

Zodolněný kamerový systém určený pro provoz v bezodrazových stíněných komorách

Ing. Petr Skočík, Ph.D.

Teze disertační práce

Teze disertační práce

**Zodolněný kamerový systém určený pro provoz
v bezdrazových stíněných komorách**

**Resistant Camera System Designed for Operation
in Anechoic Shielded Chambers**

Autor: **Ing. Petr Skočík, Ph.D.**

Studijní program: Inženýrská informatika P3902
Studijní obor: Automatické řízení a informatika 3902V037

Školitel: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Oponenti: prof. Ing. Tomáš Loveček, Ph.D.
doc. Ing. Petr Doležel, Ph.D.
Ing. Josef Soldán, CSc.

Zlín, listopad 2020

Klíčová slova: bezodrazová stíněná komora, z odolněný kamerový systém, elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetické rušení, elektromagnetická odolnost, stínící kryt, stínící účinnost.

Key words: anechoic shielded chamber, resistant camera system, electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, electromagnetic susceptibility, shielding enclosure, shielding effectiveness.

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá návrhem a realizací zodolněné konstrukce pro kamerový systém určený k provozu v bezodrazových stíněných komorách. Jedná se o prostředí se silnými elektromagnetickými poli, která jsou generována během testování zkoušených zařízení na elektromagnetickou odolnost nebo samotným zařízením při měření elektromagnetického rušení. V souvislosti s neustálým rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu se v rámci komory provádí i ověřovací měření vyzařovacích charakteristik antén a přístupových bodů. Hlavním cílem práce byl návrh, realizace a zprovoznění zodolněného kamerového systému, který z bezpečnostních důvodů monitoruje měřicí pracoviště uvnitř komory a slouží také ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery pak lze stanovit mez odolnosti, typicky u zobrazovacích systémů. Současně bylo nutné zamezit nežádoucímu šíření rušivých signálů z kamerového systému. Rušení by mohlo mít negativní vliv na citlivá měření a testy prováděné podle příslušných norem a standardů platných pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Jednalo se o velmi specifické řešení elektromagneticky stínícího krytu pro kamerový systém, včetně samonosné konstrukce, napájecí části a optické trasy pro jeho připojení do lokální počítačové sítě. Zodolněný kamerový systém byl podroben řadě jednotlivých úprav, zkoušek a měření za účelem ověření vhodnosti jeho použití i správné funkce v elektromagnetickém prostředí komory.

Abstract

The dissertation thesis deals with design and implementation of resistant structure for camera systems used in operation in anechoic shielded chambers, i.e. in the environment of strong electromagnetic fields, which are generated during testing of devices for electromagnetic susceptibility or by the device itself during measurement of electromagnetic interference. In connection with the continuous development of mobile and wireless networks, measurements are also aimed at verifying the radiation characteristics of antennas and access points. These measurements are made in accordance with the relevant standards applicable to the commercial, wireless, automotive and military application areas. At the same time, undesirable propagation of interfering signals by the CCTV system, which could negatively affect sensitive measurements and tests, must be prevented. The main aim of the thesis is to design, realize and put into operation a resistant CCTV system, which monitors the ongoing measurements and workplace inside the chamber for safety reasons. It is a very specific solution, which is subjected to a number of individual modifications, tests and measurements to verify the suitability of its use and correct function in the electromagnetic environment of the chamber.

OBSAH

1. ÚVOD.....	5
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	6
3. CÍLE PRÁCE.....	9
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	11
4.1 Stínicí účinnost vybraných materiálů na kryt SK – V1	13
4.2 Stínicí účinnost krytu SK – V1	15
4.3 Elektromagnetické rušení a odolnost kamerového systému.....	18
4.3.1 Elektromagnetické rušení kamerového systému šířené vyzařováním	18
4.3.2 Elektromagnetická odolnost kamerového systému.....	21
4.4 Elektromagnetické rušení zodolněného kamerového systému šířené vyzařováním.....	23
5. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI	26
6. ZÁVĚR.....	30
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	32
SEZNAM OBRÁZKŮ	35
SEZNAM ZKRATEK A JEJICH VÝZNAM	36
PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA.....	37
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA.....	41

1. ÚVOD

Kamerové systémy jsou v dnešní době běžnou součástí každodenního života. Lze se s nimi setkat nejen v průmyslu komerční bezpečnosti, kde jsou využívány k monitorování různých objektů a lokalit nebo ve výrobních procesech pro sledování a řízení kvality výroby, ale také v komunikačních technologiích, měřicí technice, dopravě a mnoha dalších oborech lidské činnosti. Podle využití kamerových systémů jsou na ně kladeny rozdílné technické požadavky, a to nejen z pohledu kvality obrazu, ale především funkční spolehlivosti a odolnosti vůči prostředím, ve kterých jsou provozovány. Z těchto důvodů mohou být návrh i následná realizace těchto systémů velmi specifické. Do této skupiny bezesporu patří i kamerové systémy používané v bezdrazových stíněných komorách.

Bezdražová stíněná komora FRANKONIA SAC - 3 Plus S, která je součástí Vědeckotechnického parku Informační a komunikační technologie (VTP - ICT) při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně (UTB ve Zlíně), postrádá jakýkoliv monitorovací systém. Vzhledem ke konstrukci samotné komory neexistuje ani žádný jiný způsob, který by umožnil obsluze sledovat probíhající měření. Obsluha komory nemá po dobu měření žádnou zpětnou vazbu o tom, co se v komoře fyzicky děje. V rámci Centra bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA - Tech) se dané pracoviště specializuje na vývoj technických postupů na ochranu elektronických systémů proti rušení vnějšími i vnitřními elektromagnetickými poli. Dále se zabývá různým předcertifikačním měřením a testováním elektronických systémů na elektromagnetické rušení i odolnost. V souvislosti s neustálým rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu jsou rovněž prováděna měření za účelem ověření vyzařovacích charakteristik antén a přístupových bodů. Uvedená měření probíhají podle příslušných norem a standardů platných pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Převážně se jedná o prototypy zkoušených zařízení, jejichž pořizovací cena v této fázi vývoje může být velmi vysoká. Některé zkoušky vyžadují změnu polohy těchto zařízení během měření, která je prováděna automatizovaně. Vlivem této manipulace může dojít k poškození jak zkoušeného zařízení, tak přístrojového vybavení. Z uvedeného vyplývají nežádoucí důsledky v podobě finančně nákladné škodní události, včetně možné ztráty důvěry ze strany zadavatele. Rovněž neočekávaná závada, např. polohovacího zařízení komory, může zásadně ovlivnit výsledky z prováděného měření. V těchto případech jsou popisované události zjištěny obsluhou až po dokončení probíhajících měření a testů čili po otevření komory. Z těchto důvodů je nutné měřicí pracoviště komory vybavit kamerovým systémem. Předpokládaná cena kamerového systému byla dodavatelem komory stanovena na 290 000 Kč s DPH. Vzhledem k tomu, že cena nebyla akceptována, bylo vhodné navrhnout a realizovat vlastní kamerový systém, který by z bezpečnostních důvodů monitoroval měřicí pracoviště uvnitř komory a sloužil ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery lze pak

stanovit i mez odolnosti například u zobrazovacích systémů. Kamerový systém musí být schopen provozu i v silných elektromagnetických polích generovaných během těchto zkoušek nebo samotným zařízením při měření elektromagnetického rušení. Současně musí být zamezeno nežádoucímu šíření rušivých signálů ze strany kamerového systému, které by mohlo negativně ovlivnit uvedená citlivá měření a testy. Jedná se o velmi specifické řešení zodolněného kamerového systému, který musí být podroben řadě jednotlivých zkoušek a měření za účelem ověření vhodnosti jeho použití a správné funkce v elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory.

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Rozvoj společnosti s sebou přináší nové požadavky ve všech oblastech lidského bádání. V současnosti doznává značného pokroku oblast informačních technologií, s čímž souvisí rozvoj v oblasti mikroelektroniky a především zařízení využívaných ve výpočetní a řídicí technice, který má i svá negativa. Jedním z nezanedbatelných problémů je funkční spolehlivost těchto zařízení. Ta je ovlivněna nejen přesností a kvalitou výroby samotné, ale i vnějšími vlivy působícími na finální zařízení. V současné době tento problém eskaluje, neboť okolní prostředí je čím dál více zahlcováno celou řadou rušivých signálů. Velká část těchto signálů je „chtěných“, vznikajících např. z bezdrátové komunikace různých zařízení, ale objevují se i signály „nechtěné“, způsobené nekontrolovaným vyzařováním zařízení, při jejichž konstrukci nebyl tento problém uvažován. Všechny tyto signály jsou přijímány dalšími zařízeními, přičemž na některá z nich mohou mít nežádoucí vliv, který může vést až k technologickým poruchám nebo haváriím. Pokud se jedná o zařízení mající klíčový význam pro řízení složitých procesů, může taková porucha vést ke značným materiálním škodám či dokonce vyústit ve ztráty na lidských životech. Je tedy snahou předcházet možnému selhání těchto zařízení již při jejich návrhu a konstrukci. To znamená zařízení navrhovat tak, aby byla schopna správné činnosti i v prostředí, kde působí různé zdroje elektromagnetického rušení. To má samozřejmě i ekonomické dopady. Pokud při konstrukci elektronických zařízení nebyla předem uvažována tato skutečnost, může sebelépe navržené zařízení „propadnout“ při závěrečném procesu certifikace, což obnáší návrat prototypu zpět do počáteční fáze vývoje, včetně všech s tím souvisejících nákladů. Z pohledu elektromagnetické kompatibility jsou součástí certifikace měření elektromagnetického rušení zkoušeného zařízení i testy zaměřené na jeho elektromagnetickou odolnost. Hodnota takového funkčního vzorku může být v této fázi vývoje velmi vysoká. V dnešním konkurenčním prostředí je nutné předcházet takovým ztrátám již během přípravy finálního vzorku. Přijatelným řešením pro výrobce může být předcertifikace, kdy dochází k testování jednotlivých komponent a funkčních celků již ve fázi přípravy, tj. před kompletací celého zařízení [1]. Za tímto účelem navazují spolupráci s různými výzkumnými

institucemi disponujícími potřebným měřicím pracovištěm. Při anténních měřeních jde o bezodrazovou stíněnou komoru a také přístrojové vybavení, které je požadováno příslušnými normami a standardy určenými pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Pokud zkoušená zařízení nevyhoví požadavkům kladeným příslušnými normami, je nutné jejich stávající konstrukci podrobit nezbytným úpravám, ať už po stránce elektronické nebo elektrotechnické. V případě překročení přípustných mezí elektromagnetického rušení se požadované kompatibility dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. Z pohledu elektromagnetické odolnosti se opatření týkají strany přijímače rušení s cílem zvýšit jeho mez odolnosti [2], [3], [4], [5]. Jedním z technických prostředků k dosažení elektromagnetické kompatibility jsou elektromagnetická stínění umožňující snížení vyzařování na straně zdrojů rušení a zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Efektivním a specifickým řešením jsou elektromagneticky stínící kryty, které slouží k ochraně elektrických a elektronických součástí, zařízení či systémů, které mohou být současně zdroji i přijímači elektromagnetického rušení [2], [3], [4], [5], [6], [8], [15], [17], [22]. Ideální stínící kryt je kompletně uzavřený a vyrobený z celistvého, homogenního kovového materiálu. Nemá žádné technologické otvory, které by negativně ovlivňovaly elektromagnetickou stínící účinnost krytu [2], [3], [5], [8]. Jako u většiny stínících krytů i v tomto případě jsou technologické otvory nezbytnou součástí realizace a musí se uvažovat již během jeho návrhu.

Literární rešerše je zaměřená na současný stav řešení popisované problematiky, která souvisí s návrhem a realizací z odolné konstrukce pro kamerový systém určený pro monitorování v bezodrazové stíněné komoře. Kamerový systém musí být schopen provozu v prostředí silných elektromagnetických polí a současně musí být zamezeno i nežádoucímu šíření rušivých signálů ze strany daného systému, které by mohlo mít negativní vliv na citlivá měření a testy prováděné v rámci komory.

Na základě literární rešerše bylo zjištěno, že se výzkum v dané oblasti ubírá třemi směry. První směr sleduje teoretickou podstatu a myšlenky vedoucí k významu elektromagnetické stínící účinnosti u reálných stínících krytů [6]. Na teoretické úrovni se zabývají konvenčními způsoby měření stínící účinnosti a možnými výstupy z těchto měření [6], [8], [9]. Poukazují na skutečnost, že dosažené hodnoty stínící účinnosti u konkrétního krytu se mohou lišit, i když k jejich stanovení byla použita stejná metoda měření [6]. Stínící účinnost nezávisí pouze na samotné konstrukci krytu, ale je ovlivněna i elektronickým zařízením, které je předmětem stínění a nachází se uvnitř krytu [6], [8], [9], [10]. Stínící účinnost v uvedených případech nelze matematicky modelovat ani simulovat. Lze ji stanovit jen prostřednictvím vhodných reálných experimentů a měření [6], [8]. Některé publikační výstupy uvádí, že zařízení umístěné uvnitř krytu má pouze malý vliv na jeho stínící účinnost, např. [6]. Naopak jiné v dané teoretické oblasti

bádání přisuzují významný vliv těmto zařízením na celkovou stínicí účinnost krytů a věnují se novým metodám výpočtu elektromagnetického pole generovaného a vyzařovaného zařízením, které je provozováno uvnitř krytu [7], [11]. Nezabývají se však konkrétní konstrukcí krytu ani jeho reálným provedením, popř. využitím. Specifická část výstupů se věnuje sumarizaci výsledků z různých metod zaměřených na stínicí účinnost krytu i se zařízením uvnitř a posuzuje možnosti šíření elektromagnetického rušení mimo kryt prostřednictvím vedení, které je potřebné k jeho provozu [9], [13]. V tomto případě připouští technologické otvory pro napájecí, datové i signálové vedení, ale neřeší žádné způsoby směřující k omezení popisovaného rušení šířícího se po vedení. Výstupy spíše konstatují již známé závěry.

