromagnetické stínění celého přístroje i jeho dílčích bloků pro získání vysoké elektromagnetické odolnosti proti vnějšímu i vlastnímu rušení. [1,6]



1-Vstupní širokopásmový dělič (atenuátor), 2- Laděný selektivní zesilovač, 3-Směšovač, 4-Mezifrekvenční zesilovač, 5-Detektory, 6-Oscilátor, 7-Kalibrační generátor

Obr. 10: Blokové schéma měřícího přístroje – superheterodynní [1]

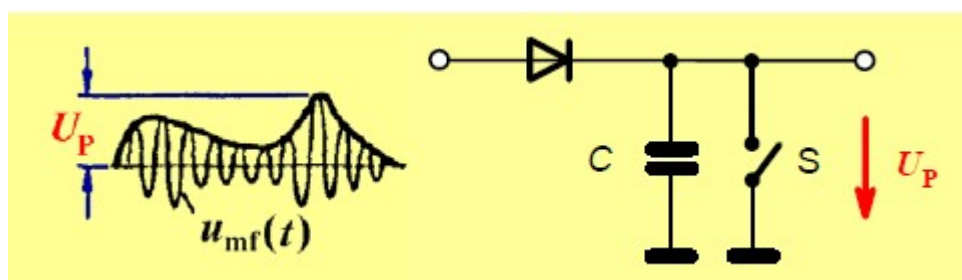
Velikost měřeného napětí je nejdříve upravena v širokopásmovém děliči napětí (1) a pak následně zesílena v laděném selektivním zesilovači (2). Signál je následně směřován ve směšovači (3) se signálem z oscilátoru (6). Tím je získán mezifrekvenční signál o konstantním rozdílovém (mezifrekvenčním) kmitočtu, který je pak zpracován v několikastupňovém mezifrekvenčním zesilovači (4). Na výstup zesilovače je připojen blok detektorů, který umožňuje výběr z různého typu detektorů. Celý přístroj je vybaven několika výstupními indikátory - zvukový, obrazový displej a výstupní elektronickým mikrovolt-metrem. Dále jsou přístroje vybaveny možností připojení vnějšího zapisovače, nahrávacího zařízení apod. Pro kalibraci je přístroj vybaven kalibračním generátorem G s přesnými elektrickými parametry. Dnes je již běžné, že přístroj obsahuje interní nahrávací zařízení. [1]

Bližší jsou popsány špičkový detektor a kvazi-špičkový detektor, a to z důvodu, že byly použity při měření. Pro tyto detektory jsou v normě ČSN EN 50121-3-1 definovány mezní hodnoty, konkrétně pro stacionární zkoušku kvazi-špičkový a pro jízdní zkoušku špičkový detektor. Dále je zmíněn detektor střední hodnoty, který se někdy používá při měření elektromagnetického rušení. Detektor efektivních hodnot (RMS detektor) nemá v oblasti EMC příliš velký význam, z toho důvodu zde není uveden.

### 4.3.1 Špičkový detektor

Tento detektor se rovněž nazývá jako peak detector, Max Peak, detektor vrcholových hodnot nebo zkráceně jen P detektor. Výstupní napětí špičkového detektoru se rovná maximální hodnotě obálky napětí na mezifrekvenčním výstupu měřiče rušení, jinak řečeno měřené napětí udává nejvyšší úroveň proměnného signálu. Vrcholové napětí není nijak závislé na opakovacím kmitočtu. Špičkový detektor má nejmenší časovou konstantu, napětí na jeho výstupu stále sleduje aktuální vrcholovou hodnotu měřeného signálu. Z tohoto důvodu se tento detektor používá při jízdě zkoušce drážního vozidla, kde je nutné provést měření co nejrychleji. Další jeho využití při měření v EMC je pro rychlé počáteční přehledové měření rušivých signálů. Jsou-li hodnoty naměřené v režimu P pod limitou pro QP nebo AV, je zřejmé, že dané zařízení vyhoví příslušné normě. [1,3,6]

Princip špičkového detektoru je naznačen na obrázku 11. Dioda usměrní měřené vstupní napětí. Následně toto napětí nabije kondenzátor C na vrcholovou hodnotu, která se vyskytuje v daném časovém intervalu. Vrcholové napětí  $U_p$  je následně na kondenzátoru udržováno po takovou dobu, dokud není sepnut spínač S, přes který se kondenzátor vybije. Spínač S se sepne buď automaticky, nebo manuálně po uplynutí doby potřebné na zaznamenání výsledné hodnoty. [1,3,6]



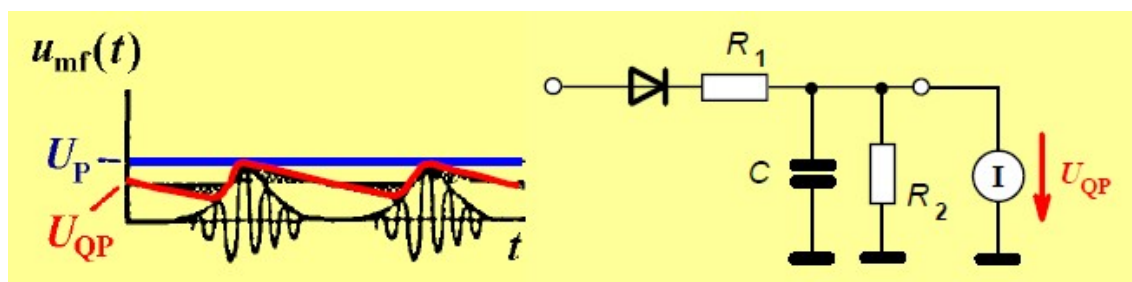
Obr. 11: Princip špičkového detektoru[17]

### 4.3.2 Kvazi-špičkový detektor

Quasi-peak detector, QP detektor, detektor kvazivrcholové hodnot - všechny tyto názvy označují kvazi-špičkový detektor. Tento detektor se především používá k měření širokopásmového rušení, které produkuje většina technických zdrojů rušení, také většina

mezí pro širokopásmové rušení jsou dána v kvazivrcholovém režimu. Nabíjecí časová konstanta je mnohem nižší než vybíjecí, nabíjení je tedy rychlejší než vybíjení. Z toho důvodu detektor reaguje na změnu střídavy. Detektor zároveň lineárně závisí i na amplitudě měřeného signálu. Napětí na výstupu detektoru je tedy úměrné napěťově-časové ploše obálky vstupního mezifrekvenčního signálu. Výstupní napětí je ovlivňováno velikostí i opakovacím kmitočtem vstupních impulzů rušivého napětí. Když se srovná výstupní hodnota ze špičkového a kvazi-špičkového detektoru, na kvazi-špičkovém bude vždy hodnota nižší. [1,3,6]

Princip kvazi-špičkového detektoru je naznačen na obrázku 12. Diodou usměrněné napětí je vyhodnoceno v závislosti na dvou vhodně zvolených časových konstantách. První z nich je nabíjecí a je tvořena hodnotami  $R_1C$  a druhá vybíjecí je tvořena hodnotami  $R_2C$ . K dosažení efektu kvazi-špičkovému detektoru se docílí vhodnou volbou nabíjecí a vybíjecí časové konstanty. Vybíjecí časová konstanta musí být větší než nabíjecí, mezi sousedními impulzy se vždy kondenzátor  $C$  částečně vybije. Hodnoty časových konstant určuje norma ČSN EN 55016-1-1, a to s ohledem na příslušné kmitočtové pásmo. Konstanty jsou uvedeny v tabulce 2. [1,3,6]



Obr. 12: Kvazi-špičkový detektor [17]

Tab. 2: Časové konstanty kvazi-špičkového detektoru podle ČSN EN 55016-1-1 [15]

Kmitočtové pásmo [MHz]	0,009 až 0,15	0,15 až 30	30 až 1000
Šířka pásma [kHz]	0,2	9	120
Nabíjecí časová konstanta $R_1C$ [ms]	45	1	1
Nabíjecí časová konstanta $R_2C$ [ms]	500	160	550

### **4.3.3 Detektor střední hodnoty**

Tento detektor se taky označuje jako AV detektor nebo průměrující detektor. Na jeho výstupu vystupuje aritmetická střední hodnota modulační obálky měřeného signálu. AV detektor se především používá pro měření úzkopásmových rušivých signálů. [1]

## 5 Zdroje rušení na drážním vozidle

Zdrojů rušení na drážním vozidle je hned několik. Jeden z největších zdrojů rušení jsou výkonové polovodičové měniče. Těchto měničů se na vozidla vyskytuje celá řada, a to jak ve střídačovém, tak i usměrňovacím chodu. Používají se jak k napájení hlavního trakčního pohonu, tak i k napájení pomocných pohonů. Dále se mohou používat k napájení klimatizace nebo jiných palubních systémů. Další významné zdroje rušení jsou samotné trakční motor či pomocné pohony a vodiče, kterými je daný motor napájen z měniče. Rušení z měniče je přes napájecí kabel přeneseno do okolí a do motoru, kabel zde funguje jako anténa. V neposlední řadě lze za zdroje rušení považovat i řídicí jednotky či jiné logické obvody nebo mikroprocesory. Identifikace zdroje rušení je často velmi obtížná.

### 5.1 Výkonové polovodičové měniče jako zdroje rušení

Příčinou vzniku vysokofrekvenčního rušení od zařízení s výkonovými polovodičovými součástkami (VPS) je jejich fyzikální vlastnost, kdy dochází k náhlé změně impedance při přechodu z nevodivého stavu do vodivého a naopak. V důsledku přerozdělení energií akumulovaných v reaktancích celého obvodu vznikají přechodná napětí a proudy. Kmitočtová spektra těchto napětí a proudů sahají až do oblasti desítek MHz a následně způsobují nežádoucí vysokofrekvenční rušení, které se může šířit do okolí pomocí záření. Rozlišujeme dva druhy rušení:

- rušení vzniklé v moment otevření součástky,
- rušení vzniklé při vypnutí výkonové polovodičové součástky. [1]

Měniče s plně říditelnými VPS jsou IGBT tranzistory, GTO tyristory, MOS-FET tranzistory atd. Základním znakem je použití plně říditelných VPS s využitím pulzně šířkového řízení - PWM. PWM řízení měničů je zcela univerzální, je možné jej aplikovat na jakýkoliv typ měniče, ale je vyžadováno, aby VPS měl možnost vypnout proud ve větvi měniče v libovolném okamžiku, nezávisle na fázi napětí sítě, zátěže, nebo obecně, nezávisle na poměrech na vstupu a výstupu měniče. Z hlediska rušení jsou však tyto měniče silnými zdroji vf rušení. [1]

Silné vf rušení je dáno vysokými kmitočty PWM řízení a vysokými hodnotami  $du/dt$  a  $di/dt$  tranzistorů. To se projevuje na výstupu měniče - jako silné rušivé účinky společně s anténním efektem výstupního kabelu k motoru, který toho rušení vyzáří do okolí, tak i na vstupu napájecí sítě. [1]

## 5.2 Identifikace zdroje rušení

Při měření a následném vyhodnocení je velmi užitečné mít seznam všech vysílačů, které jsou instalovány na vozidle. Pokud se nachází frekvence, na které daný vysílač pracuje, v měřeném pásmu a překračuje danou mez, tak v tomto případě se nejedná o nechtěné rušení, ale o takzvanou vlastnost vozidla. Tuto skutečnost je třeba uvést v protokolu. Pro všechny následující postupy je nutná přítomnost osoby, která má dobrou znalost měřeného vozidla, například projektanta, který se podílel na vývoji vozidla

Při určování zdroje rušení se postupuje následujícím způsobem. Provedou se standardně všechna měření, tak jak jsou popsána v kapitole 0. Při zjištění překročení mezi daných normou a vyloučení užitečných zdrojů signálu se přistupuje k hledání zdroje rušení. Toto hledání se provádí vypínáním jednotlivých elektrických zařízení, jako jsou například topení, klimatizace atd. Poté se provede znovu měření. Když se ukáže, že při vypnutém zařízení zmizí frekvence, která překračovala limit, je zřejmé, že rušení způsobuje právě toto zařízení.

Další varianta určení zdroje rušení je ta, když se vyskytnou v měření frekvence, které mají společný násobek. V tomto případě lze předpokládat, že tyto frekvence jsou od jednoho zdroje. Následně se konzultuje, zda není na vozidle zařízení, které využívá násobky právě těchto frekvencí.

Pokud je to možné, lze přistoupit k drobným zásahům do elektrického zařízení vozidla jako je například přidáním feristorů na vodiče, provést znovu měření a výsledky následně konzultovat.



## 6 Odrušovací prostředky

Již při samotném návrhu zařízení je nutné počítat s nutností vybavit zařízení odrušovacími prostředky. Při konstrukci se dají odrušovací prostředky ještě relativně snadno doplnit či upravit podle aktuálních potřeb. Mnohdy vychází potřeby na odrušení z předchozích zkušeností na podobném zařízení. Kdyby zařízení bylo vybaveno jen minimálními nebo dokonce žádnými odrušovacími prvky a docházelo by k rušení, což je pravděpodobné, následné úpravy by mohly znamenat značné prodražení a zesložnění daného zařízení. Proto je opravdu důležité počítat s odrušením již při samotném návrhu a vycházet z předchozích zkušeností.

### 6.1 Elektromagnetické stínění

Stínění je jedním z nejdůležitějších prostředků na odrušení v rámci EMC. Umožňuje jak zmenšit rušivé vyzařování, tak i zvyšuje elektromagnetickou odolnost zařízení. Jedná se o vysoce efektivní způsob elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením kontinuálního nebo impulzního charakteru. Stínění či jinak řečeno stínící kryt je konstrukční prostředek k zeslabení elektromagnetického pole ve vymezeném prostoru. Tento prostředek lze použít k ochraně či zamezení záření jak jednotlivých součástí, tak i funkčních bloků, tak i celých zařízení. [1,6]

Mechanické krytí při vhodné volbě materiálů, tvaru a technologie je zároveň i elektromagnetické stínění. Takto navržené elektromagnetické stínění často slouží i jako ochrana před jinými vlivy, než jsou elektromagnetické. Mezi tyto vlivy lze zařadit tlumení mechanických vibrací, těsnění proti vlhkosti, ochrana proti nebezpečnému dotyku, ochrana proti vnějšímu klimatu apod. Proto je třeba brát v úvahu při návrhu stínění i další vlastnosti materiálu, a to nejen ty elektrické. Může pak nastat situace, kdy zlepšení jednoho parametru má za následek zhoršení parametru druhého. Dobrý příklad je zlepšení elektromagnetického stínění ve ventilačním otvoru pomocí vodivé mřížky, tím ale dojde ke zhoršení ventilace stíněného prostoru. [1,6]

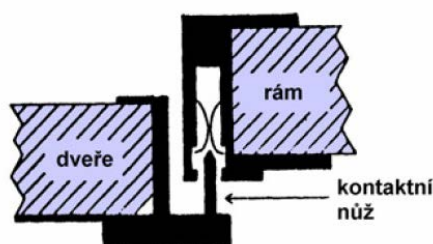
### 6.1.1 Rozvaděčová / měničová skříň pro EMC

Konstrukce rozvaděčových skříní je jedním z rozhodujících faktorů při zamezení šíření elektromagnetického pole zářením a zároveň před ním chrání. Skříň by měla být konstrukčně provedena tak, aby poskytla mechanické krytí, ale i dostatečné elektromagnetické stínění. Při konstrukci je důležité sladit požadavky na krytí, korozní odolnost, snadnou montáž, a aby skříň jako celek tvořila co možná nejdokonalejší Faradayovu klec. [1] Mezi hlavní důvody netěsností a přerušení z pohledu elektromagnetického pole patří:

- Konstrukční otvory (dveře, přístupové panely, vzduchové průduchy apod.)
- Štěrby mezi sešroubovanými plechy
- Vstupní kabeláž a jiné propojovací struktury
- Špatně vodivá (vysokoimpedanční) části stínění (nedokonalá vodivá spojení), nedokonalé vodivé průhledné plochy (skla)

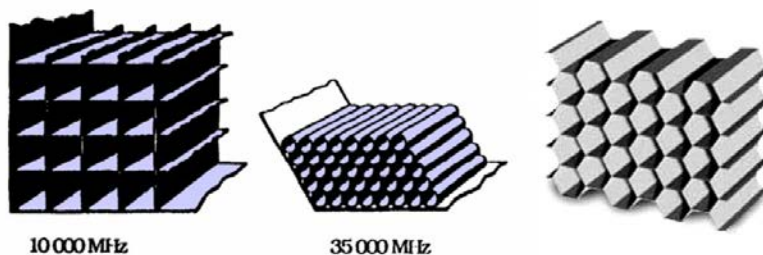
Netěsnosti a přerušení lze řešit následujícími postupy:

Přístupové otvory či dveře musí mít vodivé těsnění, které zajistí dobrý vodivý kontakt mezi pohyblivou a nepohyblivou částí. Lze rovněž využít velmi kvalitní vodivý kontakt bez štěrby, toto řešení je ukázáno na obrázku 13.[6]



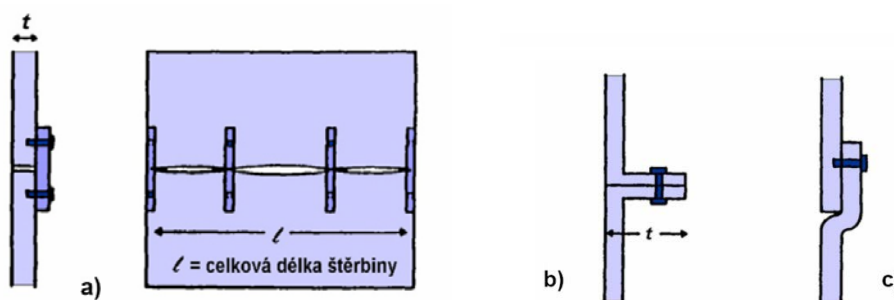
Obr. 13: Řešení elektromagnetického těsnění pomocí nožových kontaktů [17]

Pro vzduchové průduchy se vyrábějí celé větrací sekce, které se skládají z řady podkritických vlnodů. Ty tvoří jakousi „komínkovou“ strukturu (viz obrázek 14). V některých případech postačuje vybavit větrací průduch mřížkou či sítíkou s dostatečným počtem malých dírek. Obě tato řešení předpokládají vodivé spojení s celou skříní. [6]



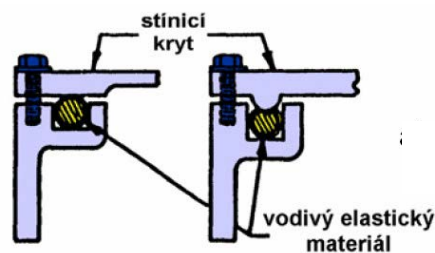
Obr. 14 Průduchové a větrací sekce stínících krytů [17]

Při spojování části kovového krytu (tzv. natupo) vznikají nechtěné štěrbin, které vznikají vlivem ne zcela ideálně opracovaných kovových desek. Může tím vzniknout štěrbina o značné délce. Tento problém lze řešit dostatečně dlouhým překrytím, jak je zobrazeno na obrázku 15. [6]



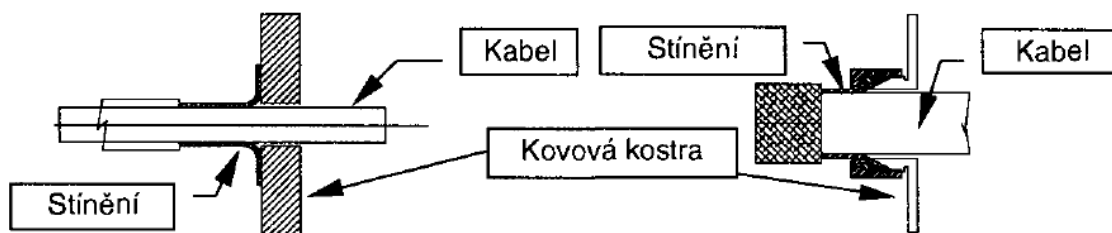
Obr. 15: a) – vznik nežádoucí štěrbin při spojení „na tupo“, b,c) – odstranění problému překryvem spojovaných částí [17]

Zmenšení vlivu spár mezi sešroubovanými kovovými plochami lze dosáhnout vyšším počtem spojovacích šroubů a vložením elastických a zároveň vysoce vodivých materiálů, které se nanesou do místa spojení. Mechanickým tlakem spojovaných částí se následně zcela vyplní možné štěrbin mezi nimi (viz obrázek 16). Tento způsob je vhodný u spojů, které je občas nutné rozebrat. [6]

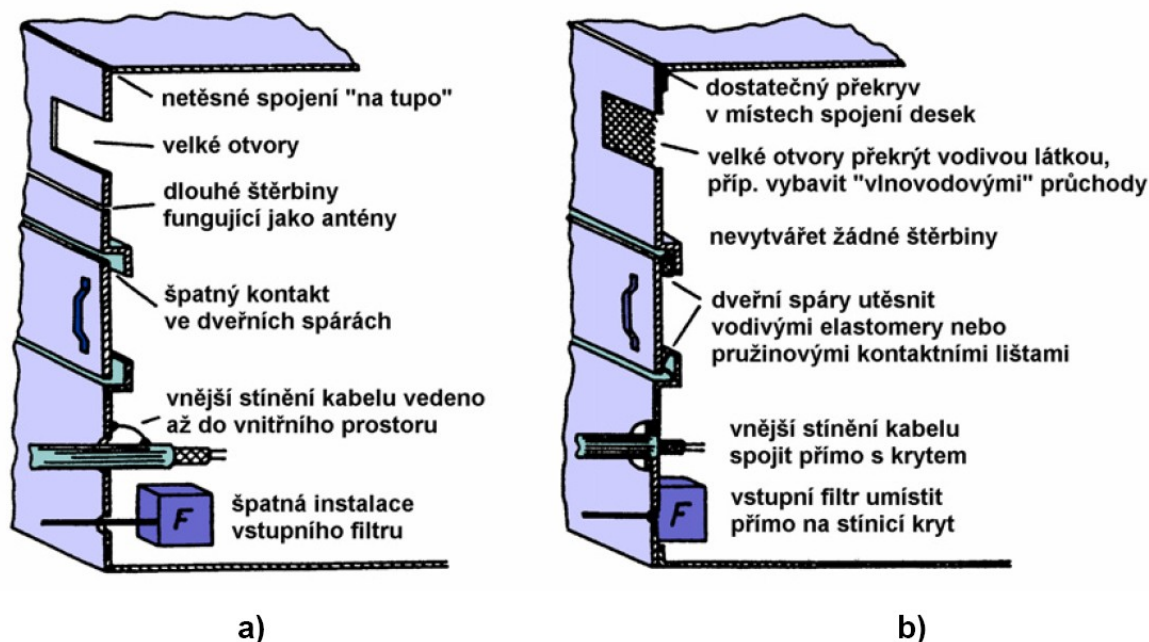


Obr. 16: Řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů [17]

Otvory pro kabeláž musí být co nejmenší a mít takové konstrukční upořádání, aby stíněný kabel mohl být pevně propojen s vnějším povrchem krytu. Ukázka takového připojení je na obrázku 17. Otvory, které jsou určeny pro optickou kontrolu zařízení, lze stínit pomocí kovové sítě, která se vloží mezi dvě transparentní plochy, případně lze použít vodivý film. Samozřejmostí je vodivé propojení s okolními kovovými částmi. Na obrázku 18 je názorně ukázáno, jak by provedení skříně a) nemělo vypadat a za b) jak konstrukci zlepšit. [1,6]



Obr. 17: Připojení stíněného kabelu k vodivé části rozvaděče [1]

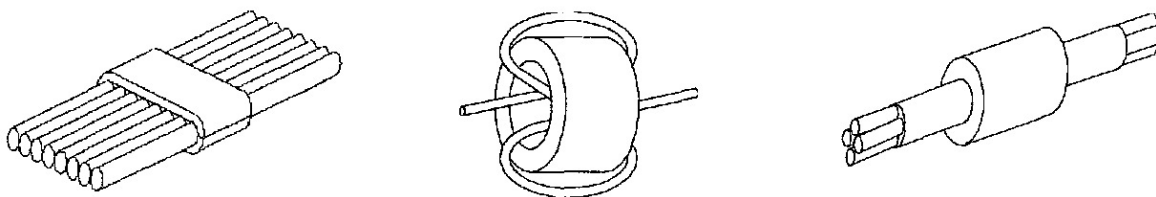


Obr. 18: Konstrukce elektromagnetických stíněných krytů [17]

## 6.2 Feristory

Feristory jsou dutá nebo půlená jádra z feromagnetického materiálu, nazývají se také indukční útlumové členy. Jsou levné, účinné a snadno použitelné. Feromagnetický materiál musí mít vysokou permeabilitu a vysoké ztráty, a to z důvodu, aby se v pásmu nad 1 MHz choval jako kmitočtově závislý odpor. Feristory snadno omezí vysokofrekvenční rušení způsobené přechodovými ději v důsledku spínacích pochodů, které by se jinak šířilo po vodičích a následně i do okolí záření. Dále je lze navleknout na přívody k součástkám citlivým na vysokofrekvenční rušení. Je důležité feristory umísťovat co nejbližší k příslušnému zařízení. [1]

Nejrozšířenějším materiálem pro feristory jsou ferity, ale začínají se již používat nanokrystalické materiály, jako je například Vitroperm. K dispozici jsou jádra speciálních tvarů, konstrukčních nebo technologických úprav. Jeden z požadavků na feristory je možnost jejich nasazení na vodič, aniž by došlo k odpojení. Lze je měnit i v průběhu testování, pokud je přístup k patřičným vodičům. Feristory jsou účinné v obvodech s nízkou impedancí řádově desítky ohmů. V obvodech s vysokou impedancí řádově stovky ohmů nejsou příliš účinné. Na obrázku 19 jsou ukázány příklady feristorů. [1]



Obr. 19: Příklady provedení feristorů, zleva: dělený zaklepávací, toroid, trubička [1]

### 6.3 Stínění koaxiálního kabelu

Úkolem elektromagnetického stínění koaxiálního kabelu je potlačit vliv nežádoucího vyzařování rušivých elektromagnetických signálů šířících se z kabelu do jeho vnějšího okolí a zároveň zbránit vlivu vnějších rušivých polí na užitečný signál přenášený vnitřním vodičem koaxiálního kabelu. [6]

Kabely, které vedou z transformátoru do měniče a z měniče do motoru, případně jiné zátěže, se nazývají „výkonové kabely“. Tyto kabely by měly být vedeny samostatnou trasou a v jejich blízkosti minimální 0,5 m, lépe 1 až 2 m nesmí vést žádná jiná kabeláž. Po celé trase musí být v provedení mnohožilové (třížilové v případě izolovaného systému, čtyřžilové v provedení systému s uzemněným středním vodičem), dále kabel musí být opatřen pancířem z ocelových pásků (drátů), jinak řečeno musí mít stínění. Stínění se spojí celým svým obvodem na jedné straně s kostrou skříně, ve které je měnič, a na druhé straně s kostrou motoru či jiného zařízení. Příklad spojení stínění ke skříně je na obrázku 17. Po celé délce kabelu nesmí dojít k přerušení stínění. [1]

### 6.4 Odrušovací filtr

K dokonalejší ochraně před působením vysokofrekvenčního rušení šířeného po vedení se používají odrušovací filtry. Rovněž lze použít filtr pro omezení vysokofrekvenčního rušení, které by se mohlo šířit ze zdroje rušení do vodiče. Nejčastější filtry jsou typu LC dolní propust, které bez potlačení propouštějí signály (proudy) s kmitočtem nižším, než je určitý mezní kmitočet, a naopak tlumí složky, jejichž kmitočet je vyšší než tento mezní kmitočet. [6]

Obecně lze filtr definovat jako dvojbran, který v určité části (částech) kmitočtového spektra propouští elektrický signál s minimálním potlačením, oproti tomu v ostatních částech (části) spektra s maximálním potlačením. To znamená, že v propustném pásmu má být útlum signálu co nejmenší, nejlépe nulový, a v nepropustném pásmu naopak co největší, nejlépe nekonečný. V praxi je velmi obtížné tyto dvě podmínky současně splnit. Proto je snahou realizovat filtr tak, aby v propustném pásmu útlum nepřekročil nejvýše přípustnou hodnotu a v potlačeném pásmu neklesl pod nejmenší požadovanou hodnotu. Důležitou vlastností filtru je jeho chování v oblasti přechodového pásma mezi pásmem nepropustnosti a pásmem propustnosti. [6]

## 7 Měření elektromagnetického rušení v praxi

Důvodem měření elektromagnetického rušení z daného drážního vozidla je ověřit, zda toto vozidlo neprodukuje nadlimitní množství elektromagnetického záření, které by mohlo negativně ovlivňovat své okolí. Hraniční mezní hodnoty vyzařovaného pole stanovuje norma ČSN EN 50121. Dále tato norma určuje požadavky na měření, jakým způsobem bude měření provedeno a následně vyhodnocení změřených veličin.

### 7.1 Měření podle normy ČSN EN 50121 edice 2

#### 7.1.1 Podmínky při měření

##### 7.1.1.1 Povětrnostní podmínky

Z důvodu minimalizace možného vlivu počasí na měření a tudíž i na výsledné hodnoty by se měření mělo provádět za podmínek, která ukládá norma. Jedná se o tyto podmínky:

Charakter počasí	Sucho, po dobu 24 hodin nespadlo více jak 0,1 mm dešťových srážek
Teplota vzduchu	Vyšší než 5°C
Rychlost větru	Menší než 10 m/s
Vlhkost vzduchu	Dostatečně malá, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na trolejovém vedení

Protože měření se musí plánovat dopředu a tudíž nejsou známy povětrnostní podmínky, mohou se provést i za podmínek, které neodpovídají požadovaným povětrnostním podmínkám. Povětrnostní podmínky se musí v měřicím protokolu uvést jak v případě podmínek, které nevyhovují normě ČSN EN 50121, tak i v případě, že tyto podmínky jsou splněny.



### **7.1.1.2 Měřicí stanoviště**

Pro provedení měření je nutné vybrat vhodné místo na rovné trati - tzv. zkušební místo. Zvolené místo musí splňovat podmínky volného prostoru v rámci omezení drážního prostředí. Jedná se o tyto podmínky:

- V blízkosti měřicího místa se ve vzdálenosti do 10 m/30 m (vozidla městských drah/vozidla železniční sítě) nesmí vyskytovat stromy, stěny, mosty, tunely nebo vozidla
- Měřicí místo musí být umístěno uprostřed mezi trakčními podpěrami na opačné straně koleje (v případě dvoukolejné trati na té straně koleje, která je použita)
- Minimální volná délka napájecího vedení by měla být 500 m/3 km (vozidla městských drah/vozidla železniční sítě) na obě strany od měřicího místa, měla by se chovat jako „nekonečná“ přímka.
- Na napájecím vedení by se neměly vyskytovat nespojitosti
- V měřicím úseku by se neměly vyskytovat napájecí stanice, transformátory, neutrální sekce, oddělovací izolátory a podobně
- Ve stejné napájené sekci nebo ve vzdálenosti 2 km/20 km (vozidla městských drah/vozidla železniční sítě) by nemělo být provozováno žádné jiné drážní vozidlo

V případě, že tyto podmínky nejsou splněny, je nezbytné zaznamenat šum pozadí před a po každém měření emisí. Co je šum pozadí a jak se měří, je vysvětleno v podkapitole 7.1.3 Měření elektromagnetického pozadí – šum pozadí. V případě splnění těchto podmínek postačuje změřit šum pozadí na začátku a na konci celého měření.

## 7.1.2 Požadavky na měřicí zařízení

Měřicí zařízení je nastaveno podle normy ČSN EN 50121-3-1: 2007. Měřicí přístroj, který je použit pro měření elektromagnetické rušení zářením, musí pracovat v rozsahu kmitočtů od 9 kHz až 1 GHz. Dále musí tento přístroj měřit pomocí kmitočtového přeladování s použitím kmitočtů, které jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3: Šířky pásma pro kmitočtové přeladování

Pásmo [MHz]	Šířka pásma [kHz]
0,009 – 0,15	0,2
0,15 - 30	9
30 – 1000	120

### 7.1.2.1 Snímací antény a jejich umístění

Aby byl pokryt celý kmitočtový rozsah, používají se antény různých konstrukcí. Pro měření lze použít následující antény.

Smyčková nebo rámová anténa	Pásmo 9kHz - 30MHz, magnetické pole
Bikónická anténa	Pásmo 30MHz - 300MHz, elektrické pole
Logaritmicko-periodická anténa	Pásmo 300Mhz – 1GHz, elektrické pole

Pro měření v rozsahu 30MHz až 1 GHz lze použít kombinovanou anténu. Jedná se o širokopásmovou kombinovanou anténu, její bližší popis je v podkapitole 4.2.4. Tato varianta je použita při měření.

**Umístění antén:**

Smyčková anténa - obrázek 20

Vzdálenost antény od osy koleje	10 m
Výška středu antény nad úrovní kolejí	1 – 2 m
Rovina antény	vertikální a rovnoběžná s tratí

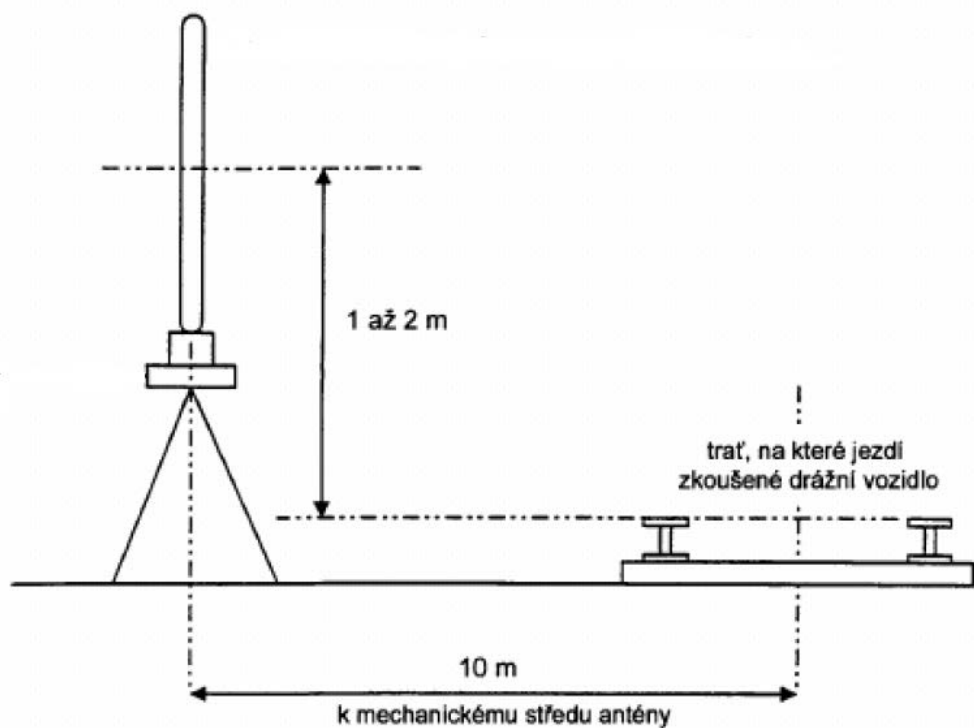
Bikónická anténa- obrázek 21

Vzdálenost antény od osy koleje	10 m
Výška středu antény nad úrovní kolejí	2,5 – 3,5 m
Rovina antény	kolmo ke koleji
Natočení antény	horizontální a vertikální

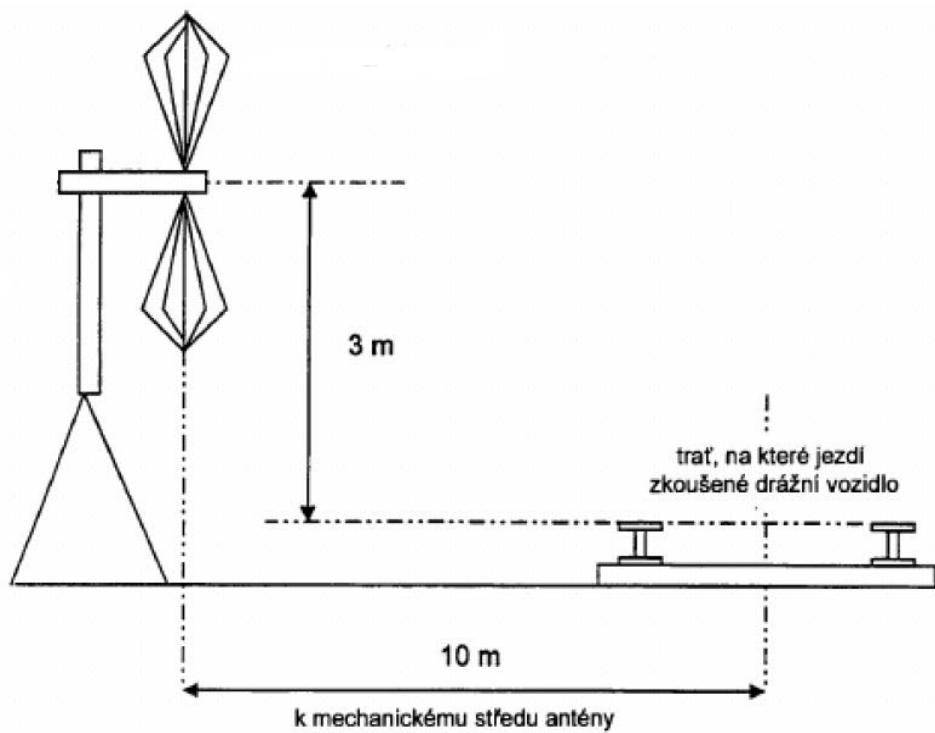
Logaritmicko-periodická anténa - obrázek 22

Vzdálenost antény od osy koleje	10 m
Výška středu antény nad úrovní kolejí	2,5 – 3,5 m
Rovina antény	kolmo ke koleji
Natočení antény	horizontální a vertikální

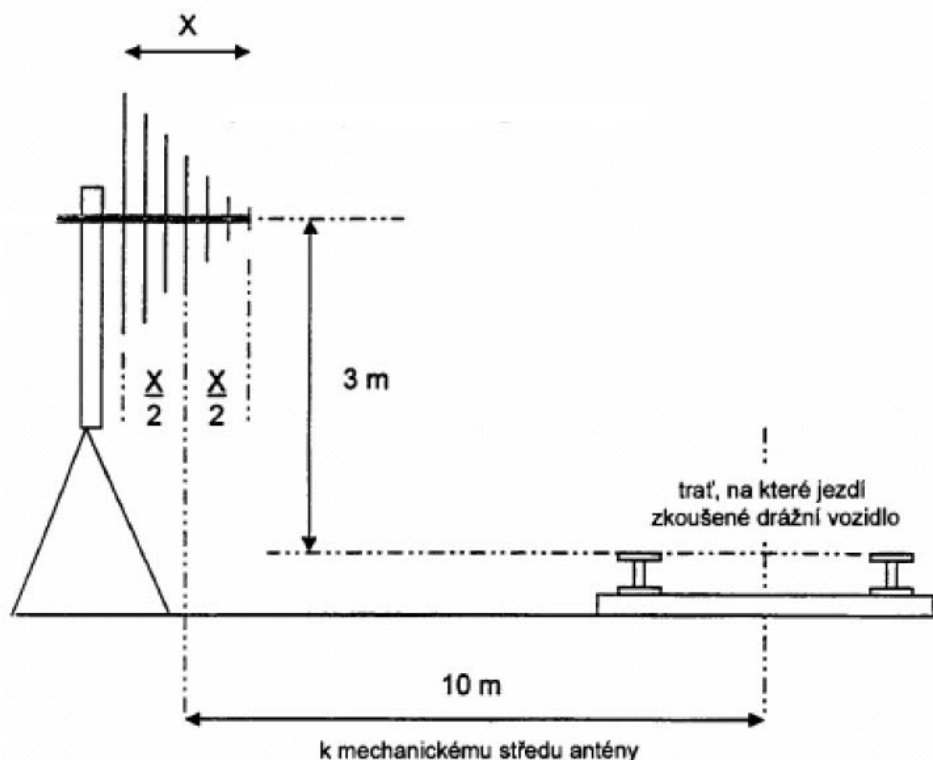
Jestliže se výška země u antén liší od výšky kolejí o více než 0,5 m, je nutné tuto skutečnost uvést ve zkušebním protokolu.



Obr. 20: Pozice smyčkové antény [9]



Obr. 21: Pozice bikónické antény [9]



Obr. 22: Pozice logaritmicko-periodické antény[9]

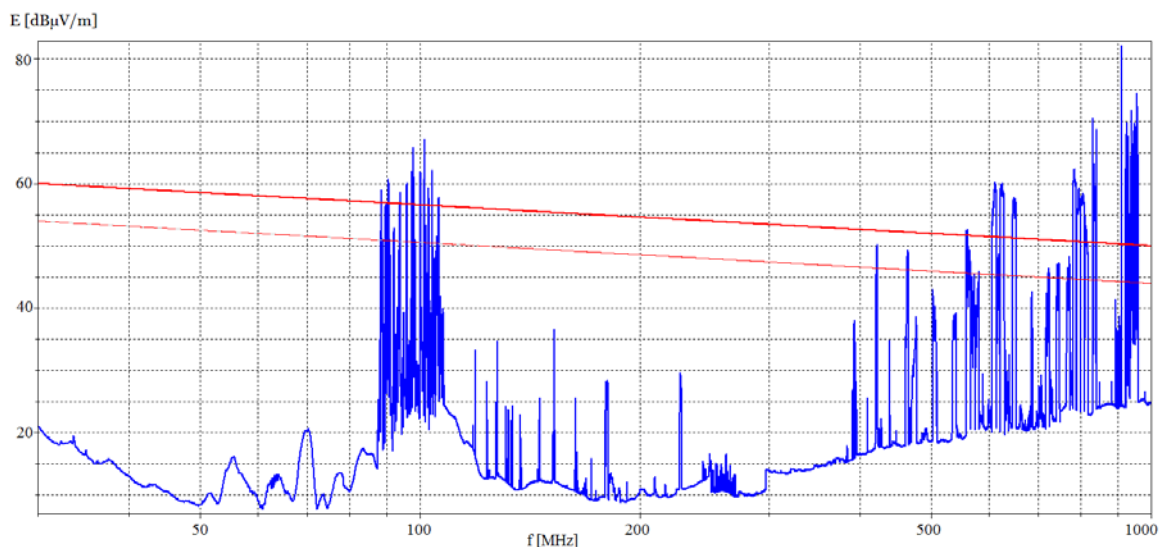
### 7.1.3 Měření elektromagnetického pozadí – šum pozadí

Elektromagnetické pozadí ukazuje, jak je dané místo „zarušeno“ elektromagnetickým polem z okolních zdrojů. Šum pozadí se měří z důvodu, aby se určil vliv okolí na prováděné měření. Jedním ze zdrojů šumu je napájecí trakční vedení, které je pod napětím. Mezi další zdroje šumu lze počítat například provoz mobilních sítí či rozhlasové a televizní vysílání.

Elektromagnetické pozadí se měří vždy před a po sérii měření elektromagnetického rušení. Pokud nejsou splněny některé podmínky z podkapitol 7.1.1.1 a 7.1.1.2, pozadí se měří před a po každém měření. Pozadí je měřeno se zkoušeným vozidlem stojícím před měřicími anténami. Zkoušené vozidlo je pro účel měření pozadí uvedeno do vypnutého stavu včetně baterií, trakční vedení je pod napětím. Měřeno je ve všech konfiguracích měřících přístrojů, ve kterých bude prováděno vlastní měření, a se stejným nastavením měřícího přijímače (Max Peak i Quasi Peak).

Pokud je na konkrétních kmitočtech nebo kmitočtových rozsazích šum pozadí vyšší

než je mez, která je o 6 dB níže než mezní hodnota dána normou, na grafech je zmíněna mez vyznačena červenou přerušovanou čarou. Na obrázku 23 je znázorněno změřené pozadí, mez dána normou ČSN EN 50121 je červená plná linka a mez snižena o 6dB je červená přerušovaná linka. Měření na těchto kmitočtech se pak nemusí brát v úvahu, avšak tyto kmitočty se musejí zaznamenat v protokolu.



Obr. 23: Změřené pozadí v pásmu 30 MHz až 1GHz (vertikální polarizace antény)

#### 7.1.4 Konfigurace jednotlivých měření

Měření elektromagnetického rušení jsou prováděna v těchto režimech: stacionárním a jízdním (pomalá jízda). Pokud je vozidlo vybaveno elektrodynamickou brzdou, je navíc přidán režim při využití elektrodynamické brzdy. Měření jsou prováděna v konfiguracích antén a konfiguracích vozidla, které jsou uvedeny níže.

### Stacionární zkouška

Stav vozidla	zapnuté
Pozice vozidla	stacionární, před měřicími anténami
Trakční vedení	pod napětím
Pomocné měniče	pod napětím, v činnosti, zapnutá klimatizace v kabině, topení a osvětlení v salonu
Trakční měniče	pod napětím, nečinné
Smyčková anténa	měření č. 1
Širokopásmová kombinovaná anténa (horizontální orientace)	měření č. 2
Širokopásmová kombinovaná anténa (vertikální orientace)	měření č. 3
Délka měření	jednorázové (Single Run)
Detektor	kvazivrcholový (Quasi Peak)

### Jízdní zkouška při akceleraci

Stav vozidla	zapnuté
Pozice vozidla	průjezd okolo měřících antén
Rychlost v okamžiku průjezdu (městské dráhy/železnice)	$20 \pm 5$ km/h/ $50 \pm 5$ km/h
Tažná síla	$\frac{1}{3}$ maximální tažné síly
Trakční vedení	pod napětím
Pomocné měniče	pod napětím, v činnosti, vypnutá klimatizace v kabině, topení a osvětlení v salonu
Trakční měniče	pod napětím, v činnosti
Smyčková anténa	měření č. 1
Širokopásmová kombinovaná anténa (horizontální orientace)	měření č. 2
Širokopásmová kombinovaná anténa (vertikální orientace)	měření č. 3
Délka měření	kontinuální (Continuous Run), po dobu průjezdu vozidla okolo měřících antén
Detektor	vrcholový (Max Peak)
Záznam	maximální hodnoty z celého měření (Max Hold)

### Jízdní zkouška při brzdění

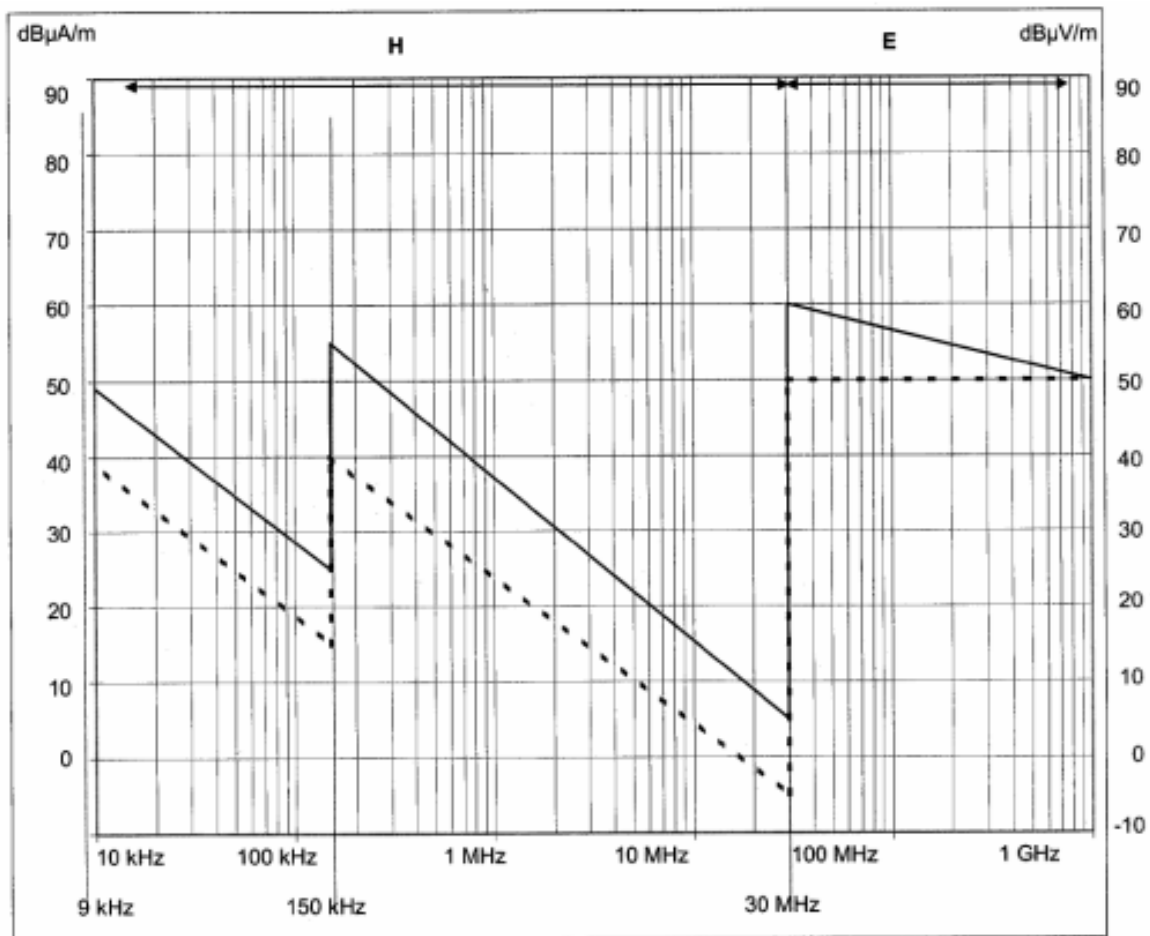
Stav vozidla	zapnuté
Pozice vozidla	průjezd okolo měřících antén
Rychlost v okamžiku průjezdu (městské dráhy/železnice)	20 ± 5 km/h/50 ± 5 km/h
Brzdná síla	1/3 maximální brzdné síly
Trakční vedení	pod napětím
Pomocné měniče	pod napětím, v činnosti, vypnutá klimatizace v kabině, topení a osvětlení v salonu
Trakční měniče	pod napětím, v činnosti
Smyčková anténa	měření č. 1
Širokopásmová kombinovaná anténa (horizontální orientace)	měření č. 2
Širokopásmová kombinovaná anténa (vertikální orientace)	měření č. 3
Délka měření	kontinuální (Continuous Run), po dobu průjezdu vozidla okolo měřících antén
Detektor	vrcholový (Max Peak)
Záznam	maximální hodnoty z celého měření (Max Hold)

U pomocných měničů není nutné, aby pracovaly s maximálním zatížením, pokud je ovšem dosaženo maximálních emisí. Osvětlení v salonu se vztahuje jen pro ta vozidla, která jsou určena pro přepravu cestujících. Vypnutí a zapnutí klimatizace se týká pouze vozidel, která jsou jí vybavena. Měření č. 1 označuje měření smyčkovou anténou na kmitočtech 9 kHz až 30 Mhz. Obdobně je tomu i u měření č. 2 a č. 3, kdy dochází k měření elektrické složky elektromagnetického rušení. V případě podezření, že elektromagnetické pozadí je nestálé, je možné provést měření vícekrát při stejné konfiguraci a poté vybrat nejpříznivější průběh.

#### 7.1.5 Způsob zpracování naměřených dat

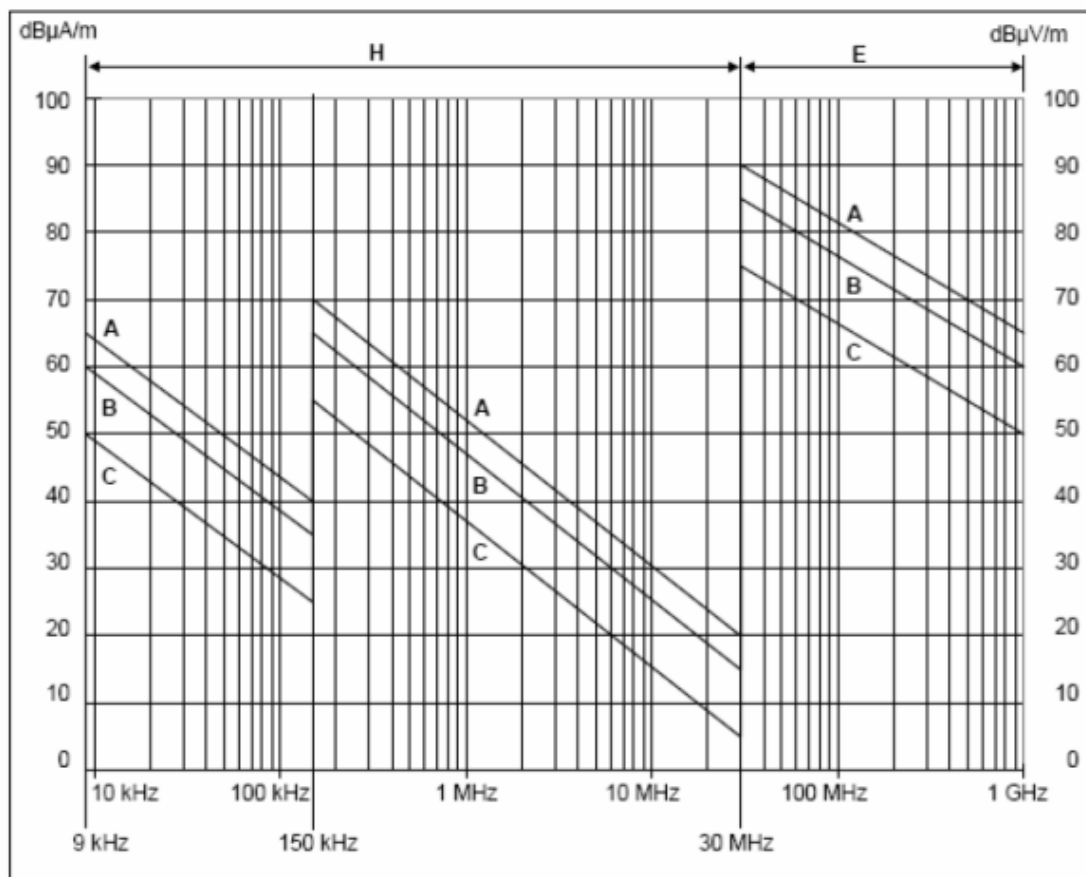
Naměřené hodnoty jsou porovnány s limity podle normy ČSN EN 50121-3-1: 2007, ed. 2 pro drážní vozidla. Vozidlo vyhoví v případě, že jeho elektromagnetická emise nepřekročí stanovené limity. Tyto limity jsou znázorněny na obrázcích 24 a 25. Limity na obrázku 24 jsou pro stacionární zkoušku a jsou rozděleny na limity jak pro městské dráhy (tramvaj/trolejbus), tak pro drážní vozidla. Na obrázku 25 jsou limity pro jízdní zkoušku a ta se dělí podle druhu napájecí soustavy.





— Jiná drážní vozidla  
 - - - - - Tramvaje/trolejbusy pro městské dráhy

Obr. 24: Mezní hodnoty pro stacionární zkoušku (kvazivrcholové hodnoty)[10]



A = 25 kV AC

B = 15 kV AC; 3kV AC; 1,5 kV DC

C = 750 V a 600V DC včetně tramvají/trolejbusu používaných v městských drahách (napájené troleje a přívodních kolejnic)

Obr. 25: Mezní hodnoty pro jízdní zkoušku (vrcholové hodnoty) [10]

## **7.2 Rozdíly v měření při použití ČSN EN 50121 Edice 3**

V následující podkapitole jsou popsány rozdíly v měření při použití nové série norem ČSN EN 50121 v edici 3 z roku 2016.

### **7.2.1 Měřicí stanoviště podle edice 3**

Měřicí stanoviště podle nové normy musí splňovat následující podmínky

- Měřicí místo musí být umístěno uprostřed mezi trakčními podpěrami na opačné straně koleje (v případě dvoukolejné trati na té straně koleje, která je použita)
- Napájecí vedení musí být co možná nejvíc jako rovná přímka, a to na obě strany od měřicího místa; normou je dána minimální délka na 200 m na obě strany
- Mezi anténami a měřeným zařízením na úrovni kolejnice se nesmí nacházet žádné překážky, které by mohly ovlivnit měření.
- Okolní vlivy musí být redukovány na co nejmenší možnou míru. Mezi tyto vlivy patří stromy, stěny, mosty, tunely a jiné vodivé předměty. Dále mezi tyto vlivy patří nespojitosti na napájecím vedení, přítomnost napájecí stanice, napájecí vedení, vedení uložené ve výkopu, transformátory, neutrální sekce, oddělovací sekce a jiná drážní vozidla, která jsou provozována ve stejné napájecí sekci, případně poblíž měřicího místa. Všechny tyto vlivy mohou v blízkosti měřicího bodu způsobovat nechtěné přídavné změny v měření. Jak bylo již zmíněno, je třeba redukovat je na co nejmenší možnou míru.

## 7.2.2 Frekvenční rozsah

Podle nové normy ČSN EN 50121 ed.3 se již nemusí měřit elektromagnetické rušení na kmitočtech od 9 kHz do 150 kHz. Tudíž se měření provádí od 150 kHz do 1 GHz. Nové nastavení šířky pásma je uvedeno v tabulce 4, oproti předchozímu se liší pouze v tom, že chybí řádek s rozsahem 9 kHz – 150 kHz. Co se týče mezí v kmitočtovém pásmu 150 kHz až 30 MHz a 30 MHz až 1 GHz, jsou shodné s předešlou normou ČSN EN 50121-3-1.

Tab. 4: Šířky pásma pro kmitočtové přeladování

Pásmo [MHz]	Šířka pásma [kHz]
0,15 - 30	9
30 - 1000	120

## 8 Měření konkrétního trakčního vozidla

Měření elektromagnetického rušení bylo provedeno na lokomotivě ŠKODA 109E3 (projekt NIM Express). Jednalo se o informativní měření. Zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 50121-3-2 ed.2.

### 8.1 Lokomotiva ŠKODA 109E3 – základní informace

Jedná se o čtyřnápravovou elektrickou jednosystémovou lokomotivu s napájením 15kV 16,7 Hz AC. Lokomotiva je skříňového typu, stanoviště strojvedoucího se nacházejí na obou koncích vozidla. Lokomotiva je vybavena jednou strojovnou a je rozdělena průchozí ulička, která spojuje obě stanoviště.

Trakční pohon lokomotivy je tvořen čtyřmi třífázovými asynchronními motory s cizí ventilací, každý o výkonu 1600 kW. Motor je typu 9ML 4550 k/6, který je šesti pólový s kotvou nakrátko, maximální otáčky jsou 3700 ot/min. Napájení pohonu je řešeno pomocí napěťového střídače se stejnosměrným meziobvodem, každým motor je napájen z vlastního měniče. Pro konstrukci měničů jsou použity IGBT tranzistory. Lokomotiva je vybavena pneumatickou brzdou, elektrodynamickou rekuperační brzdou a pružinovou zajišťovací brzdou. Odporová brzda zde není použita. Pomocné pohony jsou třífázové s asynchronními motory. Na obrázku 26 je znázorněna měřená lokomotiva 109E3.



Obr. 26: Lokomotiva ŠKODA 109E3 [16]

### Základní technické údaje lokomotivy:

Nejvyšší provozní rychlost	200 km/h
Jmenovité napájecí napětí	15 kV / 16,7 Hz
Rozchod	1 435 mm
Provozní horní limit konstrukční hmotnosti v provozním stavu	88,0 t
Obrys	UIC 505-1
Maximální šířka vozidla	3 080 mm
Výška lokomotivy se zaklesnutým sběračem	4 275 mm
Délka lokomotivy přes nárazníky	18 000 mm
Jmenovitý průměr nového/opotřeбенého kola	1 250 / 1 170 mm
Trvalý výkon trakčních motorů	6 400 kW
Trvalý výkon elektrodynamické brzdy při rekuperaci	4 700 kW
Maximální (rozjezdová) tažná síla	275 kN
Maximální brzdňá síla na obvodu kol	130 kN

#### 8.1.1 Skříň trakčních měničů

Na levé a pravé straně strojovny jsou dvě identické měničové skříně. Každá skříň tvoří mechanicky uzavřený celek, který obsahuje elektrická zařízení pro napájení trakčních motorů jednoho podvozku, jednoho bloku elektrodynamické odporové brzdy a pomocných pohonů lokomotivy. Součástí každé skříně jsou spínací přístroje, měřicí a ochranná zařízení. Regulátor pohonu včetně příslušných řídicích obvodů a napájecích zdrojů je také součástí každé skříně. Polovodičové moduly jsou chlazeny kapalinovými chladiči se společným chladicím okruhem, výměníkem voda-vzduch, čerpadlem chladicí kapaliny a ventilátorem chladicího vzduchu. Hlavní zařízení jedné měničové skříně:

- Trakční střídače
- 4-Q měniče (pulzní usměrňovače)
- Pulzní měniče EDB
- Primární střídač pomocných pohonů
- Kondenzátory vstupního filtru
- Kondenzátory primárního měniče pomocných pohonů
- Transformátor pomocných pohonů
- Tlumivka pomocných pohonů
- Usměrňovač pomocných pohonů
- Přepět'ová ochrana sítě pomocných pohonů
- Kondenzátor sítě pomocných pohonů
- Odpojovač pomocných pohonů
- Vybíjecí stykače a odporníky
- Měřicí převodníky proudu a napětí, voltmetry
- Regulátor pohonu, drivery, napájecí zdroje řídicích obvodů atd.
- Komponenty chladicího okruhu

## 8.2 Informace o měření

Měření bylo provedeno dne 15.01.2017 na velkém zkušebním okruhu v areálu ZC VÚŽ Velin. Během měření byly zaznamenávány digitalizované frekvenční průběhy následujících veličin.

1. Intenzita magnetického pole v jednotce  $\text{dB}\mu\text{A/m}$  a rozmezí frekvencí je od 9 kHz do 30 MHz
2. Intenzita elektrického pole v jednotce  $\text{dB}\mu\text{V/m}$  a rozmezí frekvencí je od 30 MHz do 1 GHz

### 8.2.1 Měřicí stanoviště

Měřicí stanoviště bylo umístěno na vnitřní straně oblouku na 11,7 kilometru (GPS souřadnice jsou 50.0775478N, 15.1049564E). Stanoviště je zobrazeno na obrázku 27. Ve vzdálenosti 600 m od měřicího stanoviště se nachází hlavní elektrizovaná železniční trať, která je hojně využívána. Samotný zkušební okruh není elektricky propojen s železniční sítí. Samotné měření bylo provedeno v mírném oblouku v místě mezi dvěma trakčními podpěrami. Měřicí stanoviště nesplňuje definici volného prostoru podle normy ČSN EN 50121-3-1 ed.2, jelikož:

- a) Na pojížděném úseku se vyskytují nespojitosti na trolejovém vedení, a to ve vzdálenosti menší než 3 km.
- b) Ve vzdálenosti menší než 30 m od zkušebního místa se vyskytují stromy.

Z tohoto důvodu bylo zapotřebí změřit šum pozadí před a po každém cyklu měření emisí měřeného vozidla, jak udává norma. Šum pozadí byl změřen při vypnutém vozidle, které bylo umístěno před měřicí antény v požadované vzdálenosti, a to včetně vypnutých baterií. Trakční vedení bylo pod napětím. Šum pozadí byl změřen jak smyčkovou anténou, tak i anténou logaritmicko-periodickou s horizontální i vertikální polarizací.

Podle nové normy ČSN EN 50121-3-1 ed.3 zkušební místo nemusí splňovat definici volného prostoru. Je ovšem nutné, aby veškeré rušivé vlivy byly redukovány na minimum. V žádném případě se nesmí vyskytovat vodivé překážky mezi anténami a měřeným vozidlem. Vedení by mělo být rovné alespoň 200 m, což je splněno.



Obr. 27: Měřicí místo a umístění měřicí aparatury [21]

### 8.2.2 Povětrnostní podmínky

Po dobu měření bylo oblačno, teplota vzduchu byla v rozmezí  $-5$  až  $0^{\circ}\text{C}$ . Vlhkost vzduchu nezpůsobovala kondenzaci vody nebo námrazu na vedení.

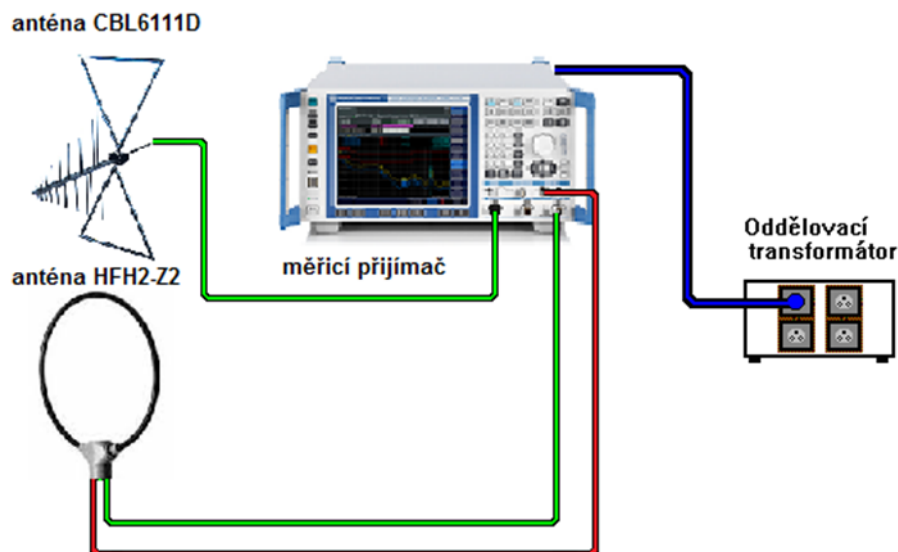
### 8.3 Měřicí zařízení

Seznam měřicího zařízení je uveden v tabulce 5 a schéma zapojení přístrojů je zobrazeno v obrázku 28.

Tab. 5: Seznam měřicího zařízení

Označení	Typ	Výrobce	Evid. číslo
Měřicí přijímač	ESR 3	ROHDE & SCHWARZ	VL 11-85/1
Smyčková anténa	HFH2-Z2	ROHDE & SCHWARZ	VL 11-85/2
Širokopásmová kombinovaná anténa	CBL6111D	TESEQ	VL 11-85/3





Obr. 28: Schéma zapojení měřících přístrojů [16]

Nastavení měřícího přijímače pro jednotlivá pásma měření je uvedeno v tabulce 6. Pro měření podle normy v edici 3 by v této tabulce chyběl první řádek, jelikož měření by se provádělo až od 150 kHz. Ukázka nastavovacího panelu přístroje je na obrázku 29, toto nastavení je pro jízdní měření.

Tab. 6: Nastavené měřícího přijímače

Pásmo [MHz]	Šířka pásma [kHz]	Krok přeladění [kHz]	Doba přeladění Max peak/Quasi peak
0,009 – 0,15	0,2	0,05	50 ms / 1s
0,15 - 30	9	2,25	10 ms / 1s
30 – 1000	120	30	1 ms / 1 s



Obr. 29: Nastavení měřicího přijímače (jízdni měření)

#### Umístění snímací smyčkové antény (9kHz – 30MHz):

Vzdálenost antény od osy koleje	10 m
Výška středu antény nad úrovní koleje	1,8 m
Rovina antény	rovnoběžná s tratí

#### Umístění snímací logaritmicko-periodické antény (30 MHz – 1 GHz):

Vzdálenost antény od osy koleje	10 m
Výška středu antény nad úrovní koleje	2,5 m
Rovina antény	rovnoběžná s tratí
Natočení antény	horizontální nebo vertikální

## 8.4 Konfigurace měření

Měření elektromagnetického rušení bylo provedeno v následujících režimech: stacionárním a jízdním (rozjezd a elektrodynamické brzdění). Konfigurace jednotlivých měření jsou popsány níže.

### Stacionární měření.

Trolejové napětí	15 kV AC, 16,7 Hz
Bateriová síť lokomotivy	zapnutá
Hlavní vypínač	zapnutý
Linkové stykače	zapnuté
Primární měniče pomocných pohonů	v činnosti
Pomocné měniče	v činnosti, zapnuté topení kabiny strojvedoucího
Nabíječ baterie	v činnosti
4Q měniče	zablokované (zámek trakce)
Trakční střídače	nečinné
Pozice vozidla	stacionární, před měřícími anténami
Délka měření	jednorázové (Single Run)
Detektor	kvazivrcholový (Quasi Peak)
Záznam	prostý zápis (Clear Write)

### Jízdní měření, rozjezd/elektrodynamické brzdění

Trolejové napětí	15 kV AC, 16,7 Hz
Bateriová síť lokomotivy	zapnutá
Hlavní vypínač	zapnutý
Linkové stykače	zapnuté
Primární měniče pomocných pohonů	v činnosti
Pomocné měniče	v činnosti
Nabíječ baterie	v činnosti
4Q měniče	v činnosti
Trakční střídače	v činnosti
režim	rozjezd, rekuperační brzd
rychlost v okamžiku průjezd	50 ± 5 km/h
Tažná síla	1/3 maximální tažné/brzdné síly
Pozice vozidla	průjezd okolo měřících antén
Délka měření	kontinuální (Continuous Run), po dobu průjezdu vozidla okolo měřících antén
Detektor	vrcholový (Max Peak)
Záznam	maximální hodnoty z celého měření (Max Hold)

### 8.5 Vyhodnocení měření

V následujících tabulkách 7 až 15 jsou zaznamenány hodnoty z měření, kdy byla překročena limitní křivka. Tabulky 7, 8 a 9 jsou pro stacionární zkoušku, tabulky 10, 11 a 12 jsou pro jízdní zkoušku a tabulky 13, 14 a 15 jsou pro zkoušku při využití elektrodynamické brzdy.

Ve sloupcích označené jako  $f_{x1}$  a  $f_{x2}$  jsou zaznamenány frekvenční pásma, u nichž byla hodnota elektromagnetického šumu pozadí před nebo po provedení měření vyšší než stanovená mez snížena o 6 dB; jedná se o tzv. vyloučená pásma. Ve sloupcích označených jako  $f_{v1}$  a  $f_{v2}$  jsou zaznamenány frekvenční pásma, u nichž došlo k překročení limitu vozidla. Pokud dochází k překročení limitů pro emise vozidla ve vyloučených frekvenčních pásmech, neberou se tato překročení v úvahu. Pásma, ve kterých vozidlo překračuje daný limit, jsou označena červeně. Tabulky jsou generovány na základě dat z měření pomocí programu EMCresult, který byl interně vytvořen ve Škoda Transportation.

Tab. 7 Pásmo překročení limitu v pásmu 9 kHz až 30 MHz (stacionární zkouška)

Pásmo překročení limitu			
Pozadí		Vozidlo	
$f_{x1}$ [kHz]	$f_{x2}$ [kHz]	$f_{v1}$ [kHz]	$f_{v2}$ [kHz]
631,50	647,25	631,50	645,00
5964,00	5975,25	-	-
6033,75	6047,25	-	-
6103,50	6105,75	-	-
6162,00	6166,50	-	-
6175,50	6184,50	-	-
7296,00	7305,00	-	-
7323,00	7338,75	-	-
7347,75	7352,25	-	-
7433,25	7437,75	-	-
9431,25	9438,00	-	-
9521,25	9530,25	-	-

Tab. 8: Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (stacionární zkouška, horizontální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
88,41	88,59	743,52	745,23	88,44	88,56	954,00	955,29
88,80	88,83	746,85	749,31	89,67	89,73	955,71	955,89
89,64	89,97	768,24	769,89	89,88	89,91	956,19	956,61
90,39	90,60	769,98	769,98	90,45	90,57	957,00	957,63
90,87	90,93	771,96	773,76	93,87	93,96	957,75	957,75
92,04	92,16	782,16	789,87	95,85	95,94	957,81	959,94
93,81	93,99	791,46	800,55	97,32	97,47	-	-
95,82	96,00	801,45	810,54	97,80	97,98	-	-
97,29	97,50	811,47	820,50	100,02	100,17	-	-
97,80	98,01	832,38	833,04	101,31	101,49	-	-
98,37	98,43	833,73	840,27	102,63	102,78	-	-
99,99	100,20	841,11	841,59	103,80	103,98	-	-
101,28	101,52	911,16	911,64	105,93	106,05	-	-
101,85	101,97	921,03	921,36	558,45	558,54	-	-
102,60	102,78	922,92	923,07	606,18	613,83	-	-
103,80	103,98	923,64	923,97	622,17	629,82	-	-
105,27	105,33	925,02	927,15	646,20	653,79	-	-
105,90	106,08	927,69	927,93	782,16	789,84	-	-
420,54	420,54	928,32	928,47	791,49	800,52	-	-
421,29	422,52	929,04	929,22	801,48	810,51	-	-
462,96	463,68	929,88	930,12	811,50	818,61	-	-
463,77	463,89	930,24	932,10	818,73	818,76	-	-
464,01	465,39	933,87	934,11	818,88	819,15	-	-
558,18	561,03	935,31	935,52	819,27	819,36	-	-
561,18	561,27	935,73	935,88	819,90	819,90	-	-
561,42	562,14	937,14	937,20	911,19	911,61	-	-
562,38	562,38	937,86	938,37	921,06	921,33	-	-
563,01	563,28	938,49	940,59	923,67	923,94	-	-
563,37	564,03	940,71	940,92	925,02	927,12	-	-
564,12	564,30	941,64	941,67	930,27	931,95	-	-

Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (stacionární zkouška, horizontální polarizace antény) - pokračování tabulky 8

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
564,45	565,08	941,94	943,17	935,28	935,28	-	-
565,23	565,77	943,47	944,07	935,28	935,52	-	-
579,39	579,51	944,28	945,90	935,73	935,88	-	-
579,75	579,78	946,08	946,50	937,86	938,34	-	-
580,74	581,76	947,04	949,80	938,52	938,91	-	-
606,15	613,86	949,86	950,58	939,06	940,50	-	-
616,41	616,44	950,97	953,31	942,03	943,17	-	-
616,68	616,89	953,52	953,70	943,56	943,68	-	-
617,01	617,16	953,88	955,59	944,88	945,69	-	-
617,37	617,37	955,65	955,92	947,10	948,75	-	-
617,64	618,09	956,19	956,67	948,84	949,71	-	-
618,81	619,35	956,91	959,97	949,89	950,13	-	-
622,14	629,85	-	-	950,28	950,52	-	-
646,17	653,82	-	-	951,06	951,99	-	-
723,06	723,33	-	-	952,38	952,53	-	-
723,54	725,70	-	-	952,62	952,98	-	-

Tab. 9 Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (stacionární zkouška, vertikální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
89,64	89,76	929,88	932,10	90,48	90,54	949,89	950,10
90,42	90,57	933,51	933,69	106,50	106,71	950,22	950,58
92,82	92,97	933,90	934,11	421,35	421,44	951,06	952,41
93,84	93,96	934,92	936,30	462,93	464,34	952,62	953,67
97,32	97,47	936,87	937,68	464,43	464,49	953,88	955,47
97,89	97,92	937,80	940,56	464,67	465,39	955,68	955,92
100,02	100,17	940,68	940,95	559,14	559,35	956,28	956,67
101,40	101,43	941,07	941,55	559,50	559,77	956,91	957,54
102,69	102,72	941,64	941,67	561,33	561,36	957,69	959,91
104,70	104,70	941,85	943,20	606,18	607,98	-	-
105,63	105,78	943,44	946,20	609,00	609,03	-	-
105,93	106,08	946,29	946,50	609,54	613,80	-	-
106,47	106,71	946,68	949,77	622,23	622,89	-	-
107,28	107,34	949,86	950,70	623,01	623,58	-	-
107,43	107,55	950,91	955,56	623,85	629,79	-	-
118,95	119,04	955,65	955,95	786,93	788,40	-	-
127,11	127,14	956,19	956,73	791,46	800,52	-	-
163,95	164,01	956,88	959,94	801,45	810,51	-	-
391,65	391,71	-	-	811,47	813,57	-	-
392,67	392,67	-	-	813,90	813,96	-	-
393,51	393,51	-	-	814,05	814,05	-	-
420,24	422,55	-	-	814,32	815,16	-	-
462,87	465,42	-	-	816,06	816,66	-	-
558,18	565,80	-	-	816,96	817,53	-	-
606,18	609,33	-	-	817,62	817,71	-	-
609,42	613,83	-	-	818,94	819,12	-	-
614,22	621,78	-	-	819,51	819,54	-	-
622,17	629,82	-	-	819,75	819,84	-	-
646,68	647,16	-	-	921,06	921,33	-	-
648,15	650,58	-	-	922,92	923,07	-	-



Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (stacionární zkouška, vertikální polarizace antény) - pokračování tabulky 9

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
651,51	653,52	-	-	923,64	923,97	-	-
725,28	725,34	-	-	925,02	927,15	-	-
782,22	785,07	-	-	928,92	929,07	-	-
785,40	785,67	-	-	930,27	931,98	-	-
786,33	789,81	-	-	935,28	935,49	-	-
791,43	800,55	-	-	935,73	935,85	-	-
801,36	810,57	-	-	937,08	937,29	-	-
811,44	820,50	-	-	937,86	938,34	-	-
921,03	921,39	-	-	938,67	940,53	-	-
922,89	923,10	-	-	940,74	940,86	-	-
923,61	923,97	-	-	941,97	943,17	-	-
924,72	924,84	-	-	943,47	943,74	-	-
924,99	927,33	-	-	944,46	944,55	-	-
927,69	928,08	-	-	944,61	945,93	-	-
928,50	928,68	-	-	947,10	948,75	-	-
928,89	929,55	-	-	948,81	949,74	-	-

Tab. 10 Pásmo překročení limitu v pásmu 9 kHz až 30 MHz (jízdní zkouška)

Pásmo překročení limitu			
Pozadí		vozidlo	
$f_{x1}$ [kHz]	$f_{x2}$ [kHz]	$f_{v1}$ [kHz]	$f_{v2}$ [kHz]
631,50	645,00	633,75	645,00
11773,50	11778,00	-	-

Tab. 11 Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (jízdní zkouška, horizontální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu									
Pozadí				Vozidlo					
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
606,18	613,83	957,06	957,60	606,66	606,72	787,71	787,74	939,00	939,27
622,17	629,82	957,69	959,94	607,32	607,32	787,92	787,95	940,29	940,50
646,23	653,79	-	-	607,86	607,89	788,07	788,10	945,30	945,72
782,19	789,87	-	-	607,98	607,98	788,97	789,00	948,54	948,54
791,49	800,52	-	-	608,31	608,37	795,21	795,21	948,90	949,32
801,45	810,51	-	-	608,46	608,49	797,10	797,10	949,56	949,68
811,53	814,29	-	-	608,55	608,61	797,46	797,49	950,34	950,49
814,35	814,77	-	-	609,06	609,12	797,58	797,61	951,27	951,51
814,86	814,89	-	-	609,18	609,21	800,04	800,04	951,66	951,93
814,95	816,54	-	-	609,30	609,39	801,60	802,08	952,68	952,92
816,60	817,05	-	-	609,45	609,63	802,17	802,26	954,06	954,36
817,14	817,50	-	-	609,93	609,96	802,32	802,53	954,51	954,69
817,56	817,77	-	-	610,17	610,26	802,68	802,71	955,74	955,86
817,92	817,98	-	-	610,59	610,65	803,10	803,25	956,25	956,55
818,22	818,40	-	-	610,92	610,95	803,43	803,46	957,24	957,57
818,58	818,79	-	-	611,13	611,13	803,58	803,61	958,29	958,50
818,91	818,97	-	-	612,12	612,18	804,60	804,66	958,89	959,31
819,45	819,48	-	-	612,24	612,27	805,20	805,20	959,49	959,70
820,26	820,32	-	-	612,45	612,60	805,26	805,26	-	-
832,47	832,71	-	-	612,66	613,14	805,50	805,53	-	-
834,54	837,96	-	-	613,20	613,23	805,59	805,59	-	-
839,07	840,45	-	-	613,35	613,41	805,71	805,74	-	-
841,20	841,62	-	-	613,47	613,77	806,19	806,19	-	-
911,22	911,58	-	-	622,26	622,71	806,43	806,46	-	-
921,06	921,33	-	-	622,77	623,13	806,73	806,73	-	-
923,67	923,94	-	-	623,28	623,85	806,79	806,82	-	-
925,02	927,12	-	-	623,91	624,54	806,91	806,94	-	-
930,27	931,98	-	-	624,60	626,37	807,00	807,36	-	-
937,89	938,34	-	-	626,43	626,46	807,42	807,57	-	-
938,52	938,94	-	-	626,55	626,67	807,78	807,90	-	-

Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (jízdní zkouška, horizontální polarizace antény) - pokračování tabulky 11

Pásmo překročení limitu									
Pozadí				Vozidlo					
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
939,03	940,53	-	-	626,73	626,91	807,96	808,26	-	-
942,03	943,17	-	-	627,00	627,18	808,59	808,62	-	-
943,50	943,71	-	-	627,66	627,69	809,16	809,31	-	-
944,88	945,72	-	-	627,75	627,78	809,97	809,97	-	-
946,32	946,32	-	-	627,90	627,96	810,18	810,18	-	-
947,07	949,74	-	-	628,05	628,05	911,22	911,58	-	-
949,89	950,13	-	-	628,11	628,20	921,12	921,30	-	-
950,25	950,55	-	-	628,29	629,76	923,70	923,88	-	-
951,03	951,99	-	-	784,29	784,29	926,46	926,73	-	-
952,20	952,38	-	-	784,44	784,44	931,08	931,32	-	-
952,44	952,53	-	-	785,82	785,88	931,47	931,92	-	-
952,62	952,98	-	-	786,00	786,00	935,34	935,49	-	-
953,97	955,29	-	-	786,99	786,99	937,92	937,92	-	-
955,35	955,41	-	-	787,17	787,35	938,04	938,28	-	-
955,71	955,89	-	-	787,44	787,50	938,94	938,97	-	-
956,19	956,61	-	-	787,56	787,56	938,97	939,00	-	-

Tab. 12 Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (jízdní zkouška, vertikální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
421,41	421,44	838,83	840,81	792,15	792,30	951,63	951,63
463,11	463,11	841,26	841,53	792,48	792,60	951,63	951,96
463,17	463,26	906,66	906,96	792,66	792,84	952,68	953,31
463,41	463,50	911,19	911,61	793,05	793,11	954,06	954,33
463,80	463,86	921,06	921,33	793,17	794,07	954,45	954,75
463,95	464,25	923,67	923,94	794,13	794,22	955,29	955,32
464,43	464,49	925,02	927,18	794,28	794,49	955,38	955,44
464,58	465,33	930,24	932,01	794,55	797,31	955,68	955,68
558,24	558,27	935,25	935,55	797,37	798,36	955,68	955,89
558,39	558,39	935,70	935,91	798,42	798,66	956,25	956,55
558,45	558,45	937,86	938,34	798,75	798,75	957,24	957,54
561,72	561,72	938,49	940,56	800,04	800,04	958,08	958,32
606,21	609,12	942,00	943,17	800,16	800,22	959,10	959,31
609,18	609,21	943,47	943,74	800,37	800,40	-	-
610,92	612,99	944,13	944,13	801,51	807,96	-	-
613,05	613,08	944,19	945,90	808,08	809,67	-	-
613,14	613,62	947,04	949,77	809,76	810,45	-	-
615,03	615,12	949,89	950,13	811,56	811,59	-	-
615,24	615,39	950,25	950,58	811,71	811,74	-	-
622,92	623,01	951,03	951,60	811,89	811,98	-	-
623,07	623,10	951,66	952,47	911,22	911,58	-	-
623,43	623,91	952,59	953,37	921,06	921,33	-	-
624,09	624,12	953,49	953,67	923,67	923,94	-	-
624,21	624,24	953,88	955,53	925,26	925,56	-	-
624,30	624,51	955,71	955,92	926,07	926,34	-	-
624,57	624,57	956,25	956,67	926,64	926,94	-	-
624,63	624,63	956,91	957,57	930,33	930,69	-	-
624,69	629,79	957,66	959,91	931,11	931,26	-	-
782,73	782,76	-	-	931,68	931,92	-	-
782,88	782,91	-	-	935,31	935,49	-	-

Pásma překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (jízdní zkouška, vertikální polarizace antény) - pokračování tabulky 12

Pásma překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
783,03	783,03	-	-	935,70	935,88	-	-
783,12	783,12	-	-	937,89	938,25	-	-
783,27	783,27	-	-	938,67	938,94	-	-
783,60	783,63	-	-	942,33	942,51	-	-
783,69	784,35	-	-	943,53	943,53	-	-
784,41	784,41	-	-	943,59	943,59	-	-
784,56	784,56	-	-	943,68	943,68	-	-
784,80	784,95	-	-	947,25	947,88	-	-
788,34	788,34	-	-	948,48	948,72	-	-
791,46	800,52	-	-	948,87	949,14	-	-
801,45	810,54	-	-	949,32	949,68	-	-
811,47	819,90	-	-	949,92	949,95	-	-
819,99	819,99	-	-	950,01	950,01	-	-
832,44	832,77	-	-	950,07	950,07	-	-
833,01	833,25	-	-	950,25	950,52	-	-
836,13	838,74	-	-	951,24	951,54	-	-

Tab. 13 Pásma překročení limitu v pásmu 9 kHz až 30 MHz (zkouška při rekuperační brzdě)

Pásma překročení limitu			
Pozadí		Vozidlo	
$f_{x1}$ [kHz]	$f_{x2}$ [kHz]	$f_{v1}$ [kHz]	$f_{v2}$ [kHz]
631.50	645.00	633.75	645.00

Tab. 14 Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (zkouška při rekuperační brzdě, horizontální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu					
Pozadí		Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
606,18	613,83	611,91	611,91	809,58	809,61
622,17	629,82	612,09	612,09	911,22	911,58
646,23	653,79	612,57	612,60	921,12	921,30
782,19	789,87	612,69	612,69	923,70	923,88
791,49	800,52	612,84	612,93	925,26	925,53
801,45	810,51	613,65	613,71	926,13	926,28
811,53	814,29	623,82	623,82	926,97	927,06
814,35	814,77	623,91	623,91	930,33	930,87
814,86	814,89	624,06	624,06	935,37	935,40
814,95	816,54	624,51	625,02	937,92	937,92
816,60	817,05	625,08	625,14	938,07	938,28
817,14	817,50	625,26	625,26	938,91	938,97
817,56	817,77	625,56	625,56	938,97	939,00
817,92	817,98	625,62	625,77	939,00	939,09
818,22	818,40	625,86	626,07	939,36	939,45
818,58	818,79	626,13	626,61	939,87	939,87
818,91	818,97	626,67	626,73	942,30	942,51
819,45	819,48	626,79	626,97	942,90	943,11
820,26	820,32	627,09	627,09	945,15	945,27
832,47	832,71	627,15	627,21	947,49	947,73
834,54	837,96	627,27	627,69	947,91	948,33
839,07	840,45	627,75	629,52	948,87	949,20
841,20	841,62	629,70	629,70	949,26	949,26
911,22	911,58	782,73	782,76	949,50	949,71
921,06	921,33	784,83	784,83	950,31	950,49
923,67	923,94	786,18	786,18	951,27	951,51
925,02	927,12	795,54	795,63	951,66	951,93
930,27	931,98	797,49	797,55	952,71	952,95
937,89	938,34	797,61	797,61	954,09	954,33
938,52	938,94	797,70	797,79	955,71	955,89

Pásma překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (zkouška při rekuperační brzdě, horizontální polarizace antény - pokračování tabulky 14

Pásma překročení limitu					
Pozadí		Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
939,03	940,53	797,88	797,91	956,25	956,55
942,03	943,17	798,03	798,06	957,24	957,54
943,50	943,71	798,12	798,12	958,89	959,31
944,88	945,72	798,30	798,33	-	-
946,32	946,32	798,42	798,42	-	-
947,07	949,74	798,54	798,69	-	-
949,89	950,13	798,87	798,93	-	-
950,25	950,55	799,08	799,11	-	-
951,03	951,99	799,26	799,35	-	-
952,20	952,38	799,47	799,68	-	-
952,44	952,53	799,74	799,77	-	-
952,62	952,98	799,92	800,07	-	-
953,97	955,29	803,61	803,64	-	-
955,35	955,41	805,77	805,80	-	-
955,71	955,89	806,43	806,46	-	-
956,19	956,61	808,20	808,20	-	-
957,06	957,60	808,44	808,44	-	-
957,69	959,94	808,53	808,56	-	-

Tab. 15 Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (zkouška při rekuperační brzdě, vertikální polarizace antény)

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
421,41	421,44	791,46	800,52	791,82	791,88	938,73	939,51
463,11	463,11	801,45	810,54	792,33	792,39	939,90	940,11
463,17	463,26	811,47	819,90	792,54	797,22	942,06	942,33
463,41	463,50	819,99	819,99	797,28	797,34	942,51	942,69
463,80	463,86	832,44	832,77	797,40	798,00	942,99	943,02
463,95	464,25	833,01	833,25	798,69	799,59	943,56	943,56
464,43	464,49	836,13	838,74	800,19	800,28	943,62	943,62
464,58	465,33	838,83	840,81	801,51	803,07	944,31	944,49
558,24	558,27	841,26	841,53	803,19	803,43	945,06	945,60
558,39	558,39	906,66	906,96	803,73	803,82	947,40	947,70
558,45	558,45	911,19	911,61	803,97	804,00	947,91	948,33
561,72	561,72	921,06	921,33	804,06	804,12	948,51	948,69
606,21	609,12	923,67	923,94	804,24	804,36	948,87	949,29
609,18	609,21	925,02	927,18	804,48	804,48	950,28	950,52
610,92	612,99	930,24	932,01	804,54	805,95	951,27	951,54
613,05	613,08	935,25	935,55	806,04	806,55	951,63	951,63
613,14	613,62	935,70	935,91	807,09	807,39	951,63	951,96
615,03	615,12	937,86	938,34	807,45	807,57	952,65	953,31
615,24	615,39	938,49	940,56	807,69	807,78	954,06	954,33
622,92	623,01	942,00	943,17	807,84	808,74	954,69	954,87
623,07	623,10	943,47	943,74	808,80	808,80	955,08	955,29
623,43	623,91	944,13	944,13	808,89	808,92	955,38	955,47
624,09	624,12	944,19	945,90	808,98	809,04	955,68	955,92
624,21	624,24	947,04	949,77	809,43	809,49	956,25	956,55
624,30	624,51	949,89	950,13	810,12	810,15	957,06	957,15
624,57	624,57	950,25	950,58	810,27	810,33	957,27	957,51
624,63	624,63	951,03	951,60	921,06	921,33	959,37	959,40
624,69	629,79	951,66	952,47	923,67	923,94	-	-
782,73	782,76	952,59	953,37	925,08	925,32	-	-
782,88	782,91	953,49	953,67	925,74	925,89	-	-



Pásmo překročení limitu v pásmu 30 MHz až 1 GHz (zkouška při rekuperační brzdě, vertikální polarizace antény) - pokračování tabulky 15

Pásmo překročení limitu							
Pozadí				Vozidlo			
$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{x1}$ [MHz]	$f_{x2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]	$f_{v1}$ [MHz]	$f_{v2}$ [MHz]
783,03	783,03	953,88	955,53	926,19	926,22	-	-
783,12	783,12	955,71	955,92	926,49	926,73	-	-
783,27	783,27	956,25	956,67	930,27	930,96	-	-
783,60	783,63	956,91	957,57	931,20	931,20	-	-
783,69	784,35	957,66	959,91	931,71	931,89	-	-
784,41	784,41	-	-	935,28	935,52	-	-
784,56	784,56	-	-	935,70	935,88	-	-
784,80	784,95	-	-	937,89	938,28	-	-
788,34	788,34	-	-	938,67	938,67	-	-

Měřeními byly zjištěny úrovně elektromagnetického rušení vyzařovaného při provozu zkoušeného vozidla lokomotivy ŠKODA 109E v kmitočtovém rozsahu 9 kHz až 1 GHz. Z hodnocení byla vyloučena kmitočtová pásma, ve kterých byla zjištěna úroveň šumu pozadí vyšší, než požaduje norma ČSN EN 50121-3-1, ed. 2.

Měřeními byla zjištěna nadlimitní úroveň elektromagnetického pole ve frekvenčních pásmech 935,34 MHz až 935,49 MHz, 938,97 MHz až 939,00 MHz a na frekvencích 935,28; 951,63 a 955,68 MHz.

Frekvence, na kterých došlo k překročení limitu, spadají do downlink pásma technologie GSM-R, která je využívána i v drážních aplikacích. Vzhledem k blízkosti hlavního železničního koridoru Praha – Kolín nelze dostatečně během samotného měření identifikovat rušivý vliv komunikace vozidel na této trati. Lze předpokládat, že uvedená překročení limitu mají příčinu v nahodilé komunikaci technologií GSM na přilehlé hlavní trati.

## **Závěr**

Cílem práce bylo změřit elektromagnetické rušení šířené zářením na konkrétním drážním vozidlo elektrické trakce a určit u něj zdroje rušení.

Měření bylo provedeno na lokomotivě ŠKODA 109E, která je jednosystémová a pracuje na systému 15 kV 16,7 Hz. Tato lokomotiva je určena pro německé drány. Lokomotiva byla měřena podle drážní normy ČSN EN 50121-3-1 ed.2, která udává maximální limity pro rušivé vyzařování elektromagnetického pole v pásmu od 9 kHz do 1 GHz. Pro měření byl vypracován postup vhodný pro měření elektromagnetického záření na základně normy 50121. V měření byla použita smyčková anténa HFH2-Z2, kombinovaná širokopásmová anténa typu bilog CBL6111D a měřicí přijímač ESR 3.

Z hodnocení byla vyloučena kmitočtová pásma, ve kterých byla zjištěna úroveň šumu pozadí vyšší, než požaduje norma. Měřením teda byla zjištěna nadlimitní úroveň elektromagnetického pole v těchto frekvenčních pásmech 935,34 MHz až 935,49 MHz, 938,97 MHz až 939,00 MHz a na frekvencích 935,28; 951,63 a 955,68 MHz. Frekvence, na kterých došlo k překročení limitu, spadají do downlink pásma technologie GSM-R, která je využívána i v drážních aplikacích. Vzhledem k blízkosti hlavního železničního koridoru Praha – Kolín nelze dostatečně během samotného měření identifikovat rušivý vliv komunikace vozidel na této trati. Lze předpokládat, že uvedená překročení limitu mají příčinu v nahodilé komunikaci technologií GSM na přilehlé hlavní trati.

Při tomto měření nebyly zjištěny žádné zdroje rušení, které by bylo potřeba identifikovat případně omezit. Proto je v práci popsán postup, jak se postupuje při identifikaci zdrojů rušení na drážním vozidle během měření. Dále je uvedeno, jaké prostředky lze využít při zamezení šíření elektromagnetického rušení do okolí.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VACULÍKOVÁ, Polina. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení*. 1. vyd. Praha: Grada, 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8.
- [2] KŮS, Václav, SKÁLA, Jiří a HAMMERBAUER, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2013. 372 s. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [3] VONDRÁK, Miroslav. *Vybrané stati z elektromagnetické kompatibility*. 1. vyd. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. 131 s. ISBN 80-01-03573-5.
- [4] URBÁNEK, Jan a KLABAČKA, Edvard. *Technologie elektronických zařízení*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 159 s. ISBN 80-01-01551-3.
- [5] SVOBODA, Jaroslav. *Základy elektromagnetické kompatibility*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993. 99 s. ISBN 80-01-00982-3.
- [6] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility: přednášky*. 2. vyd. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2005. 155 s. ISBN 80-01-00982-3.
- [7] DOLNÍK, Byatrik. *Elektromagnetická kompatibilita : základy, teória, principy*. 1. Vyd. Košice : Elfa, 2013. 206 s. ISBN 978-80-8086-221-3
- [8] ČSN EN 50121-1 ed.2, *Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 1:Všeobecně*, 2007.
- [9] ČSN EN 50121-2 ed.2, *Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 2:Emise celého drážního systému do vnějšího prostředí*, 2007
- [10] ČSN EN 50121-3-1 ed.2, *Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 3-1:Drážní vozidla – Vlak a celkové vozidlo*, 2007

- [11] ČSN EN 50121-1 ed.3, Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 1:Všeobecně, 2016.
- [12] ČSN EN 50121-2 ed.3, Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 2:Emise celého drážního systému do vnějšího prostředí, 2016
- [13] ČSN EN 50121-3-1 ed.3, Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 3-1:Drážní vozidla – Vlak a celkové vozidlo, 2016
- [14] Nařízení vlády č. 291/2015 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením
- [15] ČSN EN 55016-1-1 ed.3, Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti – Část 1-1: přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti – Měřicí přístroje, 2013
- [16] Měření elektromagnetického rušení šířeného zářením lokomotivy ŠKODA 109E3, číslo protokolu: DT-ZD43-2771/17
- [17] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility [online]. [4.3.2017]  
Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/>
- [18] Data sheet smyčková anténa HFH 2-Z2[online]. [15.4.2017]  
Dostupné z:  
[http://www.pentod.com/userfiles/product\\_files\\_shared/anteni%20rs.pdf](http://www.pentod.com/userfiles/product_files_shared/anteni%20rs.pdf)
- [19] Alltnes [online]. [15.4.2017]  
Dostupné z: [www.alltest.net/Rohde-Schwarz-HFH2-Z2-Polarad](http://www.alltest.net/Rohde-Schwarz-HFH2-Z2-Polarad)
- [20] Data sheet kombinován širokopásmová anténa CBL6111D [online]. [15.4.2017]  
Dostupné z: [www.teseq.com/products/CBL-6111.php](http://www.teseq.com/products/CBL-6111.php)
- [21] mapy.cz [online]. [13.4.2017]  
Dostupné z:  
<https://mapy.cz/zakladni?x=15.1065335&y=50.0775857&z=16&source=coor&id=15.1049564%2C50.0775478>

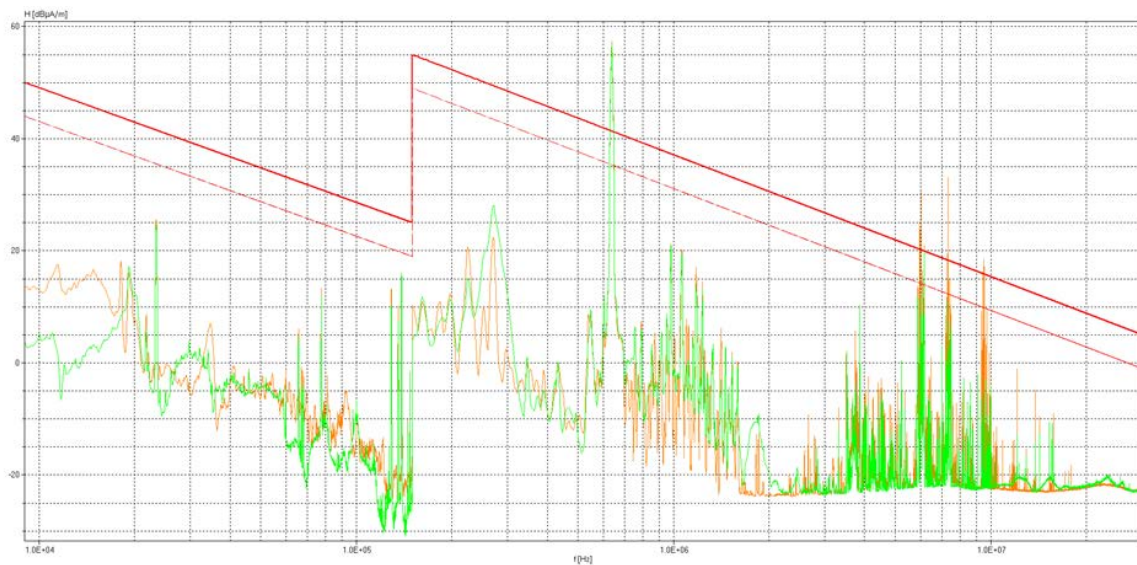
[22] *skoda.cz* [online]. [26.4.2017]

Dostupné z:

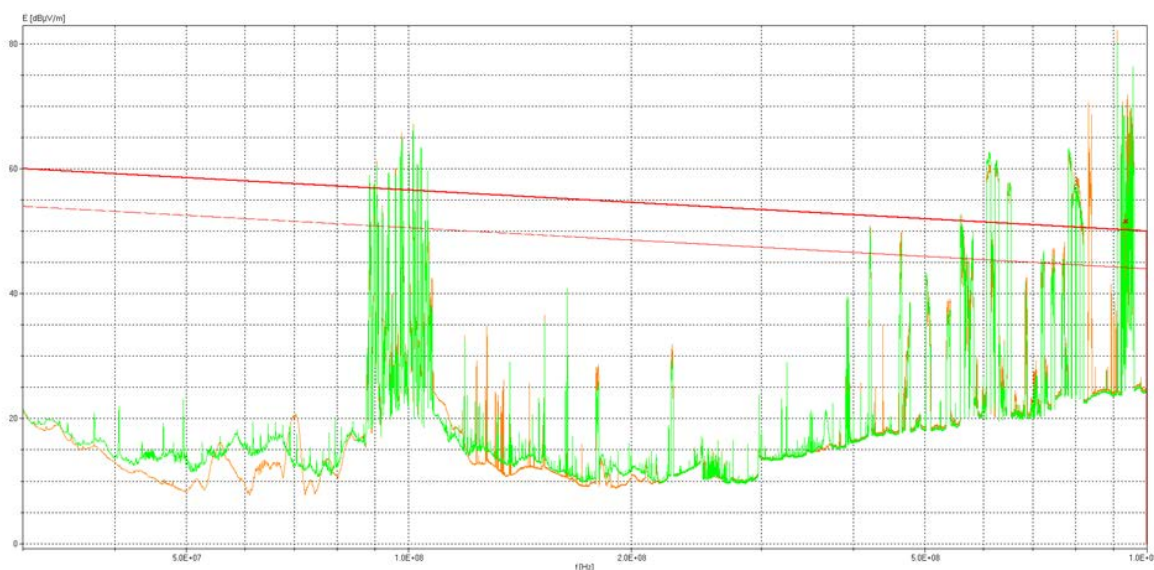
<http://www.skoda.cz/reference/lokomotiva-emil-zatopek-nemecko/?from=prod>

## Přílohy

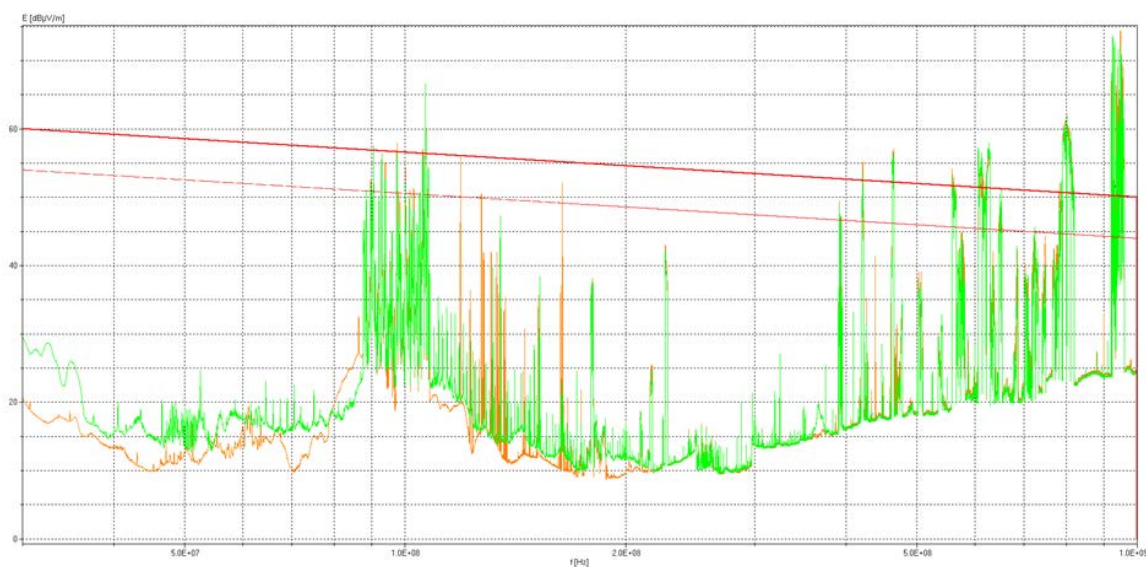
Příloha obsahuje výsledné grafy zobrazující křivky frekvenční závislosti elektromagnetické emise. Zelená křivka zobrazuje naměřené hodnoty emisí, oranžová křivka zobrazuje maximální hodnoty z naměřených hodnot pozadí před a po vlastním měření, červená křivka znázorňuje mez, která je dána normou, a červená přerušovaná křivka ukazuje mez sniženou o 6 dB.



Graf 1: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 9 kHz až 30 MHz  
(stacionární zkouška)



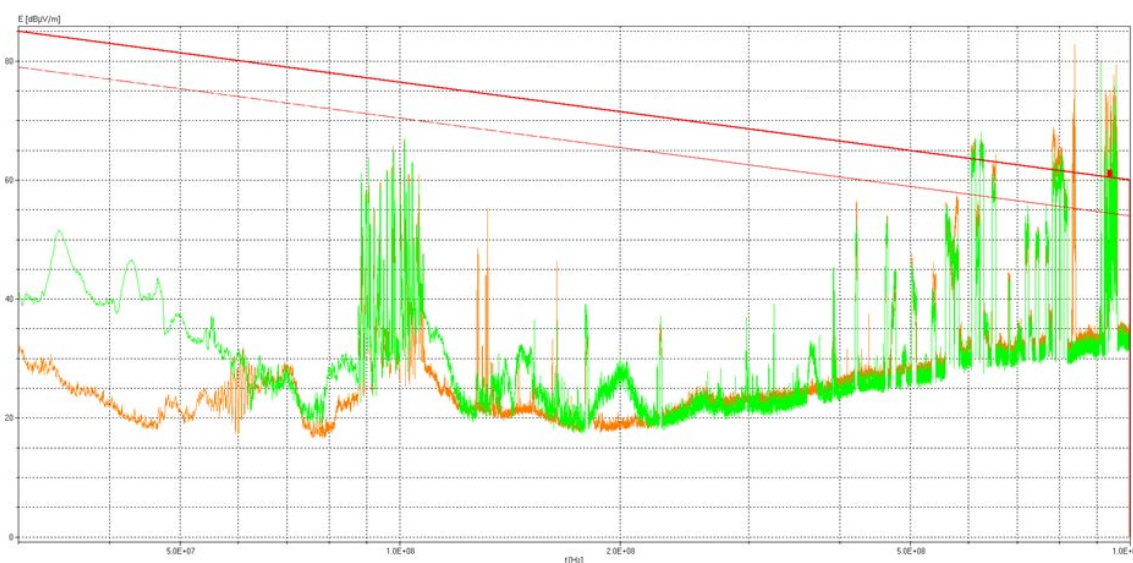
Graf 2: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(stacionární zkouška, horizontální polarizace antény)



Graf 3: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(stacionární zkouška, vertikální polarizace antény)

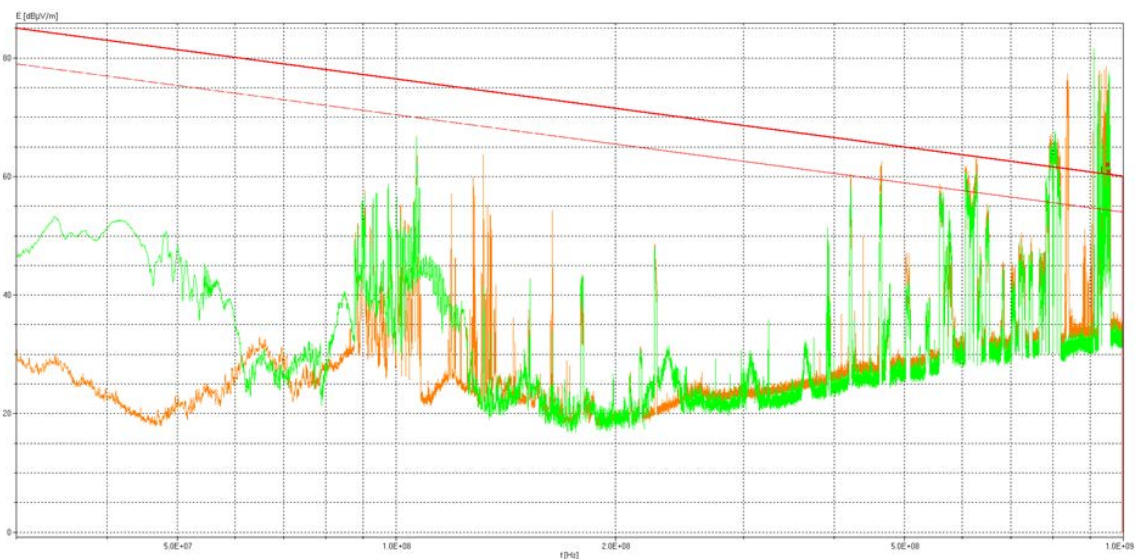


Graf 4: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 9 kHz až 30 MHz  
(jízdní zkouška)

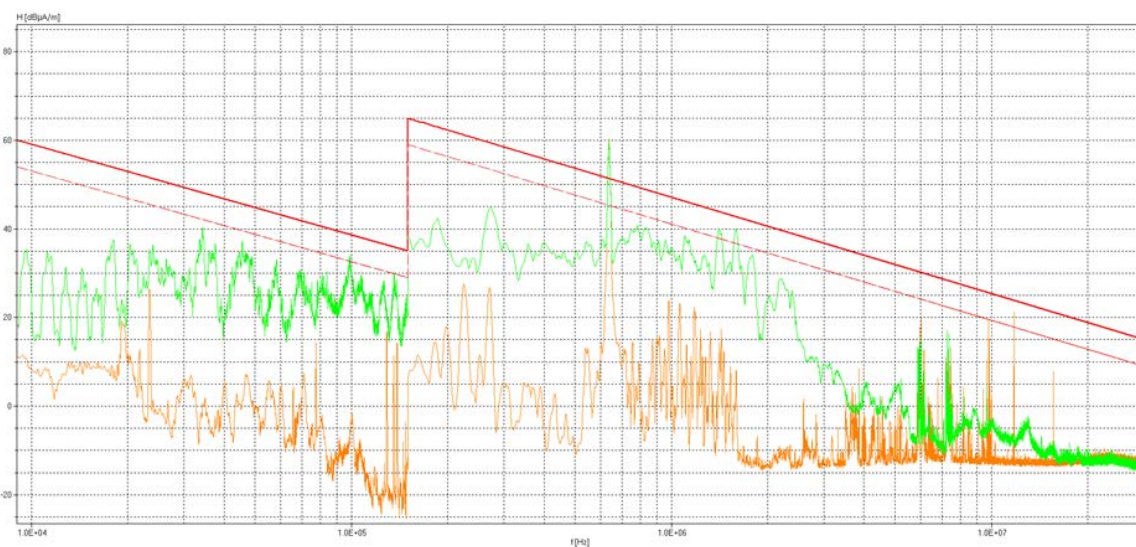


Graf 5: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(jízdní zkouška, horizontální polarizace antény)

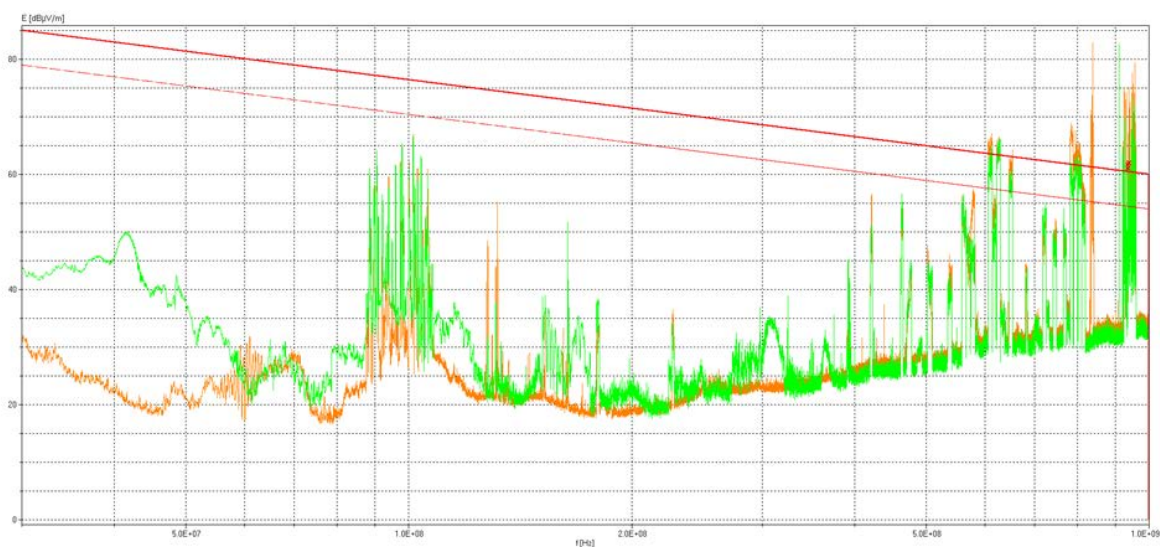




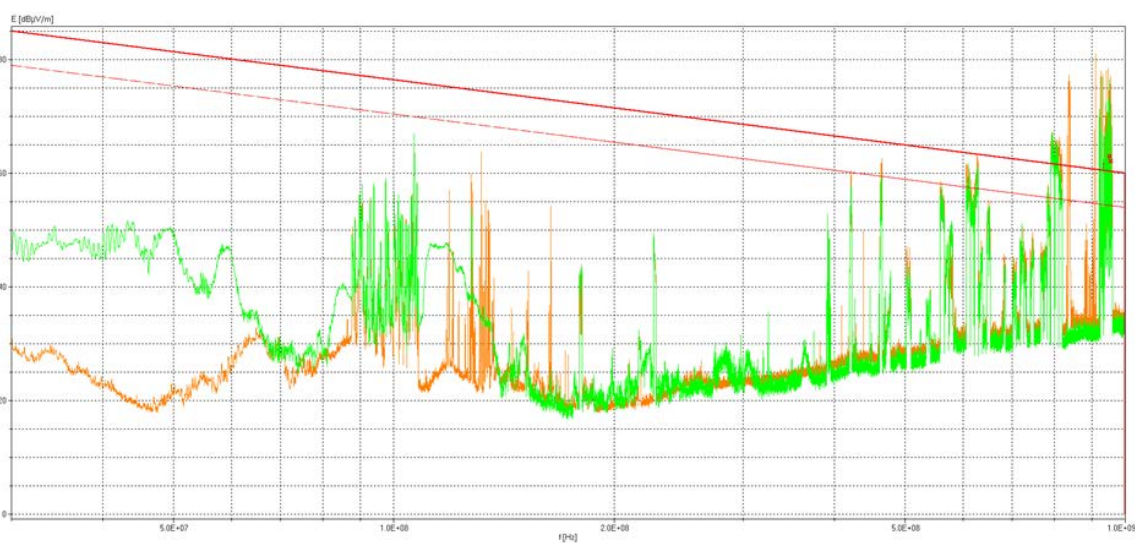
Graf 6: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(jízdní zkouška, vertikální polarizace antény)



Graf 7: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 9 kHz až 30 MHz  
(zkouška při rekuperační brzdě)



Graf 8: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(zkouška při rekuperační brzdě, horizontální polarizace antény)



Graf 9: Naměřené elektromagnetické emise v pásmu 30 MHz až 1 GHz  
(zkouška při rekuperační brzdě, vertikální polarizace antény)