

Disertační práce

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

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

Autor: **Ing. Petr Skočík**

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

Školitel: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, 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.

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.....	7
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	8
3. CÍLE PRÁCE.....	11
4. BEZODRAZOVÁ STÍNĚNÁ KOMORA FRANKONIA SAC - 3 PLUS.....	13
4.1 Technické parametry komory Frankonia SAC - 3 Plus S.....	14
4.1.1 Dveřní systém komory	18
4.1.2 Penetrační panely komory.....	19
4.1.3 Odvětrávací otvory komory	20
4.1.4 Stojanová konstrukce pro anténní měření.....	21
4.1.5 Otočná základna komory a pracovní stůl.....	22
4.1.6 Řídicí systém pro ovládání anténního stojanu a točny.....	23
4.2 Přístrojové a softwarové vybavení měřicího pracoviště.....	24
4.2.1 Měřicí software R&S EMC32.....	26
4.2.2 Přístrojové vybavení pro měření elektromagnetického rušení	27
4.2.3 Přístrojové vybavení pro testování elektromagnetické odolnosti	35
5. KAMEROVÝ SYSTÉM PRO BEZODRAZOVOU STÍNĚNOU KOMORU.....	44
5.1 IP kamera MERIT LILIN IPS5184S	45
6. NÁVRH A REALIZACE ZODOLNĚNÉ KONSTRUKCE KAMEROVÉHO SYSTÉMU PRO BEZODRAZOVOU STÍNĚNOU KOMORU.....	47
6.1 Návrh stínicího krytu pro kamerový systém.....	50
6.1.1 Výběr vhodného materiálu a spojovací technologie na SK – V1	50
6.1.2 Návrh otvorů pro napájecí a datové vedení kamerového systému	52
6.1.3 Návrh průhledu, chlazení a přístupu pro kamerový systém.....	54
6.1.4 Vliv technických tkanin na kvalitu obrazu z kamery.....	58
6.1.5 Elektromagnetická stínicí účinnost vybraných materiálů na SK – V1	62
6.1.6 Návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1	65
6.2 Realizace konstrukce pro kamerový systém.....	66
6.3 Návrh napájecí části kamerového systému.....	69
6.3.1 Návrh napájení pro převodník AT-MC102XL	69
6.3.2 Návrh napájení pro kameru MERIT LILIN – IPS5184S.....	71

6.4	Realizace napájecí části kamerového systému	71
6.4.1	Realizace napájecího zdroje pro převodník AT-MC102XL.....	71
6.4.2	Realizace napájecího zdroje pro kameru MERIT LILIN-IPS5184S	75
7.	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAPÁJECÍ ČÁSTI KAMEROVÉHO SYSTÉMU... ..	78
7.1	Napájecí zdroj pro převodník AT-MC102XL	78
7.1.1	Ověření výstupních parametrů zdroje LRS-35-12.....	78
7.1.2	Elektromagnetické rušení zdroje LRS-35-12 šířené po vedení	85
7.1.3	Elektromagnetické rušení zdroje LRS-35-12 šířené vyzařováním	94
7.2	Napájecí zdroj pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S	97
7.2.1	Ověření výstupních parametrů zdroje PSACH 04244	98
7.2.2	Elektromagnetické rušení zdroje PSACH 04244 šířené po vedení	104
7.2.3	Elektromagnetické rušení vyzařováním zdroje PSACH 04244.....	112
8.	ÚPRAVA A OVĚŘENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE PRO PŘEVODNÍK AT-MC102XL	114
8.1	Úprava konstrukce zdroje LRS-35-12	115
8.1.1	Realizace a instalace LC filtru	116
8.1.2	Ověření funkčnosti LC filtru.....	120
8.2	Ověření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12	124
8.2.1	Elektromagnetické rušení zdroje šířené po vedení	124
8.2.2	Elektromagnetické rušení zdroje šířené vyzařováním	131
9.	PŘIPOJENÍ KAMEROVÉHO SYSTÉMU DO POČÍTAČOVÉ SÍTĚ.....	133
10.	ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ A ODOLNOST KAMEROVÉHO SYSTÉMU	135
10.1	Elektromagnetické rušení kamerového systému šířené vyzařováním	136
10.2	Elektromagnetická odolnost kamerového systému	139
11.	INSTALACE KAMEROVÉHO SYSTÉMU DO STÍNÍCÍHO KRYTU.....	142
12.	ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ ZODOLNĚNÉHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU ŠÍŘENÉ VYZAŘOVÁNÍM.....	145
13.	STÍNÍCÍ ÚČINNOST KRYTU SK – V1.....	148
14.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU A REALIZACE ZODOLNĚNÉHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU.....	152
15.	PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI	153

16. ZÁVĚR.....	158
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	160
SEZNAM OBRÁZKŮ	169
SEZNAM TABULEK.....	172
SEZNAM ZKRATEK A JEJICH VÝZNAM	173
SEZNAM PŘÍLOH	177
PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA.....	225
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA.....	235

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 kompletačí 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 zodolněné 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] 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 trenážér. 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.

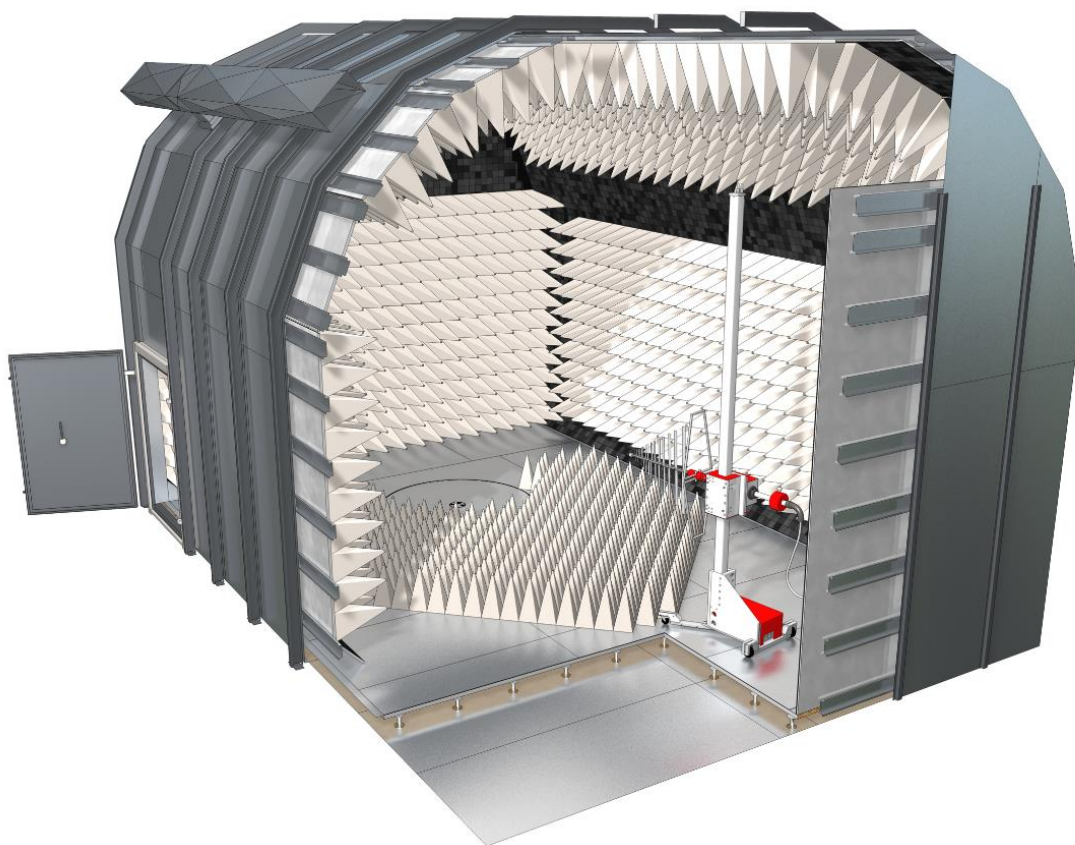
Hlavním cílem disertační práce je návrh, realizace a zprovoznění zodolněného kamerového systému, který by nejen z bezpečnostních důvodů monitoroval měřicí pracoviště uvnitř bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC - 3 Plus S, ale také sloužil ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou 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:
 - Stínící 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. BEZODRAZOVÁ STÍNĚNÁ KOMORA FRANKONIA SAC - 3 PLUS

Jak vyplývá z kap. 2, existuje technické řešení, které odstíní všude přítomná elektromagnetická pole a současně zabrání i nežádoucím odrazům energie vyzařované, např. během anténního měření a tím je bezodrazová stíněná komora. Tímto specializovaným pracovištěm, včetně citlivého měřicího systému a odpovídajícího přístrojového zařízení, je vybaveno i VTP - ICT při UTB ve Zlíně, viz kap. 1. Jedná se o komoru SAC – 3 Plus o velikosti S od společnosti FRANKONIA, která patří v oblasti projektování testovacích pracovišť na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) mezi světovou špičku. Konkrétním dodavatelem komory byla společnost TECTRA, a.s., která zastupuje uvedeného výrobce v rámci ČR. Komoru z řady SAC – 3 Plus, resp. její 3D model s částečným řezem, lze vidět na Obr. 4.1. Její integrace do prostor budovy VTP - ICT je pak patrná z náhledu zobrazeného na Obr. 4.2.



Obr. 4.1: Bezodrazová stíněná komora Frankonia SAC – 3 Plus [25]

Pracoviště slouží pro výzkumné účely univerzity zaměřené na EMC a smluvní výzkum převážně orientovaný na předcertifikační měření elektronických zařízení, které probíhá ještě před zahájením jejich sériové výroby a uvedením na trh, jak již bylo zmíněno v kap. 1. Měření jsou zaměřena na obě oblasti EMC, konkrétně

na měření elektromagnetického rušení čili interference (EMI) šířeného po vedení i vyzařováním a na testování elektromagnetické odolnosti neboli susceptibility (EMS) vůči rušivým vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Dále v souvislosti s neustálým rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu jsou prováděna i měření za účelem ověření vyzařovacích charakteristik antén a přístupových bodů. Měření probíhá podle příslušných norem a standardů určených pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. S tím jsou spojeny i úpravy měřicího pracoviště, v tomto případě se jedná o změnu výchozí konfigurace komory z částečně bezodrazové (semianechoické) na plně bezodrazovou (anechoickou) a naopak, viz kap. 4.1. Tato změna je realizována prostřednictvím absorpčního materiálu, konkrétně plně bezodrazová komora vzniká jeho dodatečnou instalací na podlahu komory, viz Obr. 4.1.



Obr. 4.2: Náhled na VTP - ICT a vnější plášť komory Frankonia SAC - 3 Plus S

Na Obr. 4.2 se nachází náhled na budovu vědeckotechnického parku a vnější plášť dómu komory, která tvoří architektonickou dominantu celého parku. Podrobnější technické parametry komory, včetně jejího systémového a přístrojového vybavení, jsou popsány v kap. 4.1 a 4.2.

4.1 Technické parametry komory Frankonia SAC - 3 Plus S

Společnost Frankonia navrhuje stíněné a bezodrazové komory na základě modulárních konstrukčních systémů. Používá tedy vysoce kvalitní prefabrikované stínicí panely, které zaručují maximální rozměrovou flexibilitu a snadnější manipulaci při samotné konstrukci komor. Typové stínicí panely jsou vyrobeny z pozinkované oceli o tloušťce 2 mm. Moduly panelů jsou standardně instalovány

zevnitř komory na statickou nebo samonosnou ocelovou konstrukci a vzniklé spoje jsou utěsněny vysoce vodivým těsněním. To také usnadňuje jejich montáž podél nosných stěn komory a zajišťuje dostatečné stínění i okolo vznikajících spojů. Při montáži nejsou použity žádné lepidla ani spoje pomocí sváření, ale pouze šroubové spoje utažené s přesným krouticím momentem. Tím je zajištěna snadná údržba a případná úprava komory do budoucna [26].

Stíněná komora třídy SAC - 3 Plus o velikosti S patří svou výchozí konfigurací mezi částečně bezodrazové komory. Komoru lze rozšířit i na plně bezodrazovou konfiguraci, jak již bylo popsáno v kap. 4. Celkové rozměry komory jsou 8,5 x 6,5 x 6,0 m, tj. d x š x v. Jedná se o cenově efektivní a současně výkonné řešení určené k testování EMC. Testovací, resp. měřicí vzdálenost mezi zkoušeným zařízením a měřicí anténou, která je platná pro EMI i EMS, je 3 m. Frekvenční pásmo komory je 26 MHz až 18 GHz a výrobcem stanovená elektromagnetická stínicí účinnost komory je ≥ 80 dB, která platí pro frekvenci 1 GHz. Inovativní řešení tvaru střechy, resp. dómu, který je polokruhový s klenutým stropem, viz Obr. 4.1, Obr. 4.2, a optimalizované uspořádání absorbérů kombinujících feritové absorpční vložky (F006) i hybridní absorbéry (H600, H1000) vedou k minimálním vnitřním odrazům při anténních měřeních. Feritové absorbéry jsou účinné pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz. Hybridní absorbéry jsou instalovány jako nadstavba na uvedené feritové absorbéry, a tím dojde k rozšíření použitelného frekvenčního rozsahu i nad 1 GHz, tj. na platné frekvenční pásmo od 30 MHz do 18 GHz. Nabízí tak z pohledu ověřovacích standardů platných pro EMI, konkrétně CISPR 16-1-4 a ANSI C63.4, vynikající vlastnosti parametrů NSA (Normalised Site Attenuation, tj. normovaný útlum pracoviště), SVSWR (Site Voltage of Standing Wave Ratio, tj. poměr napětí stojatých vln) a parametru FU (Field Uniformity, tj. homogenní pole) podle normy IEC/EN 61000-4-3 pro EMS. Uváděná odchylka pro NSA je $\pm 3,5$ dB platná pro frekvenční pásmo 30 MHz až 1 GHz, SVSWR $\pm 5,5$ dB od 1 GHz do 18 GHz a FU 0 dB/ ± 6 dB pro 75 % z 16 měřicích bodů platná pro 26 MHz až 18 GHz [26], [27].

Nutné je poznamenat, že měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení i vyzařováním probíhá uvnitř částečně bezodrazové komory a zkoušky zaměřené na elektromagnetickou odolnost vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím, včetně měření vyzařovacích charakteristik antén, jsou prováděny v plně bezodrazové komoře. Z pohledu odolnosti jsou prováděny i další skupiny testů, které probíhají na samostatném pracovišti. Níže je uveden celkový výčet skupin testů zaměřených na EMI i EMS, včetně platných frekvenčních pásem, které jsou realizovány v rámci UTB ve Zlíně [28]:

- Měření EMI a testování EMS
 - po vedení – pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 30 MHz,
 - zářením – pro frekvenční pásmo od 9 kHz do 30 MHz, tj. rušivé

jevy způsobené magnetickou složkou elektromagnetického pole a od 30 MHz do 6 GHz, tj. rušení elektrického i magnetického pole.

- Skupina testů EMI
 - měření vysokofrekvenčního rušení způsobeného průmyslovým, vědeckým a zdravotnickým zařízením podle ČSN EN 55011,
 - měření vysokofrekvenčního rušení způsobeného domácími spotřebiči, elektrickým nářadím a podobným zařízením podle ČSN EN 55014,
 - měření vysokofrekvenčního rušení způsobeného elektrickými svítilnami a podobným zařízením podle ČSN EN 55015,
 - měření vysokofrekvenčního rušení způsobeného multimediálními zařízením podle ČSN EN 55032.
- Skupina testů EMS
 - test odolnosti vůči přímému a nepřímému elektrostatickému výboji podle ČSN EN 61000-4-2,
 - test odolnosti vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím podle ČSN EN 61000-4-3,
 - test odolnosti vůči rychlým elektrickým přechodovým jevům tzv. rychlým transientům na vedení podle ČSN EN 61000-4-4,
 - test odolnosti vůči rázovým impulzům napěťového i proudového charakteru podle ČSN EN 61000-4-5,
 - test odolnosti vůči nízkofrekvenčním magnetickým polím podle ČSN EN 61000-4-9.

Nedílnou součástí uvedené konstrukce komory je i její specifické řešení vstupních dveří, odvětracích otvorů, stojanové konstrukce pro antény, otočné základny pro pracovní stůl, včetně řídicího systému pro ovládání uvedeného stojanu i základny. Bližší informace ke zmíněnému příslušenství komory jsou popsány v následujících kapitolách. V rámci elektroinstalace je řešen rozvod nízkého napětí 230 a 400 V/50 Hz a kompletní halogenové osvětlení uvnitř komory. Osvětlení, viz Obr. 4.3 vpravo dole, je konstruováno na halogenové žárovky s patičkou R7s, které nemají příliš dlouhou životnost. Podle záznamů obsluhy komory vyžadují každoroční výměnu, což je také příčinou stále se měnících světelných podmínek uvnitř komory. Popisovaný rozvod elektrického vedení je instalován pod vyvýšenou podlahou komory a opatřen vysoce výkonnými odrušovacími filtry, konkrétně B84299 od společnosti EPCOS, jak lze vidět na Obr. 4.3 vlevo.

EMC filtr je určen pro stíněné komory a provoz v elektromagnetickém prostředí. V tomto případě se jedná o konstrukci pouzdra navrženého pro přímou montáž na stěnu komory. Pouzdro je dostatečně pevné a elektromagneticky těsné. Cílem je eliminovat vnější elektromagnetické rušení a současně zabránit i nežádoucímu šíření rušení zpět do okolí. Verze B84299 obsahuje jednofázový i třífázový filtr elektrického vedení nízkého napětí, konkrétně se jmenovitými hodnotami napětí 250 a 440 V/50-60 Hz a proudu 4 x 32 A [29], viz Obr. 4.3 výrobní štítek vpravo nahoře.



Obr. 4.3: EMC filtr EPCOS – B84299 a halogenové osvětlení v komoře

Dále je řešen rozvod signálového a datového vedení pro účely měření, včetně vývodů penetračních panelů pro vnější nebo další dodatečné signálové i datové připojení. Výše zmíněná vyvýšená podlaha komory je zhotovena z kovového materiálu a současně slouží i jako umělá zemní rovina mezi zkoušeným zařízením a měřicí anténou. Tím je zajištěna konstantní hodnota činitele odrazu vlny od podlahy pro celý frekvenční rozsah měření [2], [5].

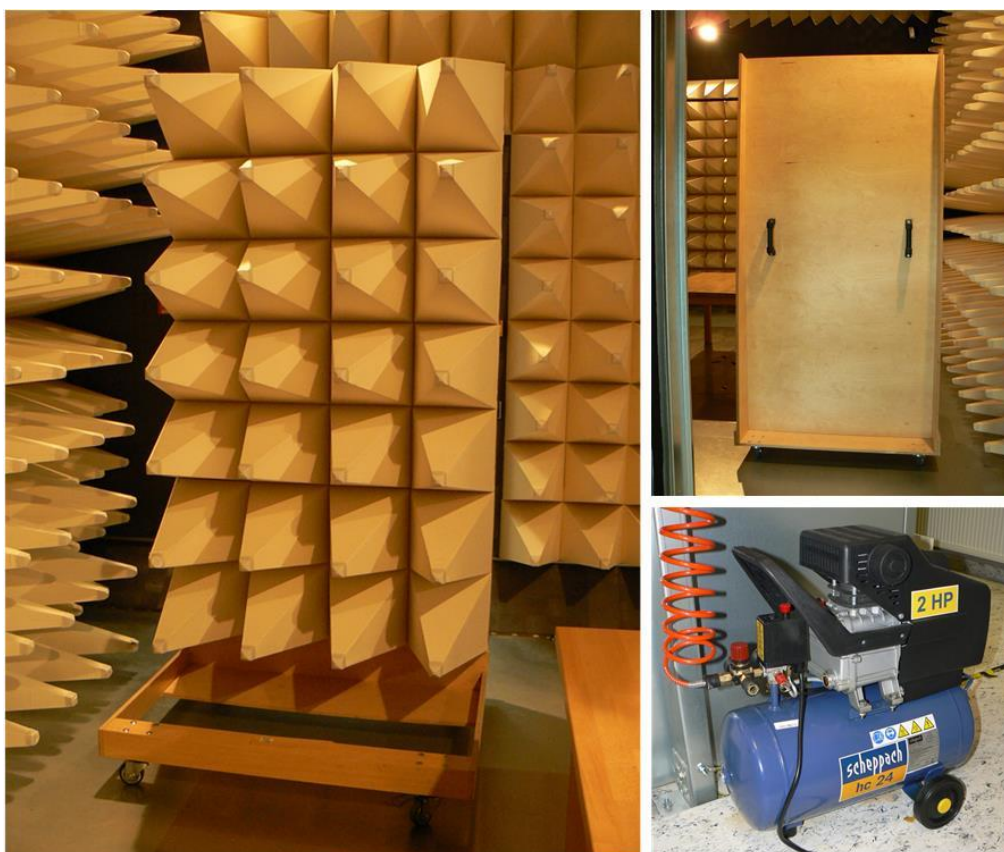
4.1.1 Dveřní systém komory

Vstupní dveře dodávané k systému SAC 3 Plus jsou jednokřídlé a trezorového typu o celkových rozměrech 1,088 x 1,968 m, tj. š x v [27]. Jejich konstrukční provedení je patrné z Obr. 4.4.



Obr. 4.4: Dveřní systém komory Frankonia SAC – 3 Plus S

Dveře i rám dveří jsou za účelem zajištění dostatečné elektromagnetické těsnosti osazeny vysoce vodivým těsněním v podobě kontaktních pružin, jak lze vidět i na Obr. 4.4 detail vpravo nahoře, tím nedochází k nežádoucímu snížení elektromagnetické stínící účinnosti celé komory. Jedná se o trojřadý nožový systém, který zaručuje stejnou stínící účinnost jako použité stínící panely uvnitř komory. Stabilitu dveřní konstrukce zajišťují dvojitě otočné závěsy, čímž se výrazně prodlužuje i životnost použitých kontaktních pružin [26]. Vzhledem k robustní konstrukci dveří je jejich dovírání a uzamykání řešeno pomocí pneumatického pohonu, který pohání západkový systém dveří. Na jejich ovládání je zapotřebí vyvinout tlak 8 barů, resp. 800 kPa. Pro tyto účely je používán olejový vzduchový kompresor SCHEPPACH - HC 24, který nebyl součástí dodávky komory, viz Obr. 4.5 vpravo dole.



Obr. 4.5: Mobilní absorpční stěna a vzduchový kompresor Scheppach – HC 24

Dále, aby nedocházelo k parazitním odrazům od dveřního systému komory během anténních měření, viz kap. 4.1, je používána mobilní stěna s hybridními absorbéry, viz Obr. 4.5, která je před uzavřením komory umístěna do dveřního prostoru.

4.1.2 Penetrační panely komory

Komora je vybavena dvěma penetračními panely. Jeden se nachází vedle pracoviště pro obsluhu komory, viz Obr. 4.6 vlevo, a druhý je nainstalován přímo u hardwarové skříně s ovládacím a přístrojovým vybavením komory, viz Obr. 4.6 vpravo. Tyto panely jsou jediné, nutno podotknout obousměrné, průchodné systémy určené pro přívod signálového i datového vedení k příslušnému přístrojovému a technickému vybavení v komoře. Pro tyto účely je každý panel opatřen následujícími typy konektorů: 3 x N (Neill Connector), 3 x BNC (Bayonet Neill-Concenlman Connector) a 1 x vývodkou pro optické kabely, jak je také patrné z popisovaného obrázku. Konstrukce vývodky je vhodná pro průchod šesti jednotlivých optických kabelů [27].



Obr. 4.6: Penetrační panely komory Frankonia SAC – 3 Plus S

Technické řešení konstrukce uvedených panelů z vnitřní strany komory je ukázáno na Obr. 4.6 dole, konkrétně vlevo bez krytu a vpravo s krytem.

4.1.3 Odvětrávací otvory komory

Otvor, který lze vidět na Obr. 4.7, je víceúčelový. Slouží k běžné ventilaci a současně plní funkci i ochrannou. Komora je vybavena celkem čtyřmi těmito otvory.