Hlavní směr publikovaných prací je zaměřen na metody a simulace vedoucí k zjišťování vlivu plánovaných technologických otvorů a poruch [6], [8], [10], [11], [12], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24] vznikajících nedokonalými spoji nebo volbou nevhodného elektromagnetického těsnění, včetně způsobu jeho aplikace. Výstupem těchto simulací je pouze ověření teoretických poznatků. Například, že uvažované materiály na konstrukci krytu s větším počtem malých otvorů vykazují lepší stínicí účinnost než s menším počtem větších otvorů [6], [8], [10], [12]. Část prací se zabývá i rozmístěním těchto otvorů a výsledným vlivům na stínicí účinnost [6], [8], [10], [16], [17]. Opětovně ověřují, že pozice může mít zásadní vliv na stínicí účinnost krytu [8], [10], [17]. S výjimkou závěrů stanovených v publikaci [6], která předpokládá popisovaný vliv na stínicí účinnost, ale nijak významný. Danou problematikou se zabývalo i pojednání o disertační práci „Vliv malých poruch na elektromagnetickou stínicí účinnost kompozitních materiálů“ [1]. Jedním z cílů bylo určit stínicí účinnost kompozitního materiálu obsahujícího periodicky a aperiodicky rozložené poruchy kruhového tvaru a mimo jiné i při stejné plošné koncentraci poruch, tvaru a rozměrů. Na základě provedených simulací ve dvou různých softwarech byl ověřen teoretický předpoklad, že stínicí účinnost je podstatně vyšší u aperiodického rozmístění poruch než u periodického [1]. Výstupy z pojednání práce potvrzují závěry výše zmíněných publikací [8], [10], [17]. Většina prací je však orientována na inovativní metody směřující k predikci stínicí účinnosti krytů, u kterých jsou předpokládány otvory odlišných tvarů na přední stěně krytu za účelem uvedeného modelování [11], [14], [15], [16], [19], [20], [21], [22], [23], [24]. Nedílnou součástí výzkumu zaměřeného tímto směrem jsou i výpočetní metody pro odhad stínicí účinnosti při použití různých materiálů [10], [12], včetně jejich rozdílných tloušťek [18] nebo absorpčních materiálů umístěných uvnitř krytu [6], [8]. Ideálním stínicím materiálem je obecně kov [6], [8], [10], [12] a absorpční materiály je vhodné uplatnit nad rezonanční frekvenci stínicího krytu [8]. Na vysokých frekvencích, kde je patrnější absorpční útlum, je elektromagnetická stínicí účinnost vyšší u magnetických kovových materiálů a nemagnetické jsou účinnější na nízkých frekvencích, kde se více uplatňuje útlum odrazem [2], [5], [10]. Provedené simulace sledují také vliv

feromagnetických, paramagnetických a diamagnetických materiálů na stínící účinnost krytu [10] a to v pásmu nízkých frekvencí, kde převládá vliv magnetické složky elektromagnetického pole [10].

Jen velmi úzká část studií se zabývá posouzením stínící účinnosti krytů i na základě provedených měření a nejen z pohledu simulací za účelem ověření některých teoretických předpokladů [8], [11], [18]. Například předmětem práce [8] byla formulace jednoduchých pravidel pro odhad stínící účinnosti krytu vycházejících ze simulací výše uvedených aspektů, které byly ověřeny i měřením. Hlavním aspektem byl vliv elektronických zařízení umístěných uvnitř krytu a technologických otvorů, tj. jejich velikost, umístění i počet. Byl také sledován vliv absorpčního materiálu na celkovou stínící účinnost, který byl instalován na vnitřní stěny krytu. Stínící kryt nebyl určen pro provoz konkrétního zařízení, sloužil spíše jako trenažér. Pro daný účel kryt měl vyměnitelný přední panel s dvěma řadami kontaktních kovových pružin pro zajištění elektromagnetické těsnosti a otvor určený pro přívod příslušného vedení k provozu zkoušených zařízení. Měření byla prováděna pro omezené frekvenční pásmo od 30 do 500 MHz. Závěrem bylo konstatováno, že simulace jsou schopné predikce, ale pouze v rámci obecných a známých pravidel, avšak vytvořit konstrukční pravidla pro návrh stínících krytů s požadovanou stínící účinností je prakticky nemožné [8].

3. CÍLE PRÁCE

Z provedené literární rešerše je zřejmé, že oblast zabývající se technickými prostředky elektromagnetické kompatibility, konkrétně stínícími kryty, je po stránce teoretické, která je převážně zaměřena na dílčí matematické modelování a simulace, popsána velmi dobře. Hlavním cílem těchto prací bylo ověřit teoretické předpoklady a odhadnout stínící účinnost krytu z pohledu různých aspektů. Závěrem lze konstatovat, že simulace jsou schopné předvídat stínící účinnost u navrhovaných krytů, ale pouze na úrovni již známých a obecných pravidel. Nenachází však univerzální metodu sloužící pro konstrukční návrh krytu na základě požadované stínící účinnosti. Celkovou stínící účinnost krytu lze ověřit až experimentální cestou. Touto oblastí se zabývá minimum prací, které spíše ověřují dílčí výstupy získané ze simulací potvrzujících již známou teorii. Z prostudovaných článků byla nalezena pouze jedna práce, která se zabývala komplexnějším experimentálním měřením. V tomto případě byl použit již zhotovený univerzální stínící kryt pro laboratorní účely, který umožňoval určité modifikace za účelem ověřování výstupů stanovených pomocí simulací. Měření bylo prováděno pouze v omezeném pásmu frekvencí od 30 do 500 MHz. Cílem práce bylo také sestavit konstrukční pravidla pro výše popisované účely. Bylo zjištěno, že je to prakticky nemožné.

Uvedená oblast je nedostatečně popsána po experimentální stránce návrhů zaměřených na elektromagneticky stínící kryty s reálným využitím. Zcela

postrádá návrhy stínících krytů určených pro provoz konkrétních zařízení, u kterých je uvažována i jejich proveditelnost a správná funkce ověřena adekvátním způsobem, tj. měřením. Navíc oblast se příliš nezabývá problematikou související se stínicí účinností krytů na vysokých frekvencích, které dosahují řádově až GHz. Rovněž není zaměřena na návrh krytů pro prostředí bezodrazových stíněných komor.

K řešení uvedených nedostatků přispívá tato disertační práce. V tomto případě se jedná o návrh a realizaci zodolněné konstrukce pro kamerový systém, který je určen pro provoz ve specifickém elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory, tj. v prostředí silných elektromagnetických polí. Kryt musí být účinný vůči elektromagnetickému rušení na frekvencích dosahujících řádově GHz, tedy i v oblasti milimetrových vln. Současně musí být zamezeno i nežádoucímu šíření rušivých signálů ze strany kamerového systému, které by mohlo mít zásadní vliv na citlivá měření a testy prováděné v rámci komory. Danou problematikou se zabývá jen několik světových výrobců, kteří se specializují na dílčí nebo kompletní návrhy, včetně realizace na zakázku. Většinou se jedná o kusovou výrobu a velmi složitou výrobní technologii, která vyžaduje i neustálý výzkum v uvedené oblasti. Z těchto důvodů jsou obdobná řešení finančně nákladná a každá společnost si své „know-how“ chrání.

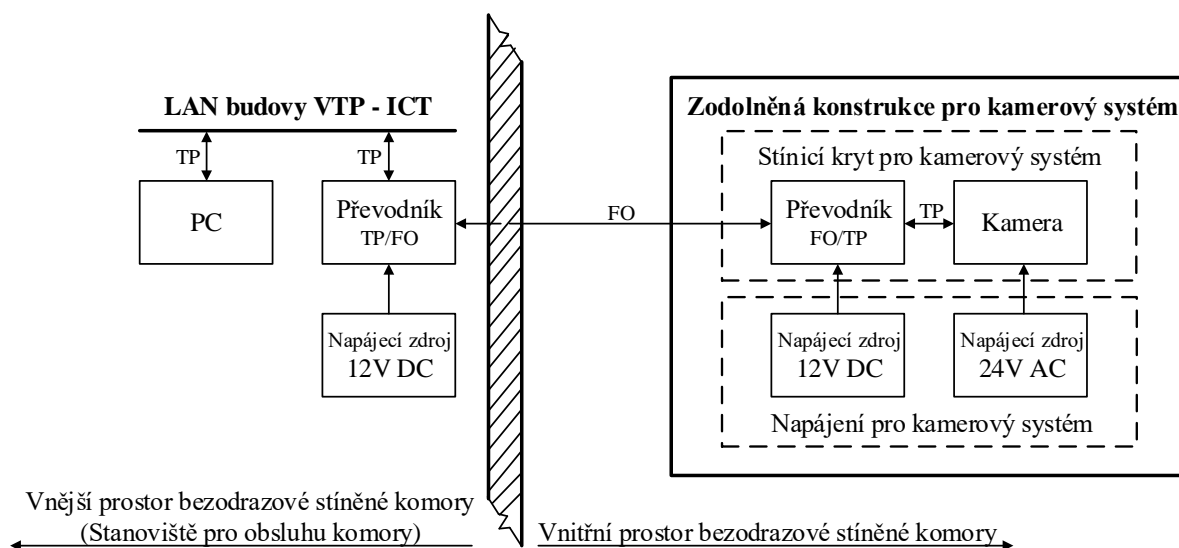
Hlavním cílem disertační práce je návrh, realizace a zprovoznění zodolněného kamerového systému, který by nejen z bezpečnostních důvodů monitoroval měřicí pracoviště uvnitř bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC - 3 Plus S, ale také sloužil ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery lze pak stanovit i mez elektromagnetické odolnosti například u zobrazovacích systémů.

Dílčí cíle práce:

- Výběr a zprovoznění vhodného kamerového systému, včetně jeho připojení do lokální počítačové sítě.
- Návrh a realizace zodolněné konstrukce pro kamerový systém:
 - Stínicí kryt pro kamerový systém:
 - Základní konstrukce stínícího krytu.
 - Technologické otvory pro napájecí a datové vedení kamerového systému.
 - Technologické otvory pro průhled, chlazení a servis kamery se zachováním rozlišovací schopnosti kamery.
 - Napájecí část kamerového systému.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

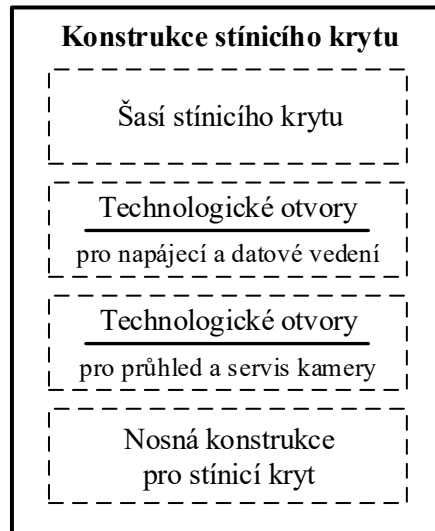
V této části práce je obecně popsán návrh, realizace a zprovoznění zodolněného kamerového systému, monitorujícího měřicí pracoviště uvnitř bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC - 3 Plus S, a to nejen z bezpečnostních důvodů, ale i pro účely sledování zkoušeného zařízení během jeho testování na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery je možné stanovit u testovaných zařízení i mez elektromagnetické odolnosti, typicky se jedná o zobrazovací systémy. Kamerový systém musel být schopen provozu v silných elektromagnetických polích, která jsou běžně generována při uvedených zkouškách na elektromagnetickou odolnost nebo samotným zařízením při měření elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzařováním. Současně bylo nutné zamezit nežádoucímu šíření rušivých signálů z kamerového systému, které by mohly mít negativní vliv na probíhající měření a testy prováděné v rámci komory podle norem a standardů platných pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Nejprve bylo nutné se seznámit s povahou těchto měření a testů, přístrojovým a technickým vybavením laboratoře EMC (Electromagnetic Compatibility), včetně bezodrazové stíněné komory, která je součástí uvedeného pracoviště. Na základě získaných poznatků byl proveden výběr vhodného kamerového systému, návrh na jeho rozmístění v rámci měřicího pracoviště, včetně připojení do lokální počítačové sítě (LAN - Local Area Network), viz Obr. 4.1.



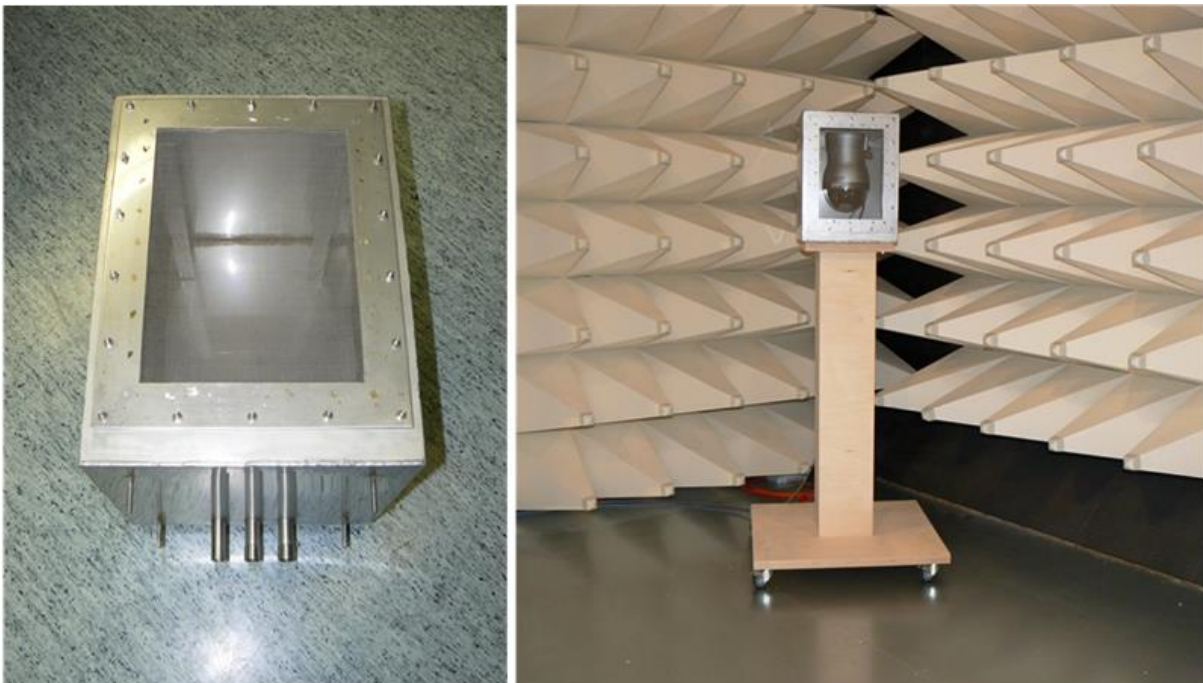
Obr. 4.1: Návrh kamerového systému pro bezodrazovou stíněnou komoru

Připojení do LAN vyžadovalo realizaci optické trasy FO (Fiber Optic) a TP (Twisted Pair) kabeláže, dále pak konfiguraci kamery s příslušným ovládacím softwarem. Optická trasa byla podrobena kontrolnímu měření s cílem stanovit její vložený útlum a zjistit případné poruchy použitých vláken. U zhotovených přímých UTP (Unshielded Twisted Pair) kabelů byla provedena kontrola

správného zapojení vodičů. Z Obr. 4.1 je patrný i návrh z odolné konstrukce určené pro kamerový systém umístěný uvnitř komory. Návrh byl rozdělen do dvou částí. První část se zabývala stínícím krytem pro kameru a převodník TP/FO, který byl dále rozdělen na dílčí návrhy, jak je zřejmé z Obr. 4.2. Výstupem této části návrhu byla výkresová dokumentace pro výrobu stínícího krytu, který byl pracovně označen SK – V1. Výsledná realizace stínícího krytu, včetně jeho mobilní nosné konstrukce, je ukázána na Obr. 4.3.



Obr. 4.2: Návrh konstrukce stínícího krytu pro kamerový systém



Obr. 4.3: Stínící kryt SK – V1 a odolný kamerový systém pro bezodrazovou stíněnou komoru

Druhá část návrhu zodolněné konstrukce byla zaměřena na napájecí zdroje pro kamerový systém, tj. kameru a převodník TP/FO. Na základě návrhu byly vybrány vhodné napájecí zdroje, které byly podrobeny řadě konstrukčních úprav a měření. Cílem měření bylo ověřit výrobci deklarované parametry u obou zdrojů a stanovit emise elektromagnetického rušení na jejich uvažovaných vstupech/výstupech. V tomto případě se jednalo o kryty zdrojů, kterými může pronikat nebo vyzařovat rušivé elektromagnetické pole, a jejich napájecí i výstupní svorky, které byly předmětem měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení, tj. po napájecím i výstupním.

Dále byl měřen a testován kamerový systém, nejprve bez stínicího krytu a poté s krytem, v zapojení, které odpovídalo jeho běžné provozní konfiguraci. Cílem bylo stanovit emise elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním, tj. prostřednictvím jeho krytu, který byl uvažován jako jediný vstup/výstup kamerového systému, a elektromagnetickou odolnost. Další experiment spočíval v ověření funkčnosti stínicího krytu SK – V1, včetně jeho stínicí účinnosti, a vhodnosti použití zodolněné konstrukce kamerového systému, viz Obr. 4.3 vpravo, uvnitř bezodrazové stíněné komory.

Uvedené je podrobněji popsáno v disertační práci a shrnuto v kap. 5 těchto tezí. Vzhledem k obsáhlosti experimentální části disertační práce jsou v následujících kapitolách prezentovány pouze vybrané výstupy z provedených měření a testů.

4.1 Stínicí účinnost vybraných materiálů na kryt SK – V1

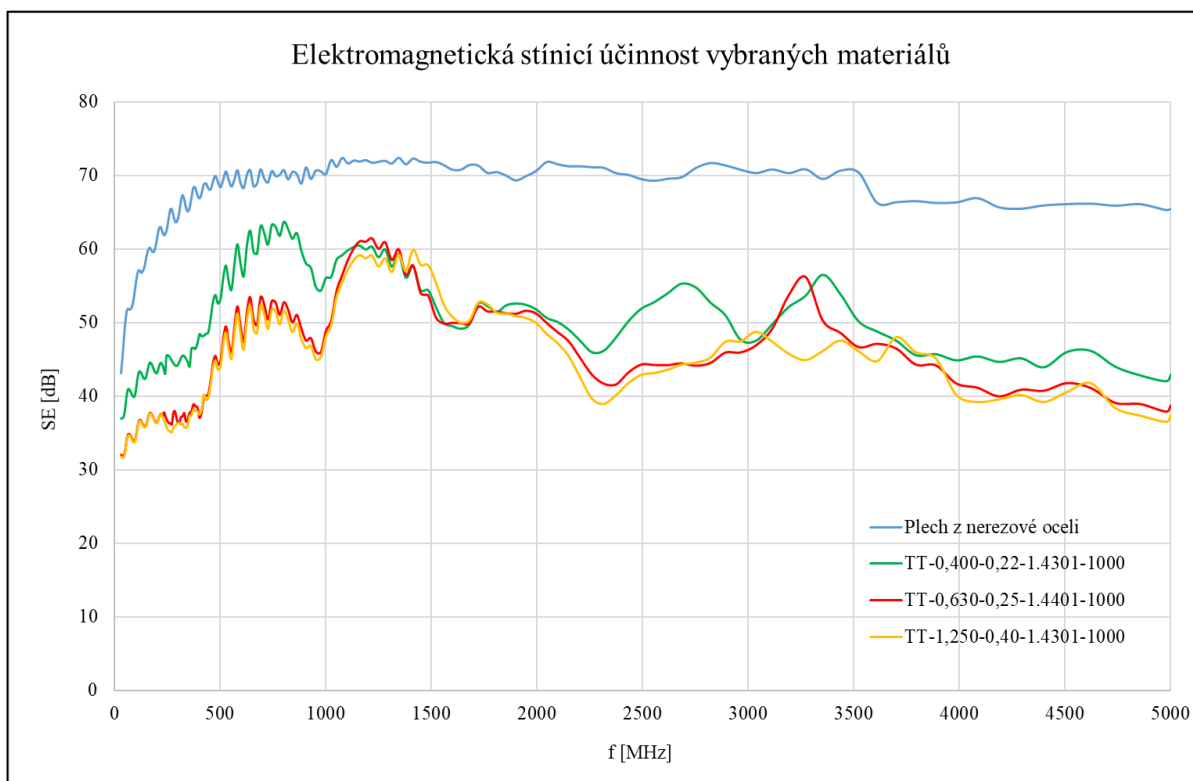
V kapitole jsou prezentovány výsledky z měření elektromagnetické stínicí účinnosti vybraných materiálů za účelem ověření jejich vhodnosti na konstrukci elektromagneticky stínicího krytu SK – V1. Jednalo se o plech z nerezové oceli o tloušťce 2 mm a technické tkaniny:

- TT-0,400-0,22-1.4301-1000,
- TT-0,630-0,25-1.4401-1000,
- TT-1,250-0,40-1.4301-1000,

kde první parametr uvádí světlou šířku ok tkaniny v mm, druhý parametr průměr použitého drátu v mm, následuje druh materiálu a celková šířka vyráběné tkaniny v mm. Technické tkaniny byly vyrobeny z nerezové oceli s hladkou vazbou a čtvercovým tvarem ok. Jedná se o způsob vazby, ve kterém jsou jednotlivé dráty ohýbány v podélném nebo příčném směru tkaniva, a to s pravidelným střídáním. Tkaniny byly určeny pro část konstrukce víceúčelového montážního rámu krytu, kde nahrazovaly stíněné průhledové sklo pro kameru. Výsledná konstrukce pak sloužila pro průhled, chlazení i servisní účely kamerovému systému instalovaného uvnitř krytu, viz kap. 4, Obr. 4.3 průhledový rám na přední stěně krytu. Plech byl použit na základní konstrukci krytu, včetně nosné části montážního rámu.

Elektromagnetická stínicí účinnost uvedených materiálů byla určena měřením, které vycházelo ze standardu ASTM D4935 – 18, který je platný pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1,5 GHz. Jedná se o zkušební metodu, která poskytuje postup pro měření požadované stínicí účinnosti platný pro rovinné materiály a TEM (Transverse Electromagnetic Mode) vlnu vzdáleného elektromagnetického pole [25], tj. intenzita elektrického pole a magnetická indukce jsou kolmé na směr šíření vlny [26]. V tomto případě TEM čili příčně elektromagnetická vlna vzniká a šíří se po koaxiálním vedení, u kterého se předpokládá, že je homogenní.

Za účelem vytvoření představy o chování elektromagnetické stínicí účinnosti vybraných materiálů i na vyšších frekvencích, než předepisuje metoda měření, bylo realizováno individuální měření pro rozšířené frekvenční pásmo až do 5 GHz. Nejprve bylo provedeno měření bez vzorku vybraného materiálu tzv. normalizace. Cílem bylo zjistit frekvenční závislost útlumu měřicího vedení, včetně adaptéru. Výsledná normalizace byla odečítána od výsledků získaných během měření jednotlivých vzorků, které probíhalo prostřednictvím softwaru EMC32. Následně bylo možné sledovat pouze průběh elektromagnetické stínicí účinnosti měřených materiálů. Měřené vzorky byly upínány do rámu vyrobeného z nerezové oceli o celkových rozměrech 600 x 600 x 1 mm, tj. d x š x v, který byl navržen pro minimalizaci nežádoucího obtékání vysokofrekvenčního signálu na cestě z generátoru do spektrálního analyzátoru [1].



Obr. 4.4: Elektromagnetická stínicí účinnost vybraných materiálů

Na Obr. 4.4 jsou zobrazeny výsledné frekvenční závislosti elektromagnetické stínící účinnosti vybraných materiálů naměřené pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 5 GHz. Průběh stínící účinnosti plechu z nerezové oceli je označen modrou barvou, technické tkaniny TT-0,400-0,22-1.4301-1000 zelenou barvou, TT-0,630-0,25-1.4401-1000 červenou a TT-1,250-0,40-1.4301-1000 žlutou. Stínící účinnost plechu byla stanovena na hodnotu 69 dB a u jednotlivých tkanin na 52, 47 a 45 dB pro frekvenční pásmo od 250 MHz do 5 GHz.

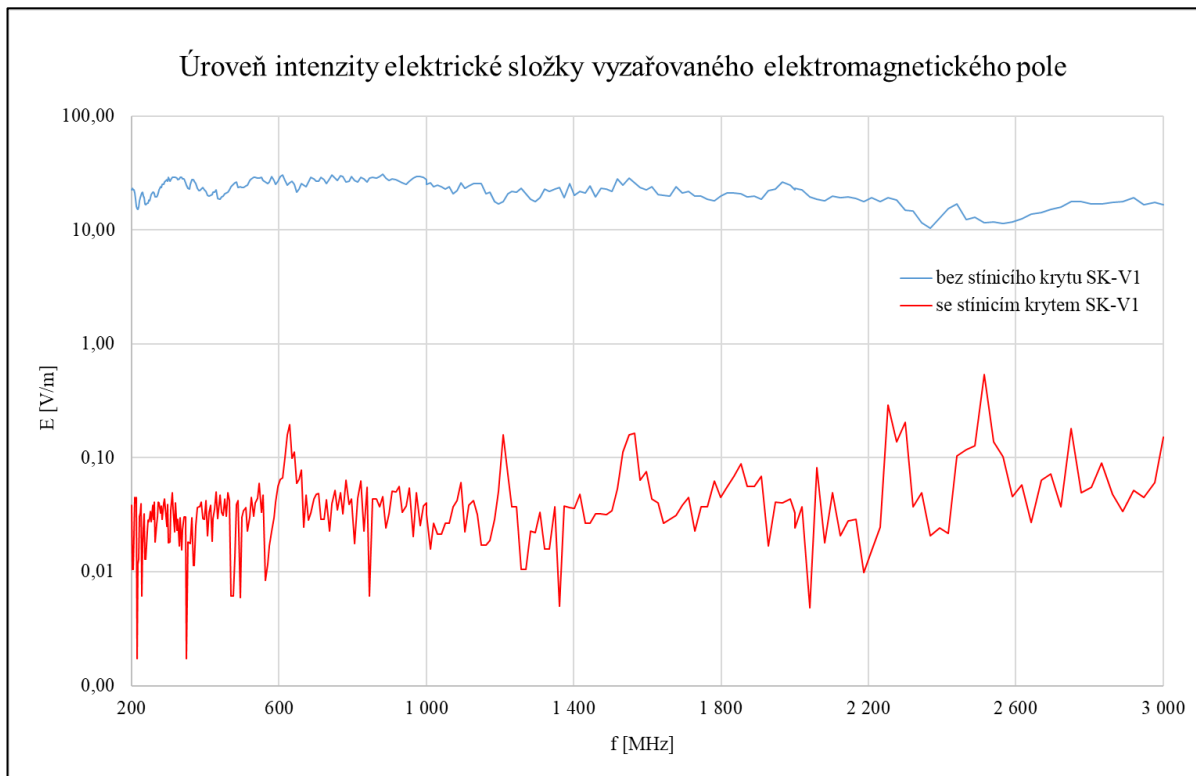
Na základě naměřených úrovní elektromagnetické stínící účinnosti vybraných materiálů bylo konstatováno, že jsou vhodné na konstrukci stínícího krytu SK – V1. Jako nejvhodnější technická tkanina pro průhledovou část konstrukce montážního rámu krytu byla zvolena TT-0,630-0,25-1.4401-1000. Při výběru byly uvažovány i výstupy stanovené v rámci kvalitativního posouzení těchto tkanin z pohledu jejich průhlednosti, která má zásadní vliv i na viditelnost kamery a její schopnost zaostřit monitorovanou scénu. V tomto případě se typicky jedná o zobrazovací systémy testované na elektromagnetickou odolnost za účelem stanovení meze odolnosti.

4.2 Stínící účinnost krytu SK – V1

Kapitola prezentuje výsledky z měření elektromagnetické stínící účinnosti krytu SK – V1. Jednalo se o specifický postup měření. K tomu účelu bylo využito vybavení laboratoře EMC, které je přednostně určeno k provádění zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost elektronických zařízení podle normy ČSN EN 61000-4-3. Důvodem byly vnitřní rozměry krytu a především průchodných vlnovodů určených pro přívod datového a napájecího vedení kamerového systému. Vlnovody neumožňují do stínícího krytu zavést libovolné kabelové připojení, resp. jakoukoliv měřicí sondu, proto byla vybrána zpětnovazební sonda elektrického pole HI-6105 od ETS – LINDGREN, která je s měřicím systémem propojena pomocí tenkých optických vláken. Cílem měření bylo stanovit intenzitu elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole v ozařovaném prostoru komory, tj. bez stínícího krytu a následně uvnitř krytu.

Do bezodrazové stíněné komory byla umístěna s horizontální polarizací vysílací směrová anténa HL046E od R&S (Rohde & Schwarz) a podlaha mezi anténou a místem měření byla pokryta absorbéry. Na místo zkoušeného zařízení, tj. ve vzdálenosti 3 m od antény, byla do ozařovaného prostoru komory instalována sonda HI-6105. Sonda i anténa byly nastaveny do výšky 130 cm od podlahy komory. Výška byla dána rozměry z odolné konstrukce pro kamerový systém. Vysílací anténa byla buzena konstantním výkonem 35 W ve frekvenčním pásmu od 200 MHz do 3 GHz s krokem měření, který činil 1 % z měřené frekvence. Zpětnovazební sonda měřila úroveň intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole pro každou frekvenci. Zaznamenané hodnoty se pohybovaly v rozmezí 15 až 30 V/m, viz Obr. 4.5 průběh zobrazený

modrou barvou, podle superpozice mnohočetných odrazů uvnitř komory. Následně byla sonda umístěna do stínicího krytu tak, aby se její pozice v prostoru vůči anténě nezměnila a měření bylo opakováno. V tomto případě byla dosažená úroveň intenzity elektrického pole uvnitř stínicího krytu tak nízká, viz Obr. 4.5 průběh zobrazený červenou barvou, že se měřicí systém automaticky pokoušel navyšovat výkon zesilovačů, aby byla dosažena měřená intenzita elektrického pole alespoň 0,1 V/m. Výkon zesilovačů byl limitován maximálním výkonem 150 W ve frekvenčním pásmu od 200 MHz do 1 GHz a výkonem 80 W v pásmu od 1 GHz do 3 GHz.



Obr. 4.5: Úroveň intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole

Vzhledem k tomu, že se v prvním případě měření podařilo v systému nastavit konstantní výkon vysílací antény, ale v druhém případě nikoliv, protože to nedovolily ochranné mechanismy řídicího softwaru EMC32, bylo nutné naměřená data normalizovat. K tomuto účelu byl použit tabulkový editor MS EXCEL. Naměřená úroveň intenzity elektrické složky elektromagnetického pole bez stínicího krytu byla vynásobena poměrem odmocnin zaznamenaných výkonů zesilovačů použitých při jednotlivých měřeních. Dále pro každou z měřených frekvencí byl vypočítán poměr z naměřených úrovní intenzit elektrického pole, tj. bez stínicího krytu (z korigovaných hodnot) a s krytem. Pak

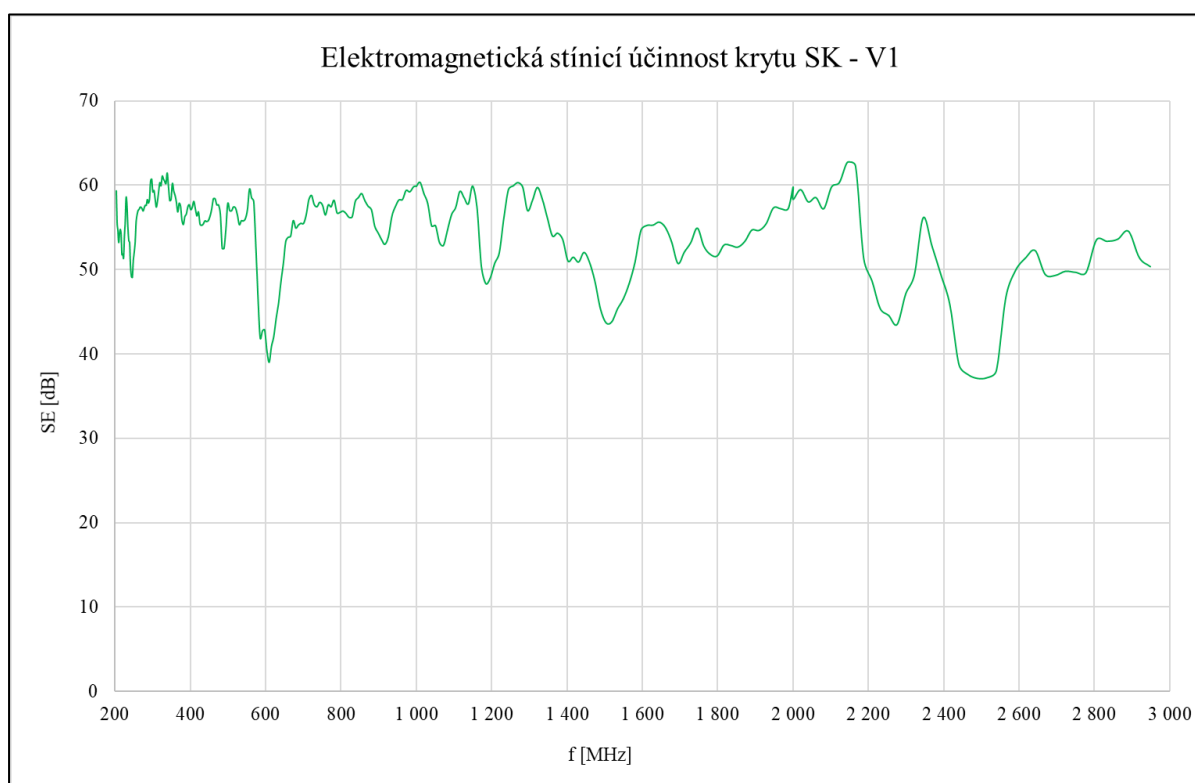
byla vypočítána elektromagnetická stínící účinnost SE krytu SK – V1 z tohoto poměru podle vztahu [2]:

$$SE = 20 \log \frac{|E_{1K}|}{|E_2|} \quad [dB] \quad (4.1)$$

$$E_{1K} = E_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad [V/m] \quad (4.2)$$

kde $E_1, E_2 [V/m]$ jsou intenzity elektrické složky elektromagnetického pole naměřené bez stínícího krytu a s krytem, $E_{1K} [V/m]$ je intenzita E_1 po provedené korekci podle vztahu (13.2), $P_1, P_2 [W]$ jsou výkony zesilovačů použitých při měření bez stínícího krytu a s krytem.

Pro vyhlazení průběhu stínící účinnosti, viz Obr. 4.6, výpočet vycházel vždy z průměrovaných hodnot intenzit naměřených na pěti po sobě jdoucích frekvencích.



Obr. 4.6: Elektromagnetická stínící účinnost krytu SK – V1

Na Obr. 4.6 je zobrazen průběh elektromagnetické stínící účinnosti krytu SK – V1 stanovený pro frekvenční pásmo od 200 MHz do 3 GHz. Nutno poznamenat, že úroveň intenzity elektrické složky elektromagnetického pole naměřená se stínícím krytem byla mimo dynamický rozsah použité sondy

elektrického pole, který je udáván výrobcem od 0,5 do 800 V/m. Z důvodu nízké citlivosti této sondy nebyla výsledná hodnota stínící účinnosti krytu stanovena. Z průběhu, viz Obr. 4.6, lze pouze konstatovat, že stínící účinnost krytu dosahuje hodnoty 54 dB a vyšší.

Během měření se ukázalo, že řídicí software EMC32 od společnosti R&S je navržen především pro standardizovaná měření z oblasti EMC a jeho stávající konfigurace neumožňuje plně flexibilní přizpůsobení požadavkům uživatele. Omezená možnost konfigurace měření a s tím spojená použitelnost softwaru se projevila i v tomto specifickém případě měření, tj. za účelem stanovení stínící účinnosti krytu SK – V1. Dále získané poznatky z měření poukazují i na problematiku související s měřením stínící účinnosti krytů malých rozměrů.

4.3 Elektromagnetické rušení a odolnost kamerového systému

Kamerový systém, tj. kamera MERIT LILIN - IPS5184S a převodník ALLIED TELESIS - AT-MC102XL, byl podroben měření za účelem stanovení elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním a následně zkouškám na elektromagnetickou odolnost. V rámci odolnosti kamerového systému byl uvažován pouze jediný vstup pro nežádoucí rušivé signály, a to jeho kryt, proto byly zkoušky zaměřeny na vnější zdroje rušivých elektromagnetických polí.

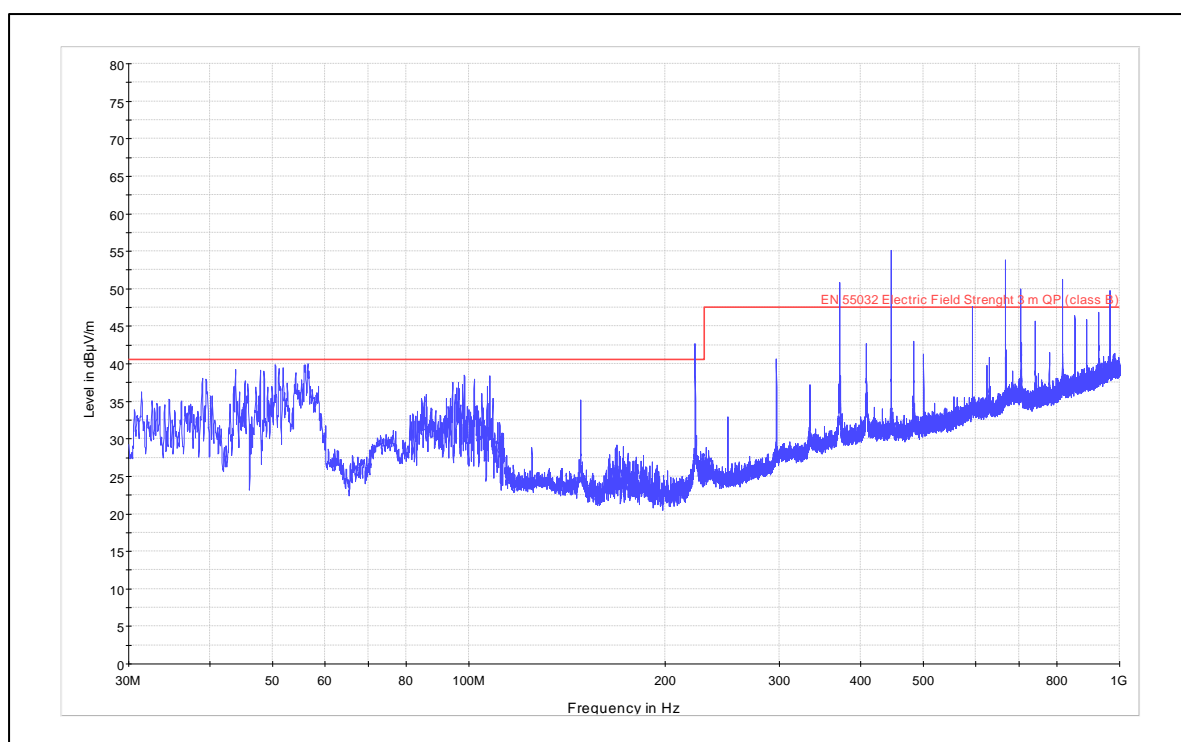
Napájecí zdroje kamerového systému, které byly nainstalovány do rozvaděče nacházejícího se pod stíněnou podlahou komory, splňovaly emise elektromagnetického rušení podle normy ČSN EN 61000-6-3. Dále nutno poznamenat, že zdroje byly napájeny z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, která je součástí elektrických rozvodů komory. Tyto rozvody jsou opatřeny vysoce výkonnými odrušovacími filtry. Z těchto důvodů nebyly napájecí svorky kamerového systému uvažovány jako další možný vstup pro uvedené rušivé signály. Rovněž nebyly uvažovány datové konektory, protože část trasy pro připojení kamery do lokální počítačové sítě byla řešena po optických vláknech.

Kamerový systém byl měřen a zkoušen bez stínícího krytu SK – V1 a následně i s krytem, viz kap. 4.4. Cílem bylo ověřit elektromagnetickou stínící účinnost krytu a posoudit vhodnost jeho použití v bezodrazové stíněné komoře.

4.3.1 Elektromagnetické rušení kamerového systému šířené vyzařováním

V kapitole jsou popsány výsledky z měření elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním čili krytem kamerového systému. Tento systém byl měřen bez stínícího krytu SK – V1 a v zapojení, které odpovídá jeho běžné provozní konfiguraci. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle normy ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3.

V tomto případě měření nebyl použit plnohodnotný autotest, ale pouze omezený předběžný test. Při změně úhlu měřeného kamerového systému, který se během autotestu mění v rozsahu od -180° do $+180^\circ$, mohla nastat situace, že se jeho přívodní kabeláž omotá kolem nohou pracovního stolu. Následným stržením kamerového systému by mohlo dojít k jeho poškození. Z tohoto důvodu byla v rámci omezeného testu pozice točny s pracovním stolem, resp. kamerového systému pevně nastavena na hodnotu 0° , tj. kolmo vůči anténnímu stojanu s měřicí anténou. Měřený kamerový systém byl umístěn ve vzdálenosti 3 m od antény, která byla pevně nastavena do doporučené výchozí skenovací pozice, tj. do výšky 1,5 m od podlahy komory. Měření probíhalo s vertikální i horizontální polarizací antény. Výsledky z měření rušení kamerového systému způsobeného elektrickou složkou elektromagnetického pole, které je vyzařováno jeho krytem a současně odráženo od zemní roviny komory, jsou ukázány na Obr. 4.7 a Obr. 4.8.

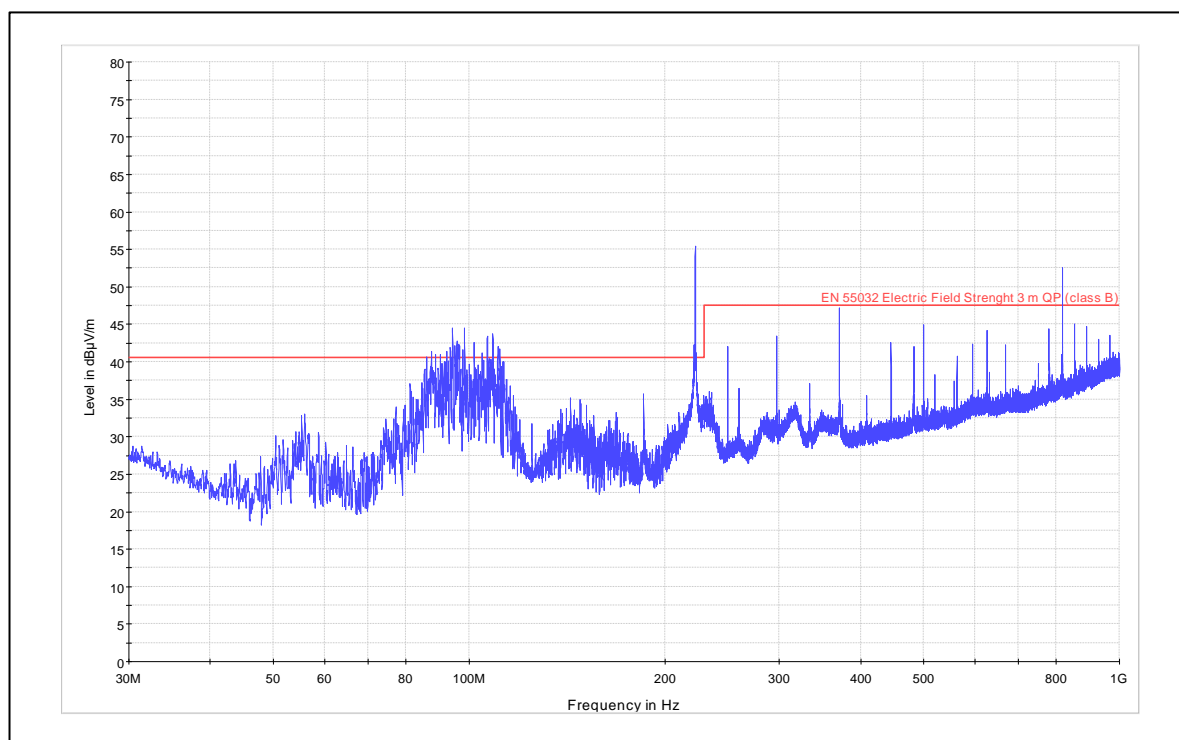


Obr. 4.7: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s vertikální polarizací antény a MP detektorem

Nejprve bylo provedeno měření s vertikální polarizací měřicí antény, viz Obr. 4.7. Jednalo se pouze o předběžné měření, které probíhalo pomocí MP (Max-Peak) detektoru, a tudíž zobrazený průběh odpovídá maximální intenzitě vyzařovaného rušivého elektrického pole. Z průběhu je patrné, že na frekvenčním pásmu od 225 MHz do 1 GHz dosažená intenzita elektrického pole místy překračuje přípustné meze stanovené pro QP (Quasi-Peak) hodnoty rušení. Požadavky kladené normou pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz nebyly

splněny. Vzhledem k tomu, že se jedná o významné úrovně intenzity rušení, tak jejich okolí nebylo dále podrobena zpřesňujícímu měření normou předepsaným QP detektorem.

Následně bylo provedeno i měření s horizontální polarizací měřicí antény. V tomto případě byly rovněž překročeny maximální limitní meze stanovené normou. Významnou úroveň rušení lze vidět na frekvenčním pásmu od 85 do 115 MHz a na frekvencích 225 a 815 MHz, viz Obr. 4.8.



Obr. 4.8: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s horizontální polarizací antény a MP detektorem

Na základě předběžného měření bylo konstatováno, že kamerový systém bez stínícího krytu SK – V1 nesplňuje požadavky kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3. Jedná se o maximální přípustné meze stanovené pro rušení způsobené elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole, které se dále šíří krytem kamerového systému do prostoru bezodrazové stíněné komory a může mít negativní vliv na probíhající měření. Z těchto důvodů bylo vhodné kamerový systém nainstalovat do stínícího krytu. Předpokladem bylo, že se tím omezí i intenzita rušivého elektrického pole vyzařovaného do prostoru komory.

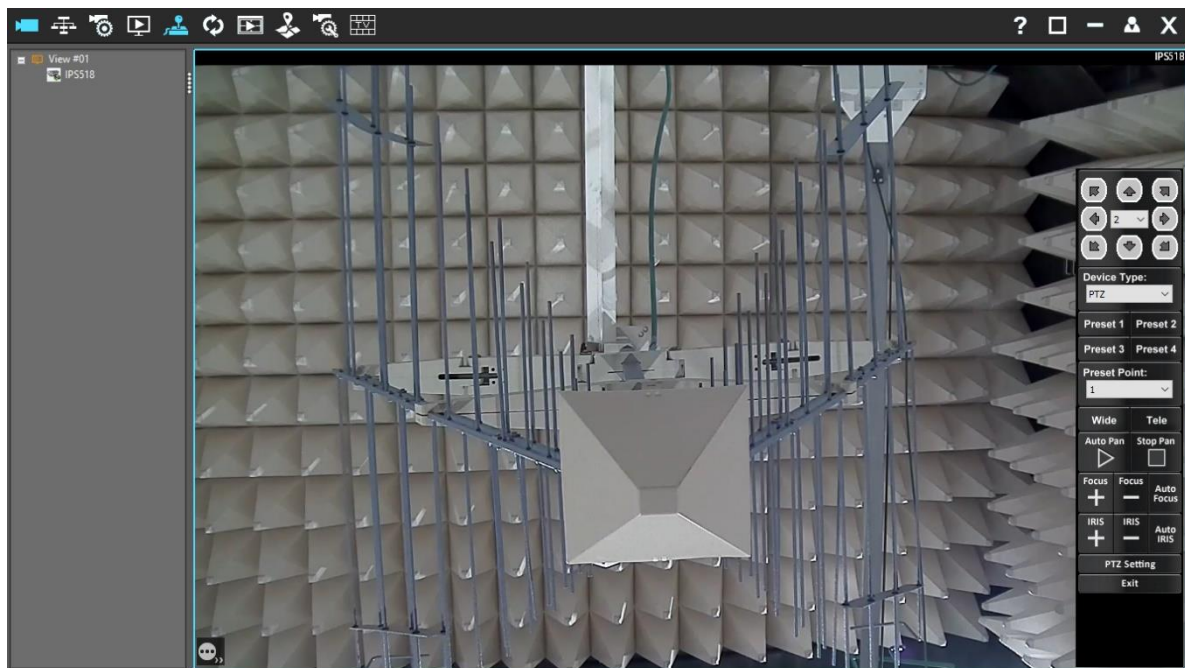
Měření elektromagnetického rušení kamerového systému umístěného uvnitř stínícího krytu je součástí kap. 4.4.

4.3.2 Elektromagnetická odolnost kamerového systému

Kapitola prezentuje výsledky z testování elektromagnetické odolnosti kamerového systému vůči rušivým vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Testy byly prováděny podle normy ČSN EN 61000-4-3, konkrétně pro dosaženou úroveň elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole o intenzitě 1, 3, 10 a 30 V/m. Požadované pole muselo být homogenní. Zkouška vyžadovala funkční kritérium A, a proto během zkoušky nesmělo docházet k patrnému omezení funkce testovaného systému, např. k rušení nebo ztrátě obrazu. Mez odolnosti byla stanovena kvalitativním posouzením funkčnosti kamerového systému, který byl testován bez stínicího krytu SK – V1 a v zapojení odpovídající jeho běžné provozní konfiguraci. Nutno poznamenat, že měřicí pracoviště bylo současně i prostorem, kde bude kamerový systém provozován.

Do bezodrazové stíněné komory byla umístěna vysílací logaritmicko-periodická směrová anténa a podlaha mezi anténou a místem měření byla pokryta absorbéry. Do ozařovaného prostoru komory, tj. ve vzdálenosti 3 m od antény, byl umístěn zkoušený kamerový systém a instalována zpětnovazební sonda elektrického pole. K tomu účelu sloužil dřevěný pracovní stůl. Anténa byla nastavena do odpovídající výšky stolu, tj. 80 cm nad podlahou komory. Prostřednictvím vysílací antény byl kamerový systém postupně ozařován, a to ze všech stran, generovaným elektromagnetickým polem o výše uvedených intenzitách elektrické složky ve frekvenčním pásmu od 80 MHz do 3 GHz. Dosažená intenzita byla měřena zpětnovazební sondou. Testování probíhalo s vertikální i horizontální polarizací antény.

Pouze zkouška odolnosti systému vůči elektromagnetickému poli s požadovanou úrovní intenzity elektrické složky 30 V/m probíhala individuálně. Testování bylo specifické v pozici vysílací antény, která byla instalována blíže ke zkoušenému systému, a to na vzdálenost 1,5 m. Cílem bylo dosáhnout uvedené intenzity elektrického pole. Stávající konfigurace zesilovačů byla výkonově omezená. Výkon zesilovačů byl limitován maximálním výkonem 150 W ve frekvenčním pásmu od 80 MHz do 1 GHz a výkonem 80 W v pásmu od 1 GHz do 3 GHz. Pak v kombinaci s použitou anténou bylo možné na vzdálenost 3 m vybudit intenzitu elektrického pole maximálně 10 V/m.



Obr. 4.9: Obrázek kamery při intenzitě elektrického pole 30 V/m, frekvenci 815 MHz a vertikální polarizaci vysílací antény

Na základě provedených zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost testovaného kamerového systému vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím, které byly provedeny podle normy ČSN EN 61000-4-3, bylo konstatováno, že během zkoušek se neprojevovalo žádné významné nebo viditelné rušení na obraze z kamery a nedošlo ani k ovlivnění samotné funkčnosti zařízení.

Zvýšená pozornost byla kladena i na oblast frekvencí, na kterých bylo zjištěno překročení emisí elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním, tj. krytem zkoušeného kamerového systému, viz kap. 4.3.1. Na těchto frekvencích byla předpokládána i jeho nižší odolnost vůči generovaným rušivým elektromagnetickým polím. Tento předpoklad nebyl prokázán, viz Obr. 4.9, což ale neznamená, že kamerový systém, resp. některá z jeho elektronických částí nebyla rušena. Rušení se pouze nemuselo projevit po vizuální stránce. Další zvyšování úrovně intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole nebylo vhodné, protože vyžadovalo i odpovídající přiblížení antény ke zkoušenému systému. U příliš blízko umístěné antény od zkoušeného kamerového systému (blíže než 1,5 m) a vzhledem k frekvenčnímu rozsahu (80 MHz až 3 GHz) nebylo možné zajistit homogenní pole.

Na základě kvalitativního posouzení funkčnosti kamerového systému bylo dále konstatováno, že jeho stávající konstrukce je po stránce elektromagnetické odolnosti vhodná pro provoz ve specifickém elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory. Nutno poznamenat, že u zkoušeného systému nebyla stanovena požadovaná mez odolnosti. Za účelem zajištění provozu

kamerového systému i v silných elektromagnetických polích, které mohou dosahovat vyšších intenzit než u prováděných zkoušek, byla doporučena jeho instalace do stínícího krytu SK – V1. Ostatně nutnost použití krytu vyplývá i z kap. 4.3.1.

4.4 Elektromagnetické rušení zodolněného kamerového systému šířené vyzařováním

Kamerový systém, viz kap. 4.3, byl nainstalován do stínícího krytu SK – V1 a opětovně podroben měření elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním čili krytem kamerového systému, viz kap. 4.3.1. Účelem bylo ověřit elektromagnetickou stínící účinnost krytu a následně i vhodnost použití zodolněného kamerového systému, viz kap. 4, Obr. 4.3 vpravo, v prostoru bezodrazové stíněné komory. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle normy ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3. Kamerový systém byl měřen v provozním režimu a v zapojení s odpovídající konfigurací. Bráno z pohledu jeho běžného použití a instalace.

Cílem měření bylo stanovit intenzitu rušení způsobeného elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole a následně ji porovnat s přípustnou maximální mezí pro QP hodnoty rušivého elektrického pole, která je platná pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz. Výsledné hodnoty naměřené prostřednictvím autotestu jsou uvedeny na Obr. 4.10. Na základě průběhu rušivého signálu zobrazeného modrou barvou byly autotestem určeny kritické frekvence. V oblastech těchto frekvencí byly následně MP detektorem nalezeny maximální hodnoty intenzity rušivého elektrického pole, viz hvězdičky červené barvy. Okolí těchto hodnot bylo podrobena zpřesňujícímu měření QP detektorem, viz kosočtverce modré barvy. Z těchto výsledků je patrné, že byly splněny požadavky kladené normou, tj. nebyly překročeny maximální přípustné meze stanovené pro QP hodnoty. Výsledky získané z předchozího měření rušení kamerového systému bez stínícího krytu SK – V1 jsou uvedeny v kap. 4.3.1 na Obr. 4.7 a Obr. 4.8. Z průběhů intenzit rušivých elektrických polí z obou provedených měření je zřejmé, že stínící kryt byl z pohledu elektromagnetické stínící účinnosti dostatečný.

Dále bylo provedeno měření elektromagnetického pozadí bezodrazové stíněné komory, tj. bez zkoušeného zařízení. Výsledný průběh je ukázán na Obr. 4.11. Z porovnání průběhů, viz Obr. 4.10 a Obr. 4.11, je patrné, že zodolněný kamerový systém je vhodný pro provoz v bezodrazové stíněné komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S. Nutno poznamenat, že významné úrovně intenzity rušení zjištěné v obou případech měření na frekvenčním pásmu 95 až 110 MHz byly způsobeny rádiovými pozemními vysílači, které se nachází v blízkosti komory.

5. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Na základě provedené literární rešerše bylo konstatováno, že oblast zabývající se technickými prostředky elektromagnetické kompatibility, konkrétně stínicími kryty, je po stránce teoretické popsána velmi dobře. V tomto případě se jedná o matematické modelování a simulace zaměřené na ověření teoreticky stanovených předpokladů a odhad stínicí účinnosti krytu podle různých aspektů. Na úrovni známých a obecných pravidel jsou simulace schopné předvídat stínicí účinnost pro navrhované kryty, ale nenabízí univerzální metodu pro sestavení konstrukčních pravidel založených na požadované stínicí účinnosti krytu a jeho reálném využití. Celkovou stínicí účinnost krytu lze ověřit jen experimentální cestou. Tímto měřením se zabývá minimum prací. Většinou se jedná o ověření výsledků získaných ze simulací pro uvedené predikující metody. Byl nalezen pouze jeden významnější publikační příspěvek zaměřený na komplexnější posouzení reálných aspektů ovlivňujících stínicí účinnost krytu, která byla měřena v omezeném frekvenčním pásmu od 30 do 500 MHz. V rámci tohoto příspěvku byl použit univerzální stínicí kryt vyrobený pro laboratorní účely. Předmětem práce nebyl návrh ani realizace krytu. Bylo zjištěno, že je prakticky nemožné uvažovat všechny vlivy působící na stínicí účinnost krytu [8].

Uvedená oblast je nedostatečně popsána po experimentální stránce návrhů zaměřených na elektromagneticky stínicí kryty s reálným využitím. Zcela postrádá návrhy stínicích krytů určených pro provoz konkrétních zařízení, u kterých je uvažována i jejich proveditelnost a správná funkce ověřena měřením. Navíc oblast se příliš nezabývá problematikou související se stínicí účinností krytů na vysokých frekvencích, které dosahují řádově až GHz. Rovněž není zaměřena na návrh krytů pro prostředí bezodrazových stíněných komor.

Z literární rešerše vyplynulo, že ne všechny oblasti vědeckého bádání lze ověřit teoretickou cestou, tj. pomocí matematického modelování a následných simulací. Mezi tyto oblasti bezesporu patří i technické prostředky elektromagnetické kompatibility, které často vyžadují specifický přístup podložený experimentálním měřením a s tím spojenou postupnou realizací. V tomto případě nebyl nalezen jediný publikační výstup, který by sloužil pro konstruktéry elektromagneticky stínicích krytů a poskytoval návod, který je podstatný pro jejich realizaci. Danou

problematikou se zabývá jen několik světových výrobců, kteří se specializují na dílčí nebo kompletní návrhy, včetně realizace, ale své „know-how“ si chrání.

Cílem předložené práce bylo přispět k řešení uvedených nedostatků v experimentální oblasti. V tomto případě se jednalo o návrh, realizaci a zprovoznění zodolněné konstrukce kamerového systému určeného pro provoz ve specifickém elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S.

Po seznámení s měřicím pracovištěm a na základě získaných poznatků byl proveden výběr vhodného kamerového systému a návrh na jeho připojení do lokální počítačové sítě. Po zvážení všech aspektů byla zvolena cenově dostupnější varianta řešení a vybrána kamera MERIT LILIN - IPS5184S s převodníky ALLIED TELESIS - AT-MC102XL zajišťující změnu přenosového média mezi kroucenou dvojlinkou (TP) a optickým vláknem (FO), protože část trasy pro připojení kamery k síti byla uvažována optickými vlákny. Konstrukce penetračních panelů komory neumožňuje použití UTP ani STP kabelů. Navíc datový přenos po optických vláknech negeneruje žádné rušivé elektromagnetické pole a zároveň zaručuje odolnost vůči vnějšímu elektromagnetickému rušení.

Návrh a následná realizace byly zaměřeny na kamerový systém umístěný uvnitř komory, konkrétně na jeho zodolněnou konstrukci, která byla po stránce návrhu rozdělena na elektromagneticky stínící kryt určený pro kameru s převodníkem a zdrojovou část pro jejich napájení.

Stínící kryt byl pracovně označen jako SK – V1 a dále rozdělen na dílčí návrhy zabývající se jeho základní konstrukcí, technologickými otvory a odpovídající nosnou konstrukcí. Při návrhu byla uvažována i samotná proveditelnost a homogenita materiálu u všech konstrukčních prvků, včetně nezbytných spojů, které byly použity na realizaci krytu. Na konstrukci krytu byla vybrána nerezová ocel, která je korozi vzdorná a nevyžaduje dodatečnou povrchovou úpravu. Vzhledem k finanční dostupnosti a s ohledem na náročnost postupů během opracování byla použita nerezová austenitická ocel ČSN 17240/AISI 304. Technologické otvory sloužící pro napájecí a datové vedení kamerového systému byly navrženy jako průchodné podkritické duté vlnovody. Jednotlivé prvky základní konstrukce krytu, včetně průchodných vlnovodů, byly spojeny pomocí sváření, aby se předešlo nežádoucím netěsnostem nebo vodivě nedokonalým spojením. Průhled, chlazení a přístup pro kamerový systém byl řešen specificky jako montážní rám se sendvičovým uspořádáním konstrukce. Z testovaných vzorků byla pro průhledovou část rámu vybrána technická tkanina TT-0,630-0,25-1.4401-1000. Tkanina umožňovala kameře sledovat zkoušené zařízení na elektromagnetickou odolnost s dostatečnou ostrostí. U materiálů použitých na konstrukci krytu byla stanovena elektromagnetická stínící účinnost, která byla měřena podle standardu ASTM D4935 – 18, konkrétně 47 dB u technické tkaniny a 69 dB u plechu z nerezové oceli pro frekvenční pásmo

250 MHz až 5 GHz. Součástí návrhu krytu byla i jeho nosná konstrukce. Kamerový systém nemohl být instalován na vnitřní plášť komory, aby nedošlo k porušení záručních podmínek komory nebo k ovlivnění její správné funkce. Byla navržena samonosná mobilní konstrukce ze dřeva. Spoje mezi jednotlivými díly konstrukce byly realizovány pomocí lepení a dřevěných kolíků. Cílem byla především stabilita konstrukce a s tím související minimální riziko úrazu obsluhy nebo materiálních škod způsobených při manipulaci s konstrukcí. Z bezpečnostních důvodů bylo i napájení kamerového systému řešeno bezpečným malým napětím, aby se předešlo úrazu elektrickým proudem.

Druhá část návrhu a realizace zodolněné konstrukce byla zaměřena na napájecí zdroje pro kamerový systém, tj. kameru a převodník. Kamera byla dodána podle požadavku s napájecím modulem na 24 V AC, ale napájecí zdroj nebyl součástí její dodávky. Pro daný účel byl vybrán napájecí zdroj PSACH 04244. Převodníky vyžadující 12 V DC byly dodány i s napájecími adaptéry. Tento adaptér byl použit pouze pro napájení převodníku umístěného mimo komoru. Pro převodník instalovaný v komoře nebyl vhodný, a proto byl zvolen napájecí zdroj LRS-35-12. Oba vybrané zdroje byly upraveny s ohledem na specifický provoz v bezodrazové stíněné komoře. Po ověření výrobcí deklarovaných parametrů byly podrobeny zkouškám zaměřeným na stanovení emisí elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i prostřednictvím vyzařování. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle základní normy ČSN EN 55016 a kmenové normy ČSN EN 61000-6-3. Na základě získaných výsledků bylo konstatováno, že upravený zdroj PSACH 04244 vyhovuje požadavkům kladeným normou ČSN EN 61000-6-3 a je vhodný pro napájení kamery určené pro provoz v komoře. Naopak zdroj LRS-35-12 od společnosti MEAN WELL nesplnil maximální přípustné limity elektromagnetického rušení šířeného po napájecím i výstupním vedení. Rovněž nesplnil maximální meze stanovené pro rušení způsobené elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole šířeného jeho krytem čili vyzařováním. To by mohlo mít negativní vliv na probíhající měření a testy v rámci komory. Z těchto důvodů byly na vstupní i výstupní svorky zdroje dodatečně nainstalovány odrušovací filtry. Na vstupní svorky byl použit síťový filtr FILTANA - TSK 6415 a na výstupní byl navržen a zrealizován pasivní LC filtr typu dolní propust 2. řádu. Na základě opakovaných měření bylo konstatováno, že upravená konstrukce zdroje LRS-35-12 vyhovuje z pohledu normy ČSN EN 61000-6-3. Oba zdroje byly nainstalovány do rozvaděče, který se nachází pod stíněnou podlahou komory, a napájeny z rozvodů elektrické sítě nízkého napětí komory, tj. 230 V/50 Hz. Součástí instalace bylo i napájecí vedení pro kameru a převodník, které bylo řešeno stíněnými kabely.

Dále byla vybudována přenosová optická trasa propojující oba převodníky. Optická trasa ukončená optickými boxy byla podrobena kontrolnímu měření s cílem stanovit její vložený útlum a zjistit případné poruchy použitých vláken. K tomu účelu byla použita metoda optické reflektometrie v časové oblasti čili OTDR. Volná optická vlákna lze použít k řízení zkoušených zařízení během testů

na elektromagnetickou odolnost, které je nyní realizováno pomocí kabelu UTP. To může být příčinou přenosu rušivých signálů, např. z rádiových pozemních vysílačů nacházejících se v blízkosti komory. Následně byla zrealizována i TP kabeláž pro připojení převodníku nacházejícího se mimo komoru do lokální počítačové sítě a rovněž pro připojení kamery k převodníku uvnitř komory. U zhotovených přímých UTP kabelů byla provedena kontrola správného zapojení vodičů prostřednictvím kvalifikačního testeru.

Součástí práce je i postup konfigurace kamery, včetně příslušného ovládacího softwaru LILIN Navigator Control Center 2.0. Kamera byla připojena do lokální počítačové sítě, která používá neveřejné IP adresy a není tedy dostupná pro sledování z Internetu.

Zprovozněný kamerový systém byl měřen za účelem stanovení elektromagnetického rušení, které se šíří vyzařováním, tj. jeho krytem. Měření probíhalo podle výše uvedených norem bez stínícího krytu a v zapojení, které odpovídalo jeho běžné provozní konfiguraci. Na základě výsledků z měření bylo konstatováno, že kamerový systém nesplňoval požadavky kladené normou ČSN EN 61000-6-3. Jednalo se o maximální přípustné meze stanovené pro rušení způsobené elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole šířícího se krytem kamerového systému do prostoru komory. Byla doporučena jeho instalace do stínícího krytu.

Stávající konfigurace kamerového systému byla podrobena i zkouškám zaměřeným na elektromagnetickou odolnost vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím, které byly provedeny podle normy ČSN EN 61000-4-3. Během testování se neprojevovalo žádné významné nebo viditelné rušení na obraze z kamery a nedošlo ani k ovlivnění funkčnosti zařízení. Na základě kvalitativního posouzení funkčnosti kamerového systému bylo dále konstatováno, že jeho konstrukce je po stránce elektromagnetické odolnosti vhodná pro provoz ve specifickém elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory. Nutno poznamenat, že u zkoušeného systému nebyla stanovena mez odolnosti. Z tohoto důvodu, a vzhledem k povaze prováděných měření v rámci komory, byla rovněž doporučena instalace kamerového systému do stínícího krytu. Cílem bylo zajištění provozu i v silných elektromagnetických polích, které mohou dosahovat vyšších intenzit než u prováděných zkoušek.

Po instalaci kamerového systému do stínícího krytu bylo opakováno měření elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním. Z dosažených výsledků vyplynulo, že v tomto případě byly splněny požadavky kladené normou ČSN EN 61000-6-3 a z odolného kamerový systém je vhodný pro provoz v komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S. Dále je stínicí kryt z pohledu elektromagnetické stínící účinnosti dostatečný a nevyžadoval dodatečnou instalaci absorpčního materiálu na vnitřní stěny krytu. Výsledná hodnota stínící účinnosti krytu nebyla stanovena. Lze pouze konstatovat, že pro frekvenční pásmo od 200 MHz do 3 GHz dosahuje stínící účinnost krytu hodnoty 54 dB a vyšší.

Výstup z této práce poslouží konstruktérům jako výchozí předloha k realizaci obdobných stínících krytů, a to minimálně z konstrukčního hlediska.

V současné době je zodolněný kamerový systém využíván pro monitorování měřicího pracoviště uvnitř komory i pro sledování zobrazovacích systémů testovaných na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery lze stanovit jejich mez elektromagnetické odolnosti. Kamerový systém je schopen provozu i v silných elektromagnetických polích, která jsou generována během těchto zkoušek.

6. ZÁVĚR

Bezodrazová stíněná komora FRANKONIA SAC - 3 Plus S, která je součástí Vědeckotechnického parku Informační a komunikační technologie při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, nebyla vybavena žádným monitorovacím systémem a vzhledem k její konstrukci neexistoval ani žádný jiný způsob, který by umožňoval obsluze komory sledovat probíhající měření. Nutnost řešení kamerového systému je zřejmá z úvodu práce. Cílem práce byl návrh, realizace a zprovoznění zodolněného kamerového systému, který by nejen z bezpečnostních důvodů monitoroval měřicí pracoviště uvnitř komory, ale také sloužil ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery lze pak stanovit i mez elektromagnetické odolnosti například u zobrazovacích systémů. Kamerový systém musel být schopen provozu v silných elektromagnetických polích, která jsou generována během uvedených zkoušek na elektromagnetickou odolnost nebo samotným zařízením při měření elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzařováním. V souvislosti s rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu se v rámci komory provádí i ověřovací měření vyzařovacích charakteristik antén a přístupových bodů. Současně bylo nutné zamezit nežádoucímu šíření rušivých signálů z kamerového systému. Rušení by mohlo mít negativní vliv na uvedená citlivá měření a testy prováděné podle příslušných norem a standardů platných pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Jediným účinným řešením byl elektromagneticky stínící kryt.

Z výsledků předložené disertační práce vyplynulo, že zodolněný kamerový systém je vhodný pro provoz v bezodrazové stíněné komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S. Stínící kryt je z pohledu elektromagnetické stínící účinnosti dostatečný, ale nutno poznamenat, že výsledná hodnota stínící účinnosti krytu nebyla stanovena. Důvodem byla nízká citlivost použité sondy elektrického pole. Výběr sondy byl limitován vnitřními rozměry krytu a především průchodných vlnovodů, které neumožňují do stínícího krytu zavést libovolné kabelové připojení, resp. jakoukoliv měřicí sondu. Z dosažených výsledků, lze pouze konstatovat, že pro frekvenční pásmo od 200 MHz do 3 GHz dosahuje stínící

účinnost krytu hodnoty 54 dB a vyšší. Během tohoto měření se ukázalo, že stanovit stínící účinnost u krytů malých rozměrů pomocí měřicího vybavení, běžně dostupného v rámci EMC laboratoří, je technicky složité realizovat.

Z uvedeného vyplývá nutná realizace konstrukce nových senzorů elektromagnetického pole, které by umožňovaly měření stínící účinnosti krytů malých rozměrů. Jedná se o specifické řešení, které musí uvažovat i kompatibilitu s řídicím softwarem používaným v EMC laboratořích. Doporučuji tedy, aby se v započaté práci dále pokračovalo směrem k vývoji doposud neexistující metody pro měření stínící účinnosti u krytů malých rozměrů.

Z literární rešerše provedené v této práci se ukázal rozpor mezi požadavky na řešení problematiky, zabývající se elektromagnetickým rušením nebo odolností, které jsou kladeny ze strany akademického prostředí a průmyslové praxe. Akademická sféra je orientována na množství publikací, a proto upřednostňuje výzkumné aktivity převážně zaměřené na měření elektromagnetického rušení. Získané výstupy podložené měřením se jednoznačně, a tím i snadněji, popisují. S uvedeným souvisí i vyšší publikační činnost. Oproti tomu časopisecké články, orientované na elektromagnetickou odolnost, se vyskytují jen zřídka. Výstupy z této oblasti bádání jsou hůře popsatelné a nejsou tedy pro akademické prostředí až tak atraktivní. Přitom je elektromagnetická odolnost žádanější, a to nejen v oblasti průmyslu, ale všude, kde na používané elektronické systémy působí různé zdroje elektromagnetického rušení. V dnešní době jejich rychlého rozvoje je čím dál problematičtější zajištění elektromagnetické odolnosti a tím i funkční spolehlivost těchto systémů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SKOČÍK, Petr. *Vliv malých poruch na elektromagnetickou stínicí účinnost kompozitních materiálů*. Zlín, 2011. Pojednání o disertační práci ke státní doktorské zkoušce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [2] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006. ISBN 0-471-75500-1.
- [3] CELOZZI, Salvatore, Rodolfo ARANEO a Giampiero LOVAT. *Electromagnetic shielding*. Hoboken, N.J.: IEEE Press, 2008. ISBN 978-0-470-05536-6.
- [4] SENGUPTA, Dipak L. a Valdis V. LIEPA. *Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006. ISBN 0-471-16549-2.
- [5] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility: přednášky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1573-8.
- [6] DAWSON, John F, Andy C MARVIN, Martin P ROBINSON a Ian D FLINTOFT. On the Meaning of Enclosure Shielding Effectiveness. In: *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)* [online]. IEEE, 2018, s. 746-751 [cit. 2019-12-12]. DOI: 10.1109/EMCEurope.2018.8485121. ISBN 978-1-4673-9698-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8485121/>
- [7] WANG, Quandi, Leilei ZHU, Bin LEE a Fingling HAN. A Hybrid Method for the Calculation of Radiation Field from Opening in Shielding Enclosure. In: *TENCON 2005 - 2005 IEEE Region 10 Conference* [online]. IEEE, 2005, s. 1-4 [cit. 2019-12-12]. DOI: 10.1109/TENCON.2005.300944. ISBN 0-7803-9312-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4085209/>
- [8] OLYSLAGER, F., E. LAERMANS, D. DE ZUTTER, S. CRIEL, R. DE SMEDT, N. LIETAERT a A. DE CLERCQ. Numerical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 1999, **41**(3), 202-213 [cit. 2019-12-12]. DOI: 10.1109/15.784155. ISSN 00189375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/784155/>
- [9] BHUVANESWARI, S., S. MANIVANNAN a Manikot ANITHA. Investigation of shielding effectiveness of enclosures with connected accessory in cables. In: *2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)* [online]. IEEE, 2016, s. 659-662 [cit. 2019-12-12].

DOI: 10.1109/ICCICCT.2016.7988033. ISBN 978-1-5090-5240-0.
Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7988033/>

- [10] KESHTKAR, Asghar, Amir MAGHOUL, Ali KALANTARNIA a Hamid HASHEMPOUR. Simulation of Shielding Effectiveness in Low Frequencies for Conductive Enclosure. In: *2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering* [online]. IEEE, 2009, s. 372-377 [cit. 2019-12-12]. DOI: 10.1109/ICCEE.2009.250. ISBN 978-1-4244-5365-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5380455/>
- [11] MARVIN, A.C., J.F. DAWSON, S. WARD, L. DAWSON, J. CLEGG a A. WEISSENFELD. A Proposed New Definition and Measurement of the Shielding Effect of Equipment Enclosures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2004, **46**(3), 459-468 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2004.831901. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1325801/>
- [12] PO'AD, Farhana Ahmad, Mohd Zarar Mohd JENU, C. CHRISTOPOULOS a D.W.P. THOMAS. Estimation of Electric and Magnetic Shielding Effectiveness of a Metallic Enclosure with Apertures. In: *2006 International RF and Microwave Conference* [online]. IEEE, 2006, s. 291-295 [cit. 2019-12-12]. DOI: 10.1109/RFM.2006.331088. ISBN 0-7803-9744-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4133603/>
- [13] LI, Peng, Fu R. YANG a Wan-Ye XU. An Efficient Approach for Analyzing Shielding Effectiveness of Enclosure With Connected Accessory Based on Equivalent Dipole Modeling. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2016, **58**(1), 103-110 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2015.2496144. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7328696/>
- [14] WALLYN, W., D. DE ZUTTER a E. LAERMANS. Fast shielding effectiveness prediction for realistic rectangular enclosures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2003, **45**(4), 639-643 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2003.819063. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1245216/>
- [15] FENG, C. a Z. SHEN. A Hybrid FD–MoM Technique for Predicting Shielding Effectiveness of Metallic Enclosures With Apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2005, **47**(3), 456-462 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2005.851726. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1516216/>
- [16] DEHKHODA, Parisa, Ahad TAVAKOLI a Rouzbeh MOINI. An Efficient and Reliable Shielding Effectiveness Evaluation of a Rectangular Enclosure With Numerous Apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2008, **50**(1), 208-212 [cit. 2019-

- 12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2007.911922. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4428272/>
- [17] NIE, Bao-Lin, Ping-An DU, Ya-Ting YU a Zheng SHI. Study of the Shielding Properties of Enclosures With Apertures at Higher Frequencies Using the Transmission-Line Modeling Method. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2011, **53**(1), 73-81 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2010.2047398. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5618558/>
- [18] DEHKHODA, Parisa, Ahad TAVAKOLI a Mohammad AZADIFAR. Shielding Effectiveness of an Enclosure With Finite Wall Thickness and Perforated Opposing Walls at Oblique Incidence and Arbitrary Polarization by GMMoM. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2012, **54**(4), 792-805 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2012.2188855. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6172663/>
- [19] LIU, Enbo, Ping-An DU, Wenkui LIU a Dan REN. Accuracy Analysis of Shielding Effectiveness of Enclosures With Apertures: A Parametric Study. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2014, **56**(6), 1396-1403 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2014.2333520. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6855324>
- [20] NIE, Bao-Lin a Ping-An DU. An Efficient and Reliable Circuit Model for the Shielding Effectiveness Prediction of an Enclosure With an Aperture. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2015, **57**(3), 357-364 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2014.2383438. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7003981/>
- [21] MOHAMMADI, Ershad, Parisa DEHKHODA, Ahad TAVAKOLI a Babak HONARBAKHS. Shielding Effectiveness of a Metallic Perforated Enclosure by Mesh-Free Method. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2016, **58**(3), 758-765 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2016.2526662. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7420683/>
- [22] REN, Dan, Ping-An DU, Yin HE, Ke CHEN, Jing-Wen LUO a David G MICHELSON. A Fast Calculation Approach for the Shielding Effectiveness of an Enclosure With Numerous Small Apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2016, **58**(4), 1033-1041 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2016.2547739. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7450659/>

- [23] RABAT, Amelie, Pierre BONNET, Khalil El Khamlichi DRISSI a Sebastien GIRARD. Analytical Formulation for Shielding Effectiveness of a Lossy Enclosure Containing Apertures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2018, **60**(5), 1384-1392 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2017.2764327. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8094258/>
- [24] KLINKENBUSCH, L. On the Shielding Effectiveness of Enclosures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2005, **47**(3), 589-601 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1109/TEMC.2005.853162. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1516231/>
- [25] *ASTM D4935 - 18, Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*. West Conshohocken: ASTM International, 2018.
- [26] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1: Návrh kamerového systému pro bezodrazovou stíněnou komoru	11
Obr. 4.2: Návrh konstrukce stínicího krytu pro kamerový systém	12
Obr. 4.3: Stínicí kryt SK – V1 a zodolněný kamerový systém	12
Obr. 4.4: Elektromagnetická stínicí účinnost vybraných materiálů	14
Obr. 4.5: Úroveň intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole ..	16
Obr. 4.6: Elektromagnetická stínicí účinnost krytu SK – V1	17
Obr. 4.7: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s vertikální polarizací antény a MP detektorem	19
Obr. 4.8: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s horizontální polarizací antény a MP detektorem	20
Obr. 4.9: Obraz kamery při intenzitě elektrického pole 30 V/m, frekvenci 815 MHz a vertikální polarizací vysílací antény	22
Obr. 4.10: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zodolněného	24
Obr. 4.11: Elektromagnetické pozadí bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S	25

SEZNAM ZKRATEK A JEJICH VÝZNAM

ZKRATKA	VÝZNAM
AC	Střídavý proud (Alternate Current)
AISI	Americký institut pro železa a oceli (American Iron and Steel Institute)
AR	Název společnosti (Amplifier Research)
ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály (American Society for Testing and Materials)
CEBIA-Tech	Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)
EMC	Elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility)
EN	Evropská norma (European Standard)
FO	Optické vlákno (Fiber Optic)
IP	Základní protokol používaný v počítačových sítích a Internetu (Internet Protocol)
LAN	Lokální počítačová síť (Local Area Network)
MP	Maximální hodnota (Max-Peak)
OTDR	Metoda optické reflektometrie v časové oblasti (Optical Time Domain Reflectometry)
QP	Kvazivrcholová hodnota (Quasi-Peak)
R&S	Název společnosti (Rohde & Schwarz)
SK – V1	Stínící kryt – verze 1
STP	Stíněná kroucená dvojlinka (Shielded Twisted Pair)
TEM	Příčně elektromagnetická vlna (Transverse electromagnetic mode)
TP	Kroucená dvojlinka (Twisted Pair)
UTB	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

UTP	Nestíněná kroucená dvojlinka (Unshielded Twisted Pair)
VTP-ICT	Vědeckotechnický park Informační a komunikační technologie při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně

PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

- [1] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Přehled senzorů pro měření teplot. In *VŠB - TU Ostrava, TANGER s.r.o. Ostrava (Měření a regulace teplot v teorii a praxi)*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005, s. 1-21. ISBN 80-86840-12-3.
- [2] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Analog measurement of electric effective power/Indirect measuring of machinability. In *Process Control 2005*. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2005, s. 167-174. ISBN 80-227-2235-9.
- [3] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Computer system of data retrieval in the industrial interiors. In *Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna "Komputer w ochronie środowiska"*. Poznaň : University Poznaň, 2005, s. 175-181. ISBN 83-60055-07-6.
- [4] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Studium a výuka senzorik na IŘPI. In *Sekel 2005*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005, CD. ISBN 80-7318-346-3.
- [5] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Measurement and Acquisition in Industrial Interiors. In *Proceedings of the 16th International DAAAM Symposium*, Vienna, 2005, s. 353-354. ISBN 3-901509-46-1.
- [6] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Reconstruction of measure device of Electric Effective Power. In *7th International Carpathian Control Conference*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006, s. 517-520.
- [7] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Laboratory Experiment System of Levels in Tanks. In *of 7th International Scientific - Technical Conference - PROCESS CONTROL 2006*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006, CD.
- [8] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Measurement of Stratified Temperature in Industrial Interiors. In *10th International Research/Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology“*. Barcelona : Bahcesehir University Istanbul, 2006, s. 985-988.

- [9] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Measurements of Very Low Power Electric Energy. In *7th International Conference CPHS '06*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006, CD.
- [10] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Výuka senzorů v laboratorních cvičení na FAI. In *Proceedings of the 16th International Conference on Process Control'07*. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2007, s. 146-1 - 146-8. ISBN 978-80-227-2677-1.
- [11] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Vyhodnocení výsledků reálných měření ze stratifikace teplot. In *VŠB - TU Ostrava, TANGER s.r.o. Ostrava (Měření a regulace teplot v teorii a praxi)*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, s. 28 - 33.
- [12] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Sensory v laboratořích Technických prostředků automatizace na FAI. In *Sborník příspěvků ze setkání SEKEL 2007*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2007, CD.
- [13] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Measurement of Force in Biaxial Area. In *Proceedings the 8th International Scientific - Technical Conference Process Control 2008*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2008, s. 199. ISBN 978-80-7395-077-4.
- [14] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. New Findings Obtained from Measurement of the Small Electric Input Power. In *Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium Intelligent Manufacturing and Automation: Focus on Theory, Practice and Education*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2009, s. 1321-1322. ISSN 1726-9679.
- [15] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. New Aspects of Small Electric Input Power Measurement. In *17th International Conference on Process Control '09*. Bratislava : STU v Bratislavě, 2009, s. 259-262. ISBN 978-80-227-3081-5.
- [16] SKOČÍK, Petr, HRUŠKA, František. Nové aspekty měření malých elektrických příkonů. In *Mezinárodní konference učitelů elektrotechniky*. Brno : VUT Brno, 2009, s. 170-173. ISBN 978-80-214-3934-4.
- [17] PÁLKA, Jiří, SKOČÍK, Petr. Non-Contact Two-Dimensional Area Temperature Measurement. In *Měření a regulace teplot v teorii a praxi*. Ostrava : Tanger spol. s r.o., 2009, s. 59-63. ISBN 978-80-87294-02-4.
- [18] SKOČÍK, Petr. Embedded System for Measurement of Small Electric Input Power. In *Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Interdisciplinary Solutions"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2010, s. 135-136. ISBN 978-3-901509-73-5.

- [19] NAVRÁTIL, Milan, SKOČÍK, Petr, KRČMÁŘ, Jakub. Návrh zařízení pro měření přechodových jevů na RC soustavách. In *International Conference Czech and Slovak Teachers of Electrical Engineering and Computer Science SEKEL 2011 - Green..* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011, s. 79-81. ISBN 978-80-248-2451-2.
- [20] SKOČÍK, Petr, NEUMANN, Petr. Circuit design for measurement of force in biaxial area. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 103-104. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.
- [21] SKOČÍK, Petr, GOŇA, Stanislav, KŘESÁLEK, Vojtěch. Fullwave Modelling of Shielding Effectiveness of Metalized Textiles. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 101-102. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.
- [22] NEUMANN, Petr, ADÁMEK, Milan, SKOČÍK, Petr. Counterfeit Electronic Components Detection Possibilities. In *Recent Researches in Automatic Control*. Montreux : WSEAS Press, 2011, s. 185-188. ISBN 978-1-61804-004-6.
- [23] NEUMANN, Petr, ADÁMEK, Milan, SKOČÍK, Petr. How Can V-I Characteristics Help in Counterfeit Component Detection. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 0057-0058. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.
- [24] NEUMANN, Petr, ADÁMEK, Milan, SKOČÍK, Petr. Možnosti detekce padělků elektronických součástek. In *Bezpečnostní technologie, systémy a management 2011*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, s. 1-12. ISBN 978-80-7454-111-7.
- [25] NEUMANN, Petr, ADÁMEK, Milan, SKOČÍK, Petr. The counterfeit components V-I characteristics difference study. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 2012, roč. 11, č. 8, s. 259-271. ISSN 1109-2734.
- [26] NEUMANN, Petr, POSPÍŠILÍK, Martin, SKOČÍK, Petr, ADÁMEK, Milan. The I-V Characteristic Comparison Method in Electronic Component Diagnostics. In *XX IMEKO World Congress*. Busan : IMEKO, 2012, s. N. ISBN 978-89-950000-5-2.

- [27] NEUMANN, Petr, POSPÍŠILÍK, Martin, SKOČÍK, Petr. Analogue Signature Analysis And Electronic Component Authenticity Recognition. In *Recent Advances in Systems Science*. Rhodes Island : WSEAS Press, 2013, s. 149-154. ISSN 1790-5117. ISBN 978-960-474-314-8.
- [28] SKOČÍK, Petr, NEUMANN, Petr. Industrial Process in Laboratory Environment - Liquid Levels in Tanks. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Process Control, PC 2013*. New York : IEEE, 2013, s. 320-323. ISBN 978-1-4799-0927-8.
- [29] NEUMANN, Petr, ADÁMEK, Milan, SKOČÍK, Petr. Component Package Decapsulation Process With Analogue Signature Analysis Support. In *Proceedings of the 14th International Conference on Robotics, Control and Manufacturing Technology*. Penang : WSEAS press, 2014, s. 112-117. ISSN 1790-5117. ISBN 978-960-474-371-1.
- [30] SKOČÍK, Petr, NEUMANN, Petr. Measurement of complex permittivity in free space. In *Procedia Engineering*. Amsterdam : Elsevier BV, 2015, s. 100-104. ISSN 1877-7058.
- [31] NEUMANN, Petr, HOUSER, Josef, POSPÍŠILÍK, Martin, SKOČÍK, Petr, ADÁMEK, Milan. Some Methods for Electronic Component Authenticity Assessment. In *Annals of DAAAM International for 2015, Volume 26*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2015, s. n. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-06-8.
- [32] SKOČÍK, Petr, KORBEL, Jiří, NEUMANN, Petr. Design and Implementation of Lenses for Shaping the Beam of Millimeter Waves in Free Space. In *Annals of DAAAM International for 2015, Volume 26*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2015, s. 27-34. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-06-8.
- [33] SKOČÍK, Petr, KORBEL, Jiří. Assessment of Shielding Effectiveness and Percolation Threshold of Composite Materials. In *Annals of DAAAM International 2017, Volume 28*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2017, s. 54-62. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-14-3.
- [34] SKOČÍK, Petr. Functionality Verification of the Deformation Units for Measurement of Wind Speed and Direction. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2018, s. 0056-0060. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-902734-20-4.

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

Osobní údaje

Jméno: Ing. Petr Skočík
Datum narození: 5. říjen 1980
E-mail: skocik [at] utb.cz

Vzdělání

2012 – dosud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky,
Obor: Automatické řízení a informatika, Ph.D.

2004 – 2012 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky,
Obor: Technická kybernetika, Ph.D.
(Změna studijního oboru z důvodu jeho ukončení)

1999 – 2004 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta technologická,
Obor: Automatizace a řídicí technika ve spotřebním průmyslu, Ing.

Průběh zaměstnání

2010 – dosud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky,
Ústav elektroniky a měření, asistent a tajemník ústavu.

2008 – 2010 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
Fakulta aplikované informatiky,
Ústav elektrotechniky a měření, asistent a tajemník ústavu.

Pedagogická činnost na UTB ve Zlíně

Cvičení a semináře Elektrotechnika a průmyslová elektronika
Mikroelektronika
Technické prostředky automatizace
Senzory

Vědeckovýzkumné aktivity

- 2019 – dosud Strategický projekt Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_015/0002204 – Tvorba cvičení, seminářů a přednášek.
- 2017 Institucionální program Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. FAI4A/2017 – Modernizace a rozšíření laboratoří pro experimentální výuku senzorů, řešitel.
- 2014 Institucionální program Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně – Aplikovaná optika ve forenzních vědách a EMC bezpečnostních systémů, spoluřešitel.
- 2012 Fond rozvoje vysokých škol č. 2477/2012 – Modernizace a rozšíření laboratoří informačních systémů a počítačových sítí, spoluřešitel.
- 2009 Cesnet č. 352R1/2009 – Rozšíření pokrytí bezdrátovou sítí na budově Fakulty aplikované informatiky, spoluřešitel.
- 2009 Ministerstvo průmyslu a obchodu č. FT-TA4/043 – Analytický výzkum ohrožení v elektromagneticky integrovaných soustavách „ARTEMIS“, spoluřešitel.
- 2005 Fondu rozvoje vysokých škol č. 663/2005/A/a – Laboratoře integrované automatizace „LABI“, projektový návrh úloh DE8 a DE9.

Odborné zájmy

Studium nových přístupů v oblasti senzorů pro systémy automatizace a informatiky.

Vliv malých poruch na elektromagnetickou stínicí účinnost kompozitních materiálů.

Měření komplexní permitivity materiálů ve volném prostoru pro oblast mm vln

Ing. Petr Skočík, Ph.D.

**Zodolněný kamerový systém určený pro provoz
v bezodrazových stíněných komorách**

Resistant Camera System Designed for Operation
in Anechoic Shielded Chambers

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Pořadí vydání: první

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Petr Skočík

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2020

ISBN 978-80-7454-974-8