Obr. 4.7: Odvětrávací otvor komory Frankonia SAC – 3 Plus S

Ventilace zabezpečuje provozní odvětrávání vnitřních prostor komory a ochranu její obsluhy, která je zajištěna odtahem nebezpečného kouře v případě vzniklého požáru. Systém je pro tyto účely vybaven detektory kouře a jeho kompletní rozvod se nachází na střeše komory, tj. až za absorpčními panely. Část systému, konkrétně potrubí, které prochází stíněním komory, je řešena jako soustava podkritických vlnodů [26].

4.1.4 Stojanová konstrukce pro anténní měření

Jedná se o anténní stojan, viz Obr. 4.8, který slouží k instalaci a ovládání měřicí antény během měření elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním. Celková výška stojanu činí 4,5 m a hmotnost 85 kg. Vzhledem k robustnosti celého zařízení je základna stojanu osazena antistatickými kolečky, která zajišťují jeho snadnou mobilitu a současně chrání citlivé přístroje před elektrostatickým výbojem. Hlavní stěžeň stojanu je vyroben ze skleněných vláken a plastů z důvodu minimalizace nežádoucích odrazů během anténního měření. Stojan umožňuje výškové skenování od 1 do 4 m, bráno od podlahy komory. Skenování je realizováno elektrickým pohonem napájeným ze sítě 230 V/50 Hz. Výrobce udává přesnost snímání výškové pozice antény je ± 5 mm a rychlost skenování, resp. dynamika pohybu antény je 10 mm/s. Změna polarizace antény je také realizována elektricky. Celková změna polarizace, tj. 0 nebo 90 °, se uskuteční přibližně za 6 s, a to s přesností až 0,2 ° [26], [30].



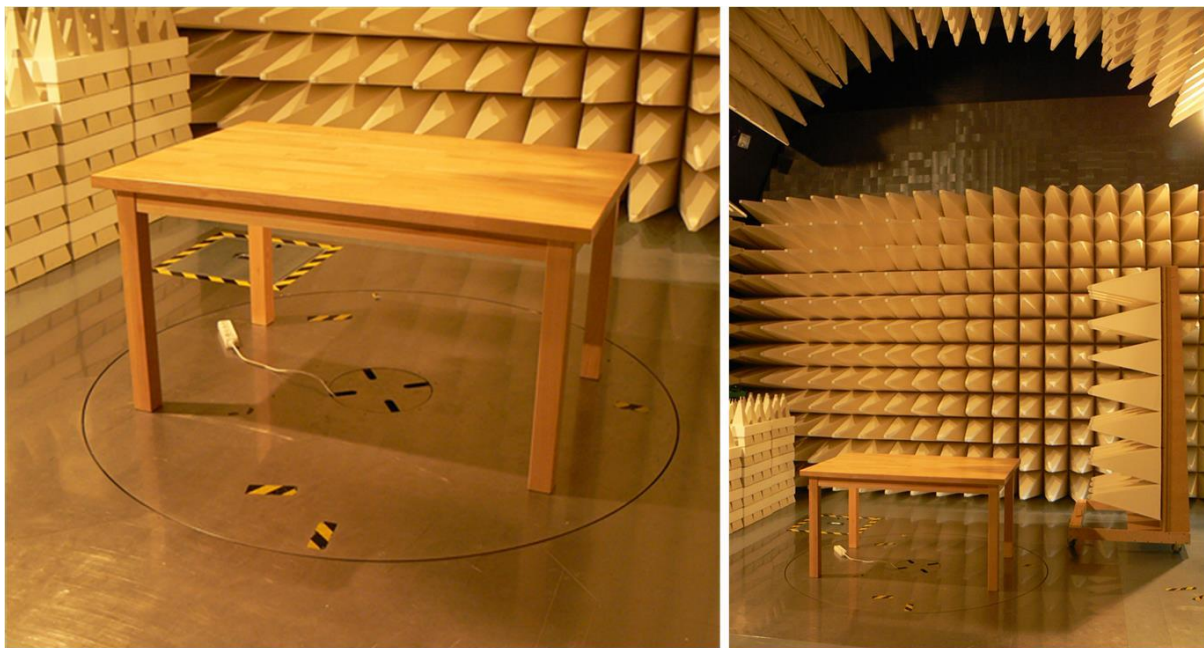
Obr. 4.8: Stojan pro anténní měření a ovládací panel stojanu

Výše uvedené nastavení zabezpečuje řídicí jednotka Frankonia FC02. Nutno podotknout, že elektrický pohon stojanu umožňuje použít anténu s maximální hmotností 12 kg, včetně nosného adaptéru [26]. Řídicí systém je popsán v kap. 4.1.6. Přístupový panel rozvaděče k elektrickým, signálovým a datovým rozvodům se nachází v podlaze komory za anténním systémem, viz Obr. 4.8.

4.1.5 Otočná základna komory a pracovní stůl

Jedná se o regulovaný otočný systém, resp. točnu, která slouží k polohování pracovního stolu se zkoušeným zařízením během měření elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním a provádění zkoušek na elektromagnetickou odolnost vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Základnu točny tvoří kruhová deska o vnějším průměru 2 m, která je zapuštěná do vyrovnávací kovové podlahy komory a vyrobená ze stejného materiálu, viz Obr. 4.9. Z důvodu zajištění dostatečného kontaktu točny s uzemněním komory je její konstrukce po obvodu osazena vodivým uzemňovacím kruhem. Maximální nosnost konstrukce točny je 500 kg [26], [30]. Součástí uvedeného systému je i příslušný rozvod elektrického, signálového a datového vedení. Přístupový panel rozvaděče je také

integrován do podlahy komory a nachází se mimo točnu. K rozvaděči se dá připojit i pomocí kabelového žlabu čili středem točny, viz Obr. 4.9. Otáčení celého systému je řízeno regulátorem Frankonia FC02. Jedná se o stejný systém jako u anténního stojanu, viz kap. 4.1.4.



Obr. 4.9: Pracovní stůl a otočná základna komory

Součástí pracoviště je i pracovní stůl o celkových rozměrech 150 x 100 x 80 cm, tj. d x š x v. Stůl je vyroben ze dřeva, tedy z materiálu elektricky a magneticky nevodivého, aby nedocházelo k nechtěným odrazům, popř. zesílení signálů z anténních měření [2], [5]. Dřevěná konstrukce současně poskytuje vysokou pevnost, stabilitu a mechanickou odolnost. Nutno podotknout, že spoje konstrukce jsou realizovány pouze lepenými spoji a dřevěnými kolíky. Dle povahy měření lze pracovní plochu stolu osadit i tabulí z pozinkované oceli o síle 2 mm, která musí být během použití uzemněna s podlahou komory.

4.1.6 Řídicí systém pro ovládání anténního stojanu a točny

Jak bylo uvedeno v kap. 4.1.4 a 4.1.5, řízení elektrického pohonu anténního stojanu a točny je realizováno pomocí řídicí jednotky FC02 od společnosti FRANKONIA, viz Obr. 4.10. Řízení, resp. komunikace mezi touto jednotkou a daným zařízením je řešena po optickém kabelu, jak lze vidět na popisovaném obrázku dole a na Obr. 4.8 vpravo dole v kap. 4.1.4. Nedílnou součástí jednotky FC02 je i odpovídající software, který umožňuje nastavení požadovaných změn u obou popisovaných zařízení.



Obr. 4.10: Řídicí systém Frankonia - FC02

Nutno poznamenat, že před spuštěním softwaru se nejdříve doporučuje aktivovat napájení elektrických pohonů, které je dostupné na panelu instalovaném přímo na anténním stojanu, viz kap. 4.1.4, Obr. 4.8 vpravo dole. Tím je současně aktivován i pohon točny. Software umožňuje výškové nastavení antén v rozsahu od 1 do 4 m, které lze měnit s krokem posuvu až 1 mm. V případě, že je zadána konkrétní cílová pozice antény, tak je volena pouze rychlost posuvu, ale ne hodnota kroku, která je při tomto nastavení ignorována samotným softwarem. Mimo výškového nastavení antén lze také měnit jejich polarizaci, tj. z horizontální na vertikální a naopak. Změna polarizace je prováděna otočením antén vždy o 90° . Další parametry související s ovládáním anténního stojanu jsou již popsány v kap. 4.1.4. V rámci ovládání točny software umožňuje pouze změnu jejího otáčení v rozsahu -180° až $+180^\circ$. Uvedené nastavení lze měnit s krokem až $0,1^\circ$ [26], [30].

4.2 Přístrojové a softwarové vybavení měřicího pracoviště

V této kapitole je uveden základní přehled měřicího softwaru, viz kap. 4.2.1, i přístrojového vybavení měřicího pracoviště, viz kap. 4, které je používáno při měření elektromagnetického rušení zkoušeného zařízení, viz kap. 4.2.2, nebo během testování zařízení na elektromagnetickou odolnost, viz kap. 4.2.3. Jak bylo zmíněno v úvodu práce, cílem bylo pouze vytvoření představy o základní funkci

a použití jednotlivých přístrojů, nikoliv však zaobíráni se jejich podrobnou technickou specifikací.



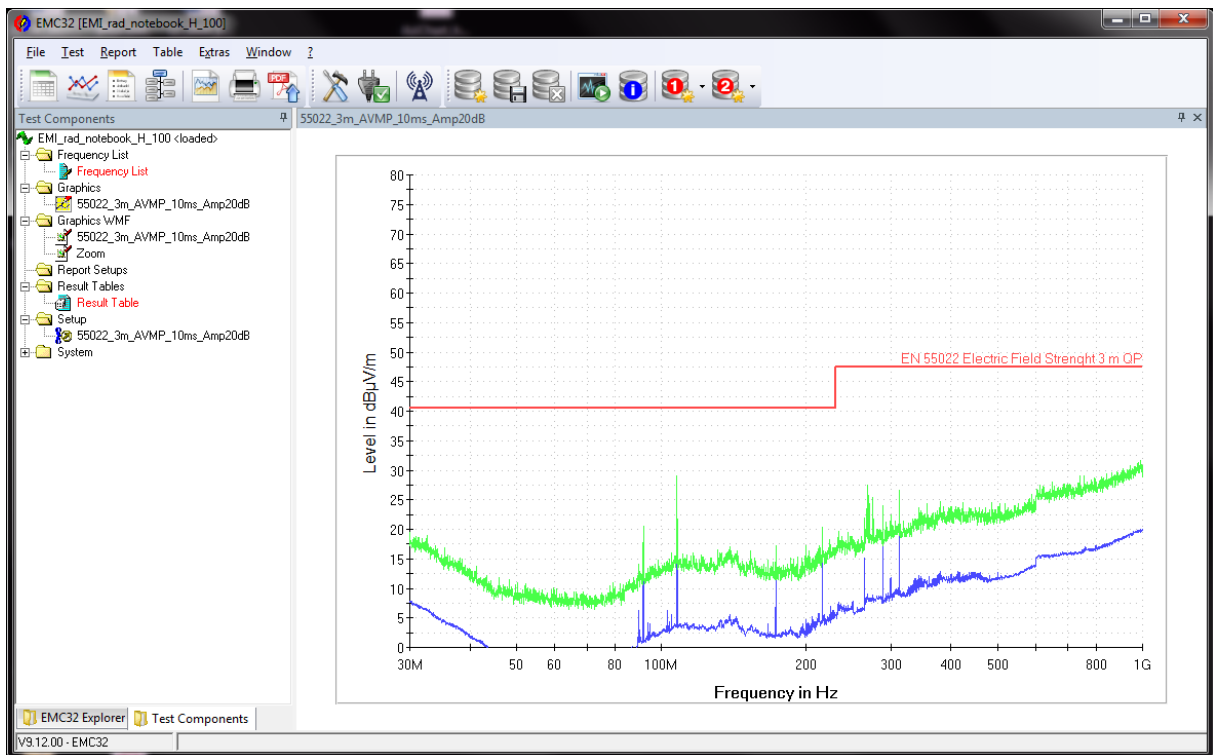
Obr. 4.11: Měřicí a řídicí pracoviště obsluhy komory

Na Obr. 4.11 se nachází náhled na pracoviště obsluhy bezdrazové stíněné komory Frankonia SAC – 3 Plus S a hardwarovou skříň od společnosti ROHDE & SCHWARZ (R&S), která je za účelem požadovaného měření doplněna přístrojovým vybavením a ovládacím hardwarem, který byl součástí dodávky komory, viz následující přehled:

- Řídicí jednotka Frankonia - FC02, viz kap. 4.1.6.
- Řídicí PC (Personal Computer) instalovaný do průmyslové počítačové skříň ER4400 od firmy ELVAC IPC, jak lze vidět na obr. 4.11 vpravo nahoře, Softwarový nástroj EMC32, viz kap. 4.2.1.
- Měřicí přijímač EMI - R&S ESU8, viz kap. 4.2.2.
- Generátor vysokofrekvenčních signálů - R&S SMB100A, viz kap. 4.2.3.
- Hardwarové řízení a přepínání vstupů/výstupů (Open Switch and Control Platform) - R&S OSP150 a OSP130 [31].
- Sada vysokofrekvenčních výkonových zesilovačů od společnosti AR (Amplifier Research), konkrétně model 80S1G4, 150W1000 a 150A250, viz kap. 4.2.3.

4.2.1 Měřicí software R&S EMC32

Softwarový nástroj EMC32 je vyvinutý společností R&S za účelem provádění standardizovaných měření z oblasti EMC. Software je založený na modulárním konceptu, který umožňuje efektivní a flexibilní přizpůsobení podle požadavků jednotlivých měřicích pracovišť. Vhodné rozšíření o předdefinované softwarové moduly s otevřeným zdrojovým kódem tak nabízí manuální nebo plně automatizované testy pro měření elektromagnetického rušení i provádění zkoušek na elektromagnetickou odolnost, dále měření vyzařovacích charakteristik antén atd. Zajišťuje podporu měření podle všech hlavních standardů a norem určených pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Poskytuje také předdefinované hardwarové nastavení podporující snadnější tvorbu testovacích sestav pro účely měření. Mimo zařízení od R&S je výkonným nástrojem i pro ovládání a monitorování zařízení od jiných výrobců [32]. V tomto případě je plně kompatibilní i s hardwarem FC02 od společnosti Frankonia, viz kap. 4.1.6, konkrétně s ovládáním obou polohovacích zařízení komory, která jsou popsána v kap. 4.1.4 a 4.1.5. Plnohodnotně tak nahrazuje jejich původní ovládací software. Z pohledu zpracování dat získaných měření a jejich následného vyhodnocení se opět přizpůsobuje specifickým požadavkům zákazníka nebo zkoušeného zařízení čili EUT (Equipment Under Test). Na Obr. 4.12 lze vidět ukázkou uživatelského rozhraní měřicího softwaru EMC32 verze 9.12.



Obr. 4.12: Měřicí software R&S EMC32

Pro účely prováděných zkoušek a měření uvedených v kap. 4.1 je výchozí konfigurace softwaru EMC32 doplněna o základní EMC balíček, resp. modul s označením EB, který je určen pro měření EMI podle komerčních standardů. Ten je dále rozšířen o softwarový modul K10 umožňující plně automatické měření EMI a modul K22, který rozšiřuje EMI s automatickým testováním i o měření vyzařovacích charakteristik antén a RF (Radio Frequency) zařízení, tj. využívajících bezdrátových signálů, jako jsou například přístupové body atd. Nutno podotknout, že popisovaná softwarová konfigurace neumožňuje měření mobilních telefonů, což je možné až s rozšířením o modul K2 [32].

4.2.2 Přístrojové vybavení pro měření elektromagnetického rušení

Níže je uveden přehled základního přístrojového vybavení, které je využíváno v rámci prováděného měření za účelem posouzení emisí elektromagnetického rušení zkoušeného zařízení.

- Měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení:
 - Měřicí přijímač ESU8 od R&S
 - Umělá síť čili umělá zátěž vedení ENV216 od R&S
 - Programovatelná elektronická zátěž 3721A od ARRAY
 - Proudové sondy, resp. proudové transformátory F-52 a F120-9A od FCC (Fischer Custom Communications)

- Měření elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním:
 - Měřicí přijímač ESU8 od R&S
 - Programovatelná elektronická zátěž 3721A od ARRAY
 - Sada antén:
 - Rámová anténa HFH2-Z2 od R&S
 - BiLog anténa CBL 6112D od TESEQ
 - Trychtýřové antény, např. SAS-571 od A.H. SYSTEMS

Měřicí přijímač EMI - R&S ESU8

Měřicí přijímač elektromagnetického rušení neboli měřič rušení snímá rušivé signály vhodným typem detektoru, který je součástí přijímače, a ten je následně převádí na hodnoty napětí. Uvedený napěťový výstup z příslušného detektoru je kvantitativně vyhodnocován samotným měřicím přijímačem a porovnáván s mezními hodnotami elektromagnetického rušení, které stanovují odpovídající normy v rámci zkoušeného zařízení. Nutno podotknout, že se většinou jedná o rušení neharmonických průběhů, u kterých jejich frekvenční spektrum obsahuje více složek. Výsledky měření pak především závisí na vlastnostech měřicího přijímače [2], [5].



Obr. 4.13: Měřicí přijímač EMI - R&S ESU8 a generátor signálu - R&S SMB100A

Na Obr. 4.13 je ukázán měřicí přijímač elektromagnetického rušení ESU8. Měřicí zařízení série ESU od R&S patří mezi měřiče rušení, které v rámci svých základních vlastností splňují všechny komerční a vojenské normy stanovené pro měření elektromagnetického rušení. Vhodně kombinují požadovanou přesnost

a vysokou rychlost měření, která je až 1000x vyšší než u standardních měřičů rušení. To je umožněno zavedením technologie skenování, která je založená na rychlé Fourierově transformaci čili FFT (Fast Fourier Transform). Nabízí i rychlá měření časové oblasti, resp. TD analýzu (Time-domain) pro vyhodnocení chování rušení v čase. Dále ESU8 kombinuje měřicí přijímač EMI a spektrální analyzátor. Umožňuje měření elektromagnetického rušení pro frekvenční pásmo od 20 Hz do 8 GHz. Disponuje detektory MAX-PEAK (maximální vrcholová hodnota), MIN-PEAK (minimální vrcholová hodnota), QUASI-PEAK (kvazivrcholová hodnota), AVERAGE (střední hodnota), RMS (Root Mean Square - efektivní hodnota), CISPR-AV a CISPR-RMS. K jeho dalším funkcím patří automatické měření a částečně předdefinované testovací postupy. Získaná data z měření lze uložit na interní pevný disk nebo zálohovat prostřednictvím rozhraní USB (Universal Serial Bus) a LAN (Local Area Network). Podporuje datové výstupy ve formátu PDF (Portable Document Format), RTF (Rich Text Format) a HTML (Hypertext Markup Language). ESU8 lze také ovládat přes vzdálenou plochu a je kompatibilní se softwarovými nástroji, např. LabView, LabWindows [33].

Jednofázová umělá síť - R&S ENV216

Jednofázová umělá síť, resp. umělá zátěž vedení, tj. LISN (Line Impedance Stabilization Network) se používá během měření elektromagnetického rušení zkoušeného zařízení napájeného z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, které se dále šíří do okolí po napájecím vedení [34]. Umělá síť zprostředkovává připojení měřicího přijímače elektromagnetického rušení ke zkoušenému zařízení a garantuje, že přijímač bude měřit pouze rušení způsobené zkoušeným zařízením, a nikoliv z napájecí elektrické sítě. Dále zajišťuje impedanční přizpůsobení s měřicím přijímačem a současně se zkoušeným zařízením. K tomu účelu slouží svorky, které jsou součástí dodávky sítě. Jedná se o vstupní síťové svorky určené pro napájení z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, výstupní síťové svorky pro připojení zkoušeného zařízení a přístrojové výstupní svorky k připojení měřicího přijímače. Umělá síť je během měření rušivého napětí postupně zapojena do všech jednotlivých napájecích vodičů [2], [5].

Umělá síť ENV216 od R&S, viz Obr. 4.14, je prioritně určena pro zkoušené zařízení vyžadující provozní napětí 230 V/50 Hz a maximální proud 16 A. Síť dále umožňuje i rozšíření vstupní síťové svorky na aplikační rozsah 0 až 240 V/50-60 Hz nebo 0 až 50 V DC (Direct Current).



Obr. 4.14: Umělá síť - R&S ENV216

Pokud je zkoušené zařízení provozováno pouze do 90 V/50-60 Hz nebo do 50 V DC, umělá síť vyžaduje i napájení prostřednictvím externího zdroje s výstupními parametry 10 až 18 V DC a 250 mA. Nabízí simulovanou impedanci $(50 \mu\text{H} + 5 \Omega) // 50 \Omega$ a je vhodná pro frekvenční pásmo od 9 kHz do 30 MHz [34].

Programovatelná elektronická zátěž - ARRAY 3721A

Programovatelná elektronická zátěž řady 372x od společnosti ARRAY Electronics patří mezi stejnosměrné zátěže vyvinuté pro sofistikované testy napájecích zdrojů a akumulátorů. Jsou navrženy s ohledem na jejich ochranu a spolehlivost. Uvedená zátěž nabízí čtyři základní testovací funkce [35]:

- funkci s konstantním proudem (CC – Constant Current),
- funkce s konstantním napětím (CV – Constant Voltage),
- funkci s konstantním odporem (CR – Constant Resistance),
- funkci s konstantním výkonem (CP – Constant Power).

Dále poskytuje osm základních provozních režimů, které jsou dány rozsahy popisovaných testovacích funkcí nebo jejich kombinací [35]:

- režim s malým a velkým rozsahem konstantního proudu (CCL a CCH),
- režim s konstantním napětím (CV),

- režim s malým, středním a velkým rozsahem konstantního odporu (CRL, CRM a CRH),
- kombinace konstantního výkonu a napětí (CPV),
- kombinace konstantního výkonu a proudu (CPC).

Mimo jiné umožňuje provádět testy zaměřené na zkratky, vybití akumulátorů atd. Je kompatibilní se softwarovým nástrojem LabView. K zařízení se lze připojit prostřednictvím datových rozhraní RS232, USB nebo GPIB (General Purpose Interface Bus) [35].



Obr. 4.15: Elektronická zátěž – ARRAY 3721A

Elektronická zátěž 3721A, viz Obr. 4.15, je konstruována na výkon až 400 W. Poskytuje rozsah napětí 0 až 80 V DC a proudu 0 až 40 A [35].

Vazební proudové transformátory - FCC F-52 a F120-9A

Proudové transformátory, resp. proudové sondy nebo také proudové kleště slouží k monitorování asymetrického rušení protékajícího proudu napájecím vedením nízkého napětí 230 V/50 Hz. Napájecí vedení v tomto případě tvoří primární část vinutí transformátoru a sekundární samotné kleště. Po uzavření kleští okolo měřeného vedení je snímán protékající rušivý proud, který je na výstupu sekundárního vinutí kleští převeden na napětí [2], [5].



Obr. 4.16: Proudové sondy – FCC F-52 a F120-9A

Na Obr. 4.16 jsou ukázány proudové sondy, vlevo F-52 a vpravo F120-9A, od společnosti FCC (Fischer Custom Communications). Sondy F-52 jsou v rámci EMC určeny pro měření ve frekvenčním pásmu od 10 kHz do 500 MHz [36] a F120-9A pro frekvenční pásmo 10 kHz až 230 MHz [37].

Antény pro měření elektromagnetického rušení vyzářováním

Nutno podotknout, že antény jsou jediným technickým prostředkem určeným pro měření elektromagnetického rušení šířeného vyzářováním, tj. v oblasti vysokých frekvencí od 300 MHz a výše [2], [5]. Níže je uvedena sada měřicích antén, kterými disponuje měřicí pracoviště, viz kap. 4.

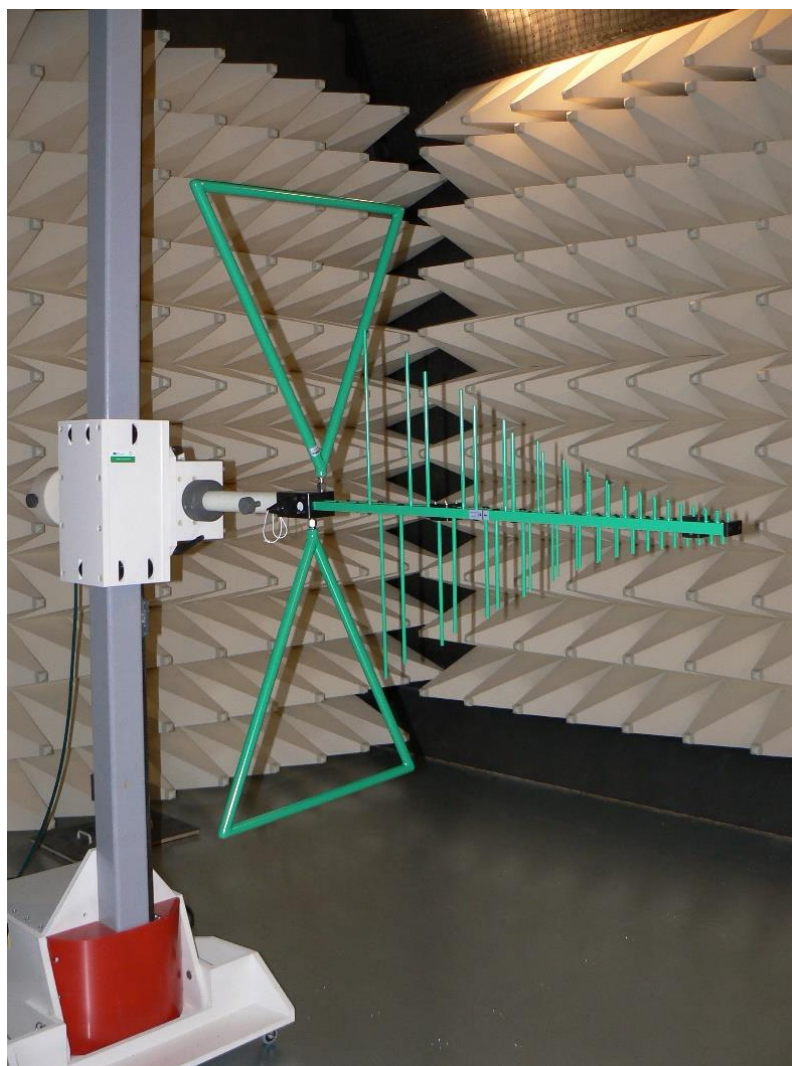
- **Rámová anténa R&S - HFH2-Z2** neboli **smyčková** se používá pro měření rušení způsobeného magnetickou složkou elektromagnetického pole pro frekvenční pásmo od 8,3 kHz do 30 MHz. Jedná se o frekvenční oblast, ve které se rušení uvedeného typu nejvíce projevuje. Z těchto důvodů je cívka antény instalována do stínícího kovového krytu, aby bylo potlačeno rušení zapříčiněné elektrickou složkou elektromagnetického pole [38]. Konstrukční provedení antény lze vidět na Obr. 4.17.



Obr. 4.17: Rámová anténa - R&S HFH2-Z2

Vzhledem k její konstrukci a účelu použití není vhodná pro testování elektromagnetické odolnosti.

- **BiLog anténa TESEQ - CBL 6112D** patří mezi složené širokopásmové antény, které jsou kombinací konstrukce **bikónické** a **logaritmicko-periodické** antény, viz kap. 4.2.3. Slouží pro měření rušení ve frekvenčním pásmu od 30 MHz do 2 GHz čili rušení způsobené převážně elektrickou složkou elektromagnetického pole [39]. Konstrukční řešení uvedené kombinace antén je ukázáno na Obr. 4.18. Uvedená anténa se nachází v pozici pro vertikální polarizaci.



Obr. 4.18: BiLog anténa – TESEQ CBL 6112D

Anténu lze použít i v případě testování elektromagnetické odolnosti jako vysílací s maximálním výkonem 300 W generovaného CW (Continuous Wave) signálu, viz kap. 4.2.3, Generátor signálu - R&S SMB100A.

- **Trychtýřová anténa A.H. SYSTEMS - SAS 571** patří mezi pyramidální kovové vlnovody používané pro měření elektromagnetických rušení probíhajících na vysokých frekvencích, tj. řádově v GHz, které způsobují obě složky elektromagnetického pole [2], [5]. V tomto případě je anténa určena pro frekvenční pásmo od 700 MHz do 18 GHz [40]. Na Obr. 4.19 se anténa nachází ve vertikální polarizaci a lze vidět její konstrukční provedení.



Obr. 4.19: Trychtýřová anténa - A.H. SYSTEMS SAS-571

I v tomto případě lze anténu použít během testování elektromagnetické odolnosti jako vysílací s maximálním výkonem 300 W generovaného CW signálu. Výrobce uváděná maximální intenzita elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole je 200 V/m [40].

4.2.3 Přístrojové vybavení pro testování elektromagnetické odolnosti

Níže je uveden přehled základního přístrojového vybavení, které je využíváno v rámci testování elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení.

- Test odolnosti vůči rušivým vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím:
 - Generátor vysokofrekvenčních signálů SMB100A od R&S
 - Sada vysokofrekvenčních výkonových zesilovačů od AR:
 - Model 80S1G4
 - Model 150W1000
 - Model 150A250
 - Vysílací směrové antény:
 - Bikónická anténa HK116E od R&S
 - Logaritmicko-periodická anténa HL046E od R&S a SAS-510-2 od A.H. SYSTEMS
 - Trychtýřové antény, např. SAS-571 od A.H. SYSTEMS

- Sonda intenzity elektrického pole HI-6105 od ETS - LINDGREN
- Vyhodnocovací zařízení, např. Měřicí přijímač ESU8 od R&S
- GTEM komora model 250 od FRANKONIA
- Test odolnosti vůči rychlým elektrickým přechodovým jevům tzv. rychlým transientům na vedení:
 - Haefely AXOS 5
- Test odolnosti vůči rázovým impulzům napětového i proudového charakteru:
 - Haefely AXOS 5
- Test odolnosti vůči náhlým a krátkým poklesům nebo přerušení napětí v rámci napájecí sítě:
 - Haefely AXOS 5
- Test odolnosti vůči pulznímu magnetickému poli:
 - Haefely AXOS 5
- Test odolnosti vůči přímému a nepřímému elektrostatickému výboji:
 - Haefely ONYX 16

Generátor signálu - R&S SMB100A

Generátor vysokofrekvenčních signálů SMB100A od R&S patří mezi špičkové přístrojové vybavení disponující vysokou kvalitou generovaných signálů s velmi vysokou rychlostí nastavení ($< 1,2$ ms), a to pro frekvenční pásmo od 9 kHz do 6 GHz. Je určen pro generování CW (Continuous Wave) signálů, resp. elektromagnetických vln sinusového průběhu s konstantní amplitudou i frekvencí. Podporuje analogové i pulsní modulace. Mezi analogové patří všechny běžné typy jako je AM (amplitudová), FM (frekvenční) a PM (fázová) modulace. Poskytuje výstupní výkon až do +18 dBm (s přesahem až do +28 dBm). Je vybaven elektronickým atenuátorem s integrovanou přepětovou ochranou pro celé frekvenční pásmo [41]. Generátor je ukázán na Obr. 4.13, který je uveden v kap. 4.2.2.

Sada vysokofrekvenčních výkonových zesilovačů od AR

Na Obr. 4.20 lze vidět celkem tři vysokofrekvenční výkonové zesilovače od společnosti Amplifier Research (AR), které jsou součástí hardwarové skříně uvedené v kap. 4.2. Jedná o samostatné vzduchem chlazené širokopásmové zesilovače určené pro aplikace vyžadující vysoký výkon a linearitu. Jsou tedy vhodným řešením i pro testování zkoušeného zařízení na elektromagnetickou odolnost. Vzhledem k velkým vysokofrekvenčním výkonům je nezbytné chlazení, které je zajištěno pomocí integrovaného ventilátoru. Ovládání výstupní úrovně výkonu lze provádět manuálně na předním panelu jednotlivých zesilovačů nebo na dálku prostřednictvím příslušných datových rozhraní [42], [43], [44].



Obr. 4.20: Sada vysokofrekvenčních výkonových zesilovačů

Níže je uvedena sada popisovaných zesilovačů, včetně jejich výkonů a odpovídajícího frekvenčního pásma. Popis je brán shora, viz Obr. 4.20.

- Model 80S1G4 - 80 W, 700 MHz až 4,2 GHz [42].
- Model 150W1000 - 150 W, 80 MHz až 1 GHz [43].
- Model 150A250 - 150 W, 100 kHz až 250 MHz [44].

Antény pro testování elektromagnetické odolnosti

Antény jsou využívány i během zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost, konkrétně při testování zkoušených zařízení vůči rušivým vysokofrekvenčním (VF) elektromagnetickým polím. V tomto případě jsou antény aplikovány jako zdroje záření těchto rušivých signálů, resp. vysokofrekvenčních elektromagnetických vln, kterými je ozařováno zkoušené zařízení. Zařízení je testováno různými úrovněmi intenzit elektromagnetického pole, které dosahují hodnot až desítky V/m při frekvencích pohybujících se až v řádu GHz. Nutno poznamenat, že k tomu účelu mohou sloužit i antény, které jsou prioritně určeny pro měření elektromagnetického

rušení šířeného vyzařováním, viz kap. 4.2.2, ale musí být respektovány jejich výkonové parametry. Níže jsou uvedeny vysílací směrové antény, kterými disponuje měřicí pracoviště, viz kap. 4.

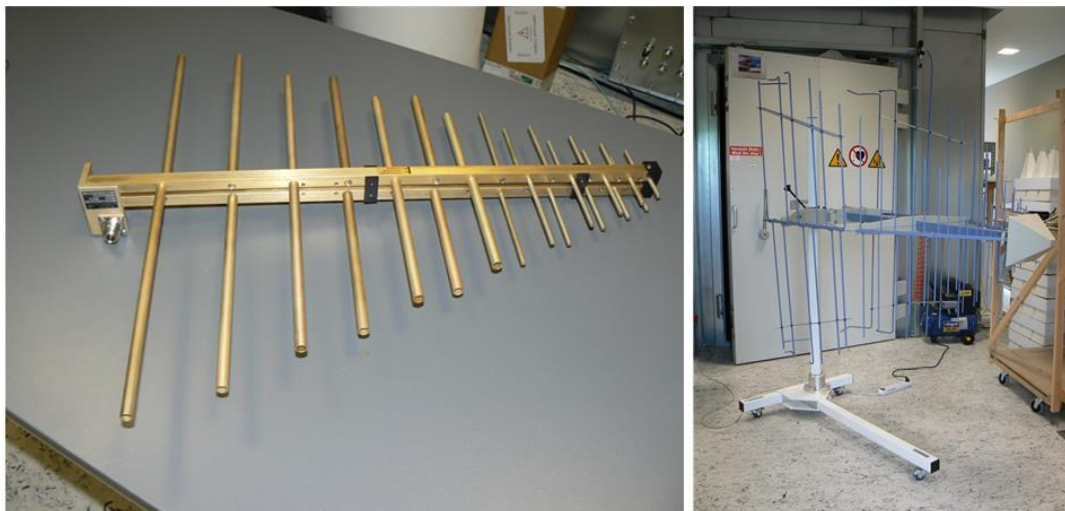
- **Bikónická anténa R&S - HK116E** neboli **Bikónický dipól** je širokopásmová anténa vhodná pro měření elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním, které způsobuje pouze elektrická složka elektromagnetického pole, a to na frekvenčním pásmu 20 až 300 MHz. Její konstrukční řešení je ukázáno na Obr. 4.21. Anténa se nachází v horizontální polarizaci. V rámci využití jako vysílací antény v oblasti testování elektromagnetické odolnosti je výrobcem stanoven její přípustný výkon až 75 W generovaného CW signálu [45].



Obr. 4.21: Bikónická anténa - R&S HK116E

- **Logaritnicko-periodické antény A.H. SYSTEMS - SAS-510-2 a R&S - HL046E** patří stejně jako předešlá bikónická anténa mezi širokopásmové antény se shodným využitím v oblasti měření elektromagnetického rušení, ale anténa SAS-510-2 je vhodná pro frekvenční pásmo od 290 MHz do 2 GHz [46] a HL046E od 80 MHz do 3 GHz [47]. Uvedené typy antén lze vidět na Obr. 4.22, konkrétně vlevo se nachází SAS-510-2 s horizontální polarizací a vpravo HL046E s vertikální polarizací. SAS-510-2 v případě použití jako vysílací antény poskytuje maximální výkon 1000 W generovaného CW signálu a intenzitu elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole až

200 V/m [46], anténa HL046E pak nabízí výkon v rozsahu 1400 až 250 W pro výše uvedené frekvenční pásmo 80 MHz až 3 GHz [47].

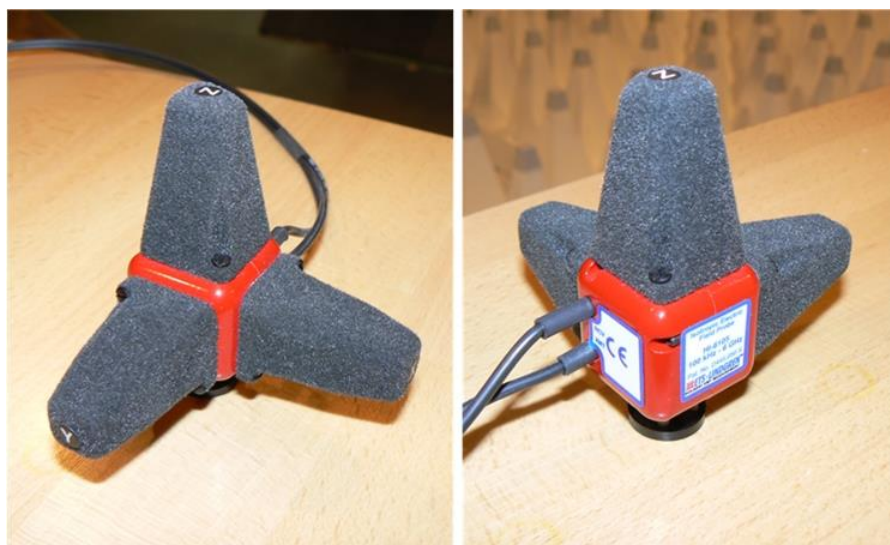


Obr. 4.22: Logaritmicko-periodická anténa - A.H. SYSTEMS SAS-510-2 a R&S HL046E

- **Trychtýřová anténa A.H. SYSTEMS - SAS 571** je již popsána v kap. 4.2.2 a její konstrukce ukázána na Obr. 4.19.

Sonda intenzity elektrického pole HI-6105 od ETS - LINDGREN

Izotropní sonda HI-6105 od společnosti ETS – LINDGREN je určena pro měření elektrického pole o intenzitách 0,5 až 800 V/m s rozlišením 0,01 V/m, a to pro frekvenční pásmo od 500 kHz do 6 GHz. Její konstrukční řešení je patrné z Obr. 4.23.



Obr. 4.23: Měřicí sonda intenzity elektrického pole HI-6105

Sonda je také vhodná na měření dosažené úrovně intenzit elektrické složky vyzařovaných rušivých elektromagnetických polí během zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost. Její signálové i napájecí vedení je řešeno po optickém vlákne. Napájení je realizováno pomocí laseru přes modul LDI (Laser Data Interface), konkrétně se jedná o rozhraní HI-6113, které je součástí dodávky sondy. Dané rozhraní je prostřednictvím USB kabelu připojeno k PC a mimo uvedeného napájení také zprostředkovává komunikaci mezi vyhodnocovacím softwarem ProbeView a měřicí sondou. Software umožňuje vyhodnotit data v jednotlivých osách měření nebo ve všech osách současně, tj. v ose x , y a z [48]. Nutno poznamenat, že je kompatibilní se softwarem EMC32.

Zkušební komora GTEM – FRANKONIA 250

Měřicí komora GTEM (Gigahertz Transversal Electromagnetic Cell) byla vyrobena společností FRANKONIA. Jak lze vidět i vlevo na Obr. 4.24, komora má specifický tvar podlouhlého čtyřbokého jehlanu. Vpravo na témže obrázku se nachází hardwarová skříň s příslušným ovládacím a přístrojovým vybavením. Konstrukce komory je modulární, takže umožňuje její případné rozšíření. Je vhodná pro účely testování elektromagnetické odolnosti i měření elektromagnetického rušení, ale prioritně je navržena pro zkoušky odolnosti, které mnohdy vyžadují k testování vysoké hodnoty intenzit generovaných elektromagnetických polí. V tomto případě komora nabízí uzavřený a elektromagneticky stíněný prostor, aby nedocházelo k nežádoucímu vlivu těchto polí na zdraví obsluhy a přístrojové vybavení v blízkém okolí. Komora je konstrukčně řešena tak, aby zajistila impedanční přizpůsobení i v oblasti velmi vysokých frekvencí, a tím potlačila vznik parazitních rezonancí. Uvedeného je dosaženo použitím absorpčního materiálu, konkrétně jehlanů, které jsou instalovány na čelní stěně komory. Dále, aby nedocházelo k nežádoucím odrazům v oblasti nízkých frekvencí, je její vnitřní prostor vybaven odporovou sítí, která se nachází na konci páskového vodiče [49].



Obr. 4.24: GTEM komora – FRANKONIA 250 a skříň s přístrojovým vybavením

Nutno podotknout, že popisovaná komora nabízí generátorem buzení homogenní pole pro frekvenční pásmo 10 kHz až 20 GHz. Poskytuje maximální výkon 500 W generovaného CW signálu nebo impuls o výkonu 2 kW. Vzhledem k celkovým rozměrům komory 127 x 64 x 44 cm, tj. d x š x v, je možné testovat pouze zkušební zařízení o maximálních rozměrech 20 x 20 x 15 cm [49].

Kombinovaný testovací systém – Haefely AXOS 5

Testovací systém AXOS 5 od společnosti Haefely Test AG, který lze vidět vlevo na Obr. 4.25, sdružuje několik samostatných testerů do jediného kompaktního zařízení. Umožňuje následující skupinu testů zaměřených na elektromagnetickou odolnost zkušebního zařízení [50]:

- Test odolnosti vůči rychlým elektrickým přechodovým jevům, resp. EFT (Electrical Fast Transients) neboli rychlé transienty. Tyto nízkoenergetické impulzy se sdružují do skupin pulzů opakujících se v pravidelných intervalech. Jejich parametry stanovuje příslušná norma. Skupiny těchto impulzů jsou označovány jako BURST. Popisované zařízení je schopno generovat pulzy EFT/BURST až do velikosti 5 kV.

Dále simuluje všechny běžné příčiny způsobující popisované rušení, které vznikají v napájecích, signálových a datových sítích, např. od spínacího elektro-mechanického relé, indukční zátěže (vrtačky, vysoušeče vlasů apod.) [50].

- Zkouška odolnosti na rázové impulzy, které jsou v běžném provozu zapříčiněny bleskem nebo přepětím. Rázové vlny mohou mít charakter napěťového nebo proudového impulzu. To je dáno velikostí vstupní impedance u zkoušeného zařízení ve srovnání s výstupní impedancí testovacího zařízení. Pokud je impedance zkoušeného zařízení větší než u testeru, rušení se projevuje napěťovým impulzem, v opačném případě proudovým impulzem [2], [5]. Tyto pulzy jsou realizovány pomocí integrovaného generátoru kombinovaných vln CWG (Combination Wave Generator). Jejich parametry jsou dány odpovídající normou.
- Test odolnosti zkoušeného zařízení vůči simulovaným náhlým a krátkým poklesům, popř. přerušení napětí v rámci napájecí sítě. Uvedené rušení v napájecích sítích je způsobeno jejich poruchami a významnými změnami v jejich zatížení, např. vlivem hromadného používání domácích spotřebičů ve stejném čase [5].
- Zkouška testem na pulzní magnetické pole. Příčinou vzniku těchto rušení je protékající střídavý proud ovlivněný úderem blesku nebo zkratový proud, který se šíří rozvody elektrické sítě, resp. po napájecích kabelech a samotných elektronických zařízeních. Tyto vysoké hodnoty proudů mohou generovat nežádoucí magnetická pole, ať už krátkodobá nebo dlouhodobá [2]. Uvedený test se provádí pomocí externí antény MSURGE-A, kterou tvoří cívka o rozměrech 1 x 1 m za účelem generování magnetického pole. Anténa je plně kompatibilní s testerem AXOS 5 a pochází od stejné společnosti [51]. Její konstrukční provedení je ukázáno na Obr. 4.25 vpravo.

Součástí testeru AXOS 5 je i integrovaná jednofázová vazební a oddělovací síť CDN (Coupling - Decoupling Network). CDN je určena pro testování zkoušeného zařízení vyžadující provoz s napájecími hodnotami 230 V/50 Hz, 16 A. Vazební část sítě zajišťuje možné šíření rušení, resp. testovacího signálu vedoucího z testeru, tj. z výstupu jeho generátoru na příslušný vstup zkoušeného zařízení, aniž by byl zpětně ovlivňován samotný generátor. Oddělovací část zamezuje šíření testovacího signálu, tj. rušení do vnější napájecí, signálové nebo datové sítě [50].

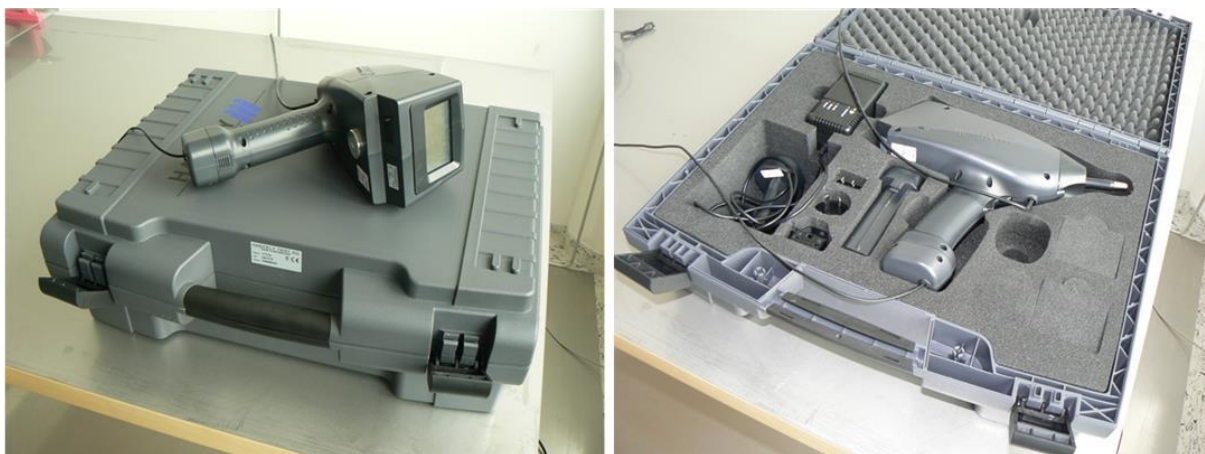


Obr. 4.25: Kombinovaný testovací systém – Haefely AXOS 5 a anténa MSURGE-A

Dále tester nabízí manuální nebo plně automatické testování předdefinovaných zkušebních postupů podle nejběžnějších norem, včetně automatického generování výstupního protokolu o prováděné zkoušce. Zařízení je možné ovládat prostřednictvím jeho bezdotykového displeje nebo dálkově přes PC [50].

Simulátor ESD – Haefely ONYX 16

Simulátor ESD (Electrostatic Discharge), konkrétně model ONYX 16 od společnosti Haefely Test AG, nabízí kompletní systém elektrostatického výboje v podobě ergonomické pistole, která generuje napětí elektrostatického impulsu v rozsahu 1 až 16 kV [52]. Z realizačního pohledu se zdrojem stejnosměrného napětí nabíjí příslušný kondenzátor, který se následně vlivem výboje a odpovídajícího vybíjecího odporu dále vybíjí do zkoušeného zařízení [5]. Uvedený systém je určen k testování zkoušeného zařízení na odolnost vůči elektrostatickému rušení, které je prováděno přímým nebo nepřímým výbojem. V rámci přímého výboje je zařízení testováno na vzduchový výboj. Jedná se o přeskok jiskry mezi vybíjecím hrotem pistole a samotným zařízením čili přenos vzduchem. Dále je testováno na kontaktní výboj, kdy se hrot pistole dotýká zkoušeného zařízení a přímo se vybíjí na jeho povrchu. V případě testů prováděných na nepřímý výboj se hrot pistole kontaktně vybíjí do blízké kovové svíslé nebo vodorovné vazební desky, konkrétně VCP (Vertical Coupling Plane) nebo HCP (Horizontal Coupling Plane), a vybíjecí proud se do zkoušeného zařízení přenáší vlivem elektromagnetické indukce [2], [5]. Parametry obou desek i způsob provádění jednotlivých testů popisuje příslušná norma.



Obr. 4.26: Simulátor ESD – Haefely ONYX 16

Na Obr. 4.26 je ukázáno konstrukční provedení popisované ESD pistole, včetně měnitelné sady RC modulů, které rozšiřují její aplikační rozsah podle použití. Nutno podotknout, že uvedený systém lze napájet ze sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz nebo také umožňuje provoz na baterie. Dále nabízí již předdefinované testy podle odpovídajících norem nebo standardů a možnost doplnění o další testy zadané uživatelem. Uživatelsky přístupný je také po stránce ovládání zařízení, které je řešeno dotykovým displejem a přehlednou strukturou menu. Součástí zařízení je software, který umožňuje jeho dálkové ovládání [52].

5. KAMEROVÝ SYSTÉM PRO BEZODRAZOVOU STÍNĚNOU KOMORU

Kapitola je zaměřena na výběr vhodného kamerového systému pro monitorování vnitřního prostoru bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC - 3 Plus S. Jedná se o kompletní a velmi specifické řešení, včetně konstrukce i samotné instalace. Podrobný postup oživení kamery a ovládacího softwaru je uveden v příloze P1. Připojení kamerového systému do počítačové sítě a zkušební provoz v komoře je popsán v kap. 9.

Cílem bylo zvolit kamerový systém schopný správné funkce v prostoru komory, tj. v prostředí silných elektromagnetických polí, a současně respektovat probíhající citlivá měření a testy zkoušených zařízení. Důležité je podotknout, že kamerový systém nebylo vhodné instalovat na vnitřní plášť komory, aby nedošlo k porušení záručních podmínek nebo k nežádoucímu ovlivnění správné funkce komory. V tomto případě byla vhodnější samonosná mobilní konstrukce, a to za předpokladu, že kamerový systém je napájen bezpečným malým napětím z důvodu předejití úrazu elektrickým proudem při nevhodné manipulaci. Kamera musela umožňovat ovládání objektivu (otáčení a změnu náklonu), aby se manipulace s konstrukcí omezila na nezbytné minimum. Bylo tedy vhodné výběr zaměřit na kamerové systémy určené pro průmyslové aplikace vyžadující nepřetržitý provoz. Penetrační panely komory, viz kap. 4.1.2, jsou navrženy

z pohledu datové komunikace pro průchod pouze optické kabeláže, aby se zabránilo nechtěnému šíření rušivých signálů. Kamera musela umožňovat datovou komunikaci po optickém kabelu. Datový přenos po optických kabelech negeneruje rušivé elektromagnetické pole a zároveň zaručuje odolnost vůči vnějšímu elektromagnetickému rušení. Vzhledem k horším světelným podmínkám uvnitř komory, viz kap. 4.1, byla preferována kamera s automatickým přepínáním funkce den a noc, ale bez infračerveného (IR) přísvitu. Přísvit realizovaný vysoce výkonnými IR diodami může mít i nežádoucí vliv na probíhající měření. Neméně podstatná byla i vysoká rozlišovací schopnost kamery a optický zoom objektivu pro zachování kvalitního obrazu i po přiblížení monitorovaného měřicího pracoviště uvnitř komory. Pak lze kameru využít i pro účely stanovení meze odolnosti u zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost.

Na trhu existuje celá řada různých kamerových systémů. Vhodnost výběru byla konzultována s odbornou firmou KPZ electronics, která se specializuje na vývoj, výrobu a prodej v oblasti kamerových systémů. Na základě konzultací byly zvoleny kamerové systémy od společnosti MERIT LILIN. Jedná se o jednoho z předních světových výrobců pokročilých IP (Internet Protocol) kamerových systémů. Po zvážení uvedených aspektů a dostupných finančních prostředků byla vybrána od dané společnosti kamera IPS5184S.

5.1 IP kamera MERIT LILIN IPS5184S

IP kamera MERIT LILIN - IPS5184S, viz Obr. 5.1, splňuje požadované parametry kromě typu datového připojení. Technická specifikace je uvedena v příloze P9. Z finančních důvodů bylo upuštěno od původního řešení založeného na přímé datové komunikaci po optických kabelech. Předpokládaná částka takového řešení byla stanovena na 150 000 Kč s DPH, a tudíž nebyla akceptovatelná. Bylo rozhodnuto zvolit cenově dostupnější variantu řešení. Náhradní řešení využívá převodníků mezi kroucenou dvojlinkou, dále jen TP (Twisted Pair) a optickým kabelem, dále FO (Fiber Optic). Jedná se o zařízení AT-MC102XL, viz Obr. 5.2, od společnosti ALLIED TELESIS, která patří mezi světovou špičku v oblasti komplexního řešení síťových (datových) komunikací. Podrobná specifikace vybraného typu převodníku je uvedena v příloze P10. Dodavatelem uvedeného systému, tj. kamery a příslušných převodníků, byla firma KPZ electronics, která zabezpečuje v rámci ČR záruční i pozáruční autorizovaný servis. Pokud se jedná o realizační projekty, které z pohledu aplikace mnohdy vyžadují technickou podporu a řeší případné nežádoucí poruchy, je dostupnost dodavatele a odpovídajícího servisu velmi důležitá.



Obr. 5.1: IP kamera MERIT LILIN - IPS5184S

Jak lze vidět vlevo na Obr. 5.1, konstrukce kamery se skládá ze tří základních částí. Spodní díl obsahuje napájecí modul kamery a současně slouží i jako nosná konstrukce pro její instalaci. Napájecí modul byl upraven na zakázku na malé bezpečné napájecí napětí 24 V AC (Alternate Current). Základní verze kamery se dodává s modulem na 230 V/50 Hz. Napájecí zdroj k modulu nebyl součástí dodávky kamery, proto byl řešen samostatně, viz kap. 6. Prostřední část konstrukce tvoří hlavní tělo kamery. Horní díl konstrukce představuje kryt pro objektiv kamery, tzv. DOME kryt, který umožňuje sledovat celý poloprostor nacházející se před kamerou. Kamera nabízí ovládání objektivu v rozsahu otáčení 0 až 360 ° a změnu náklonu od -6 do 96 °. Disponuje také 18x optickým zoomem a Full HD (High Definition) rozlišením. Na obrázku vpravo je zobrazena konektorová výbava kamery. Mikro spínač pro hardwarový reset kamery, audio vstup a výstup (CINCH – růžové a zelené barvy), výstup video signálu pro monitor (BNC Jack), konektor pro připojení alarmu k PIR (Passive Infrared Detector) detektoru pohybu, datové připojení (RJ45) a napájení 24 V AC (MOLEX Mini – Fit – 4 piny). Kamera je konstrukčně vhodná pro nepřetržitý provoz a prioritně určena pro bezpečnostní průmysl. Je např. vybavena funkcí automatického přepínání den/noc a možností připojení k PIR detektoru [53], který snímá pohyb na principu změny teploty sledovaného okolí [54]. Vzhledem k účelu kamery nebude tato funkce využita.



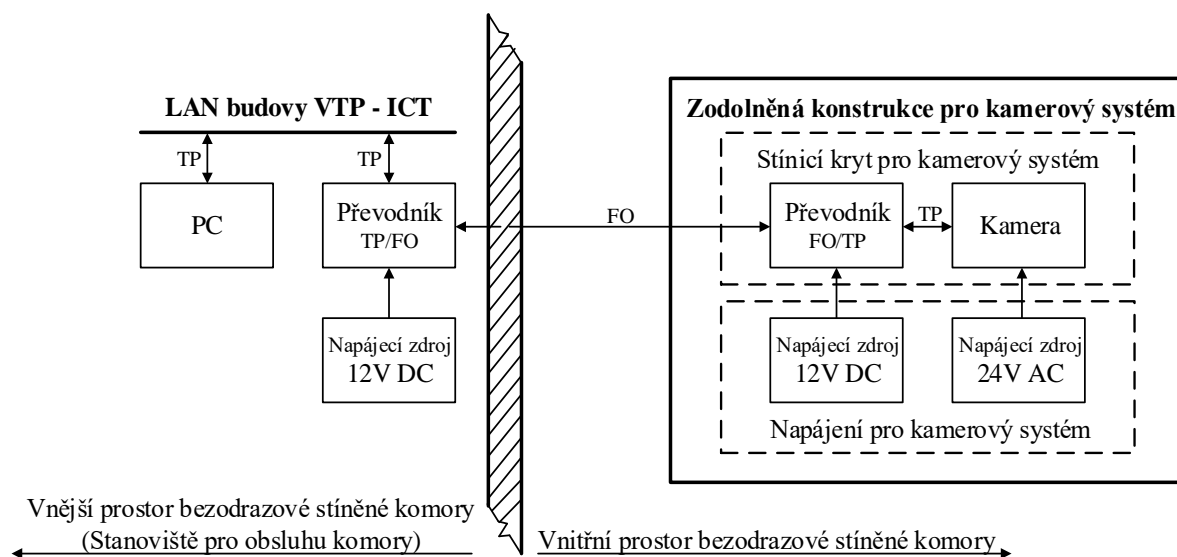
Obr. 5.2: Převodníky AT-MC102XL od ALLIED TELESIS

Na Obr. 5.2 jsou ukázány převodníky mezi kabeláží TP/FO, které umožňují změnu přenosového média, tj. převést elektrický signál na optický signál a naopak. Celkem byly použity dva převodníky. Jeden pro instalaci mimo komoru v prostoru pro její obsluhu a druhý přímo u kamery v bezodrazové stíněné komoře. Pro vzájemné spojení převodníků bylo potřeba využít dvě optická vlákna z důvodu simplexní komunikace. Převodníky jsou vybaveny dvěma konektory typu SC (Subscriber Connector) pro připojení mnohovidových (MM - Multimode) optických vláken a konektorem RJ45 (Registered Jack) pro TP kabeláž [55]. Součástí dodávky převodníků byly externí napájecí adaptéry se vstupním jmenovitým rozsahem 100 - 230 V/50 - 60 Hz, 0,35 A a výstupním 12 V DC (Direct Current), 0 - 1 A.

6. NÁVRH A REALIZACE ZODOLNĚNÉ KONSTRUKCE KAMEROVÉHO SYSTÉMU PRO BEZODRAZOVOU STÍNĚNOU KOMORU

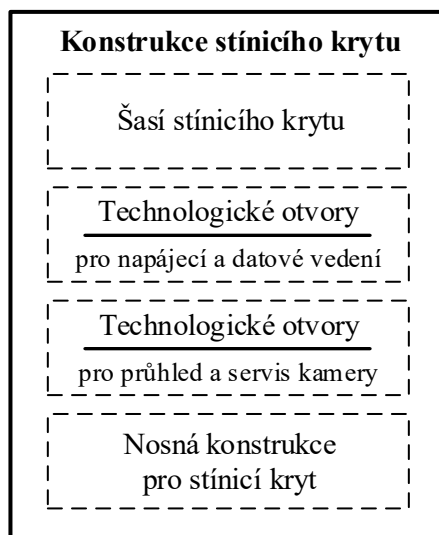
Při návrhu i následné realizaci zodolněné konstrukce bylo uvažováno, že kamerový systém, viz kap. 5, bude nejen z bezpečnostních důvodů monitorovat měřicí pracoviště v komoře, viz kap. 4.1.5, ale také sloužit ke sledování zkoušeného zařízení testovaného na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery pak lze stanovit mez odolnosti u testovaných zařízení, typicky se jedná o zobrazovací systémy. Z těchto důvodů musel být kamerový systém schopen provozu i v silných elektromagnetických polích, která jsou generována během uvedených zkoušek nebo samotným zařízením při měření elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzářováním. Nutno

poznámenat, že v souvislosti s neustálým rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu jsou v rámci komory prováděna také měření za účelem ověření vyzařovacích charakteristik antén. Současně bylo nutné zamezit i nežádoucímu šíření rušivých signálů ze strany kamerového systému, které by mohlo mít negativní vliv na probíhající citlivá měření i zkoušky prováděné podle norem a standardů, viz kap. 4. Vzhledem k reálné aplikaci kamerového systému, včetně konstrukce, návrh musel respektovat i požadavky kladené obsluhou komory. Podobně i následná realizace musela respektovat potřeby při využití komory ke komerčním účelům na odpovídající technické úrovni.



Obr. 6.1: Návrh kamerového systému pro bezodrazovou stíněnou komoru

Na Obr. 6.1 je ukázán návrh kamerového systému pro bezodrazovou stíněnou komoru. Z obrázku je patrné, že uvedený systém není umístěn pouze uvnitř komory, ale i mimo komoru, v tomto případě v prostoru vyhrazeném pro její obsluhu. Každá část systému byla řešena samostatně, tj. podle požadavků a podmínek, které jsou specifické pro dané oblasti instalace. Kamerový systém nacházející se v komoře vyžadoval zodolněnou konstrukci, která byla pro účely návrhu rozdělena na dvě části. Předmětem první části byl stínicí kryt pro kamerový systém, konkrétně pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S a převodník AT-MC102XL, viz kap. 5.1, a druhá část byla zaměřena na jejich napájecí zdroje. Návrh konstrukce stínicího krytu byl dále rozdělen na jednotlivé dílčí návrhy, které jsou zřejmé z Obr. 6.2.



Obr. 6.2: Návrh konstrukce stínícího krytu pro kamerový systém

Jak bylo uvedeno v kap. 5, kamerový systém nemůže být instalován na vnitřní plášť komory, aby nedošlo k porušení záručních podmínek komory nebo k ovlivnění její správné funkce. Řešením byla samonosná konstrukce, kterou bylo vhodné umístit, včetně kamerového systému, v pravém rohu komory za anténním stojanem, viz kap. 4.1.4, Obr. 4.8. Jelikož se jedná současně o manipulační prostor pro obsluhu komory, konstrukce musela být mobilní. Z uvedeného důvodu bylo napájení kamerového systému řešeno bezpečným malým napětím, aby se předešlo úrazu elektrickým proudem při nevhodné manipulaci. Dále z Obr. 6.1 je patrné i připojení kamery do lokální počítačové sítě Vědeckotechnického parku Informační a komunikační technologie při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Strukturovaná kabeláž budovy zmíněného parku je realizována pomocí UTP (Unshielded Twisted Pair) kabelu a pro účely připojení koncových zařízení do počítačové sítě je v místnostech ukončena zásuvkou RJ45. Část trasy pro připojení kamery k síti byla nahrazena optickými vlákny, protože konstrukce penetračních panelů komory neumožňuje použití UTP ani STP (Shielded Twisted Pair) kabelů, viz kap. 4.1.2. Konkrétně se jedná o vzájemné propojení převodníků, které zajišťují změnu přenosového média, viz kap. 5.1. Nutné je podotknout, že možnost přímého připojení kamery na síťovou kartu řídicího PC obsluhy, viz kap. 4.2, Obr. 4.11, nebyla v daném návrhu uvažována. PC disponuje celkem dvěma síťovými kartami, které jsou trvale obsazeny, a tak stávající konfigurace PC neumožňuje v tomto směru další rozšíření.

Následující kapitoly se zabývají jednotlivým řešením a realizací uvedených dílčích návrhů.

6.1 Návrh stínicího krytu pro kamerový systém

Cílem kapitoly je návrh stěžejního prvku zodolněné konstrukce, viz Obr. 6.1, konkrétně stínicího krytu, viz Obr. 6.2, který je určen pro kamerový systém. Návrh konstrukce stínicího krytu vychází z vnějších rozměrů 300 x 300 x 400 mm, tj. d x š x v, stanovených s ohledem na parametry instalovaného kamerového systému. Rozměry kamery jsou 245 x 155 mm, tj. v x ø, a převodníku 105 x 95 x 25 mm. Celková hmotnost kamerového systému činí 2,6 kg. Při volbě rozměrů krytu byla uvažována i možnost dodatečného použití odpovídajícího absorpčního materiálu na vnitřní stěny krytu, aby se omezil vznik mnohočetných odrazů elektromagnetického pole uvnitř krytu. Vzhledem ke konstrukčnímu provedení kamery a převodníku, viz kap. 5.1, Obr. 5.1 a Obr. 5.2, bylo vhodné kameru instalovat na horní, resp. stropní stěnu krytu a převodník na spodní.

Účel a nutnost řešení stínicího krytu vyplývá z úvodu kap. 1 a 6. Jak již bylo uvedeno, stínicí kryt je navrhován pro provoz v elektromagnetickém prostředí, které je specifické pro bezodrazové stíněné komory. V tomto případě se jedná o komoru FRANKONIA - SAC-3 Plus S, která je konstruována pro frekvenční pásmo od 26 MHz do 18 GHz, viz kap. 4.1. Kryt musí být tedy účinný i vůči nejvyšší uvažované frekvenci elektromagnetického rušení, tj. v oblasti milimetrových vln. Nutné je podotknout, že pracoviště nedisponuje přístrojovým vybavením, které umožňuje využití celého frekvenčního pásma komory. Během měření elektromagnetického rušení je používán měřicí přijímač R&S - ESU8 do 8 GHz, viz kap. 4.2.2, a při testech na elektromagnetickou odolnost je generován vysokofrekvenční zkušební signál pomocí generátoru R&S - SMB100A do 6 GHz, viz kap. 4.2.3.

Výběr materiálu na konstrukci stínicího krytu a spojovací technologie je proveden v kap. 6.1.1. Návrh nezbytných technologických otvorů krytu pro provoz kamerového systému je řešen v kap. 6.1.2 a 6.1.3. Ověření vhodnosti vybraných materiálů na realizaci stínicího krytu je předmětem kap. 6.1.4 a 6.1.5. Návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt je popsán v kap. 6.1.6. Výsledné návrhy konstrukčního řešení jednotlivých dílů stínicího krytu, včetně nosné konstrukce, jsou součástí příloh P2, P3 a P4. Související výkresová dokumentace byla vytvořena v softwarovém prostředí Microsoft Visio 2013. Následně byla použita jako podklad pro výrobní dokumentaci uvedenou v příloze P12 a je nedílnou součástí této práce. Pracovní název pro stínicí kryt byl zvolen SK – V1.

6.1.1 Výběr vhodného materiálu a spojovací technologie na SK – V1

Vzhledem k elektrickým a stínicím vlastnostem je obecně vhodným materiálem kov, pro požadované účely zpracován v podobě plechu. Plechy jsou vyráběny různou technologií a dodávány v široké škále kovových materiálů i rozměrů. Mezi nejčastěji používané materiály na výrobu stínění v rámci elektrotechnického průmyslu patří nerezová ocel, mosaz a hliník, viz kap. 2.

V tomto případě je vhodný plech z nerezové oceli, a to nejen pro jeho vlastnosti i dostupnost, ale také vzhledem k materiálům používaným v bezodrazové stíněné komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S, viz kap. 4. Jedná se o korozivzdorný materiál, který je odolný vůči povrchové oxidaci vlivem působícího okolí, tudíž nevyžaduje dodatečnou povrchovou úpravu ani pro účely manipulace obsluhou komory. Nutné je zmínit, že předpokládané provozní podmínky pro stínicí kryt SK – V1, včetně instalovaného kamerového systému, jsou zcela běžné a srovnatelné s prostředím, které odpovídá z pohledu působení vnějších vlivů prostorům normálním [56].

Dále z teoretických poznatků vyplývá, že pro celkovou elektromagnetickou stínicí účinnost, v tomto případě kovové přepážky, je nejdůležitější útlum odrazem a absorpcí. Na vysokých frekvencích, kde je patrnější absorpční útlum, je elektromagnetická stínicí účinnost vyšší u magnetických kovových materiálů, tj. s $\mu_r \gg 1$ než u těch nemagnetických s $\mu_r \approx 1$, které jsou účinnější na nízkých frekvencích, kde se více uplatňuje útlum odrazem. Za předpokladu, že jsou magnetické i nemagnetické materiály stejně vodivé [2], [3], [5]. Nerezová ocel je vyráběna v několika standardizacích a stanovena v různých mezinárodních normách. Jejich číselné označení je určeno podle poměru příměsí ušlechtilých kovů. Existuje tedy velmi široká nabídka jednotlivých druhů nerezové oceli. Z těchto důvodů je výběr omezen pouze na hlavní skupiny nerezových. Jednou z nejrozšířenějších skupin jsou nerezové austenitické oceli, které jsou nemagnetické, ale za určitých podmínek se dají slabě zmagnetizovat. Tento nerovnoměrný magnetismus je nejvýraznější v okolí vyvrtných otvorů, opracovaných ploch nebo v rozích, které vznikly různou úpravou a tvarováním. Ve většině případů se nedá zjistit běžným ručním magnetem. Naopak feritické, martenzitické a duplexní nerezové oceli jsou magnetické [57]. Vzhledem k frekvenčnímu pásmu komory, viz kap. 6.1, je nejvhodnější nerezová feritická ocel, ale její pořizovací cena je několikanásobně vyšší než u austenitické oceli a vyžaduje specifické postupy během jejího opracování. S tím úzce souvisí i omezená dostupnost firem zabývajících se výrobou z tohoto druhu oceli. Nutné je poznamenat, že se jedná o kusovou zakázku a výroba tohoto typu není žádoucí pro většinu firem v daném oboru. Z těchto důvodů byla použita nerezová austenitická ocel, konkrétně ČSN 17240/AISI 304 (American Iron and Steel Institute). Jedná se o běžně dostupný materiál, který je vhodný pro potravinářský, farmaceutický i chemický průmysl. Na rozdíl od předešlé oceli během sváření nelimituje tloušťku materiálu, nevyžaduje přídavek dalšího kovu ani následné tepelné úpravy [57].

Jak vyplývá z kap. 2, ideální stínicí kryt zamezí všem rušivým signálům, resp. je kompletně uzavřený a vyrobený z celistvého, homogenního kovového materiálu. Nemá tudíž žádné technologické otvory, které vznikly neplánovaně nebo naopak plánovaně při výrobě stínění. Tyto otvory by se chovaly jako nežádoucí zesilující plošné antény a negativně by ovlivňovaly elektromagnetickou stínicí účinnost krytu [2], [3], [5]. Nicméně kamerový systém

instalovaný ve stínicím krytu SK – V1 potřebuje ke své činnosti napájení a připojení do lokální počítačové sítě, viz kap. 6. Z provozního hlediska je také nutné zajistit průhled pro kameru, vhodné chlazení celého systému a umožnit přístup pro jeho instalaci, případně servis. Jako u většiny stínicích krytů jsou technologické otvory nezbytnou součástí realizace a musí se uvažovat již během jeho návrhu. Návrhem otvorů pro uvedené napájecí i datové vedení se zabývá kap. 6.1.2 a průhledem, chlazením, včetně přístupu pro kamerový systém kap. 6.1.3.

Cílem návrhu stínicího krytu SK – V1 bylo omezit šroubové spoje, aby se předešlo nežádoucím netěsnostem nebo vodivě nedokonalým spojením, které mohou být způsobeny i nevhodným těsnícím postupem nebo volbou těsnicího materiálu, a proto při výrobě základní konstrukce, resp. šasi SK – V1, byly použity pouze svářené spoje. Jednotlivé konstrukční prvky byly zavařeny po celém obvodu nebo délce vznikajícího spoje. Aby nedocházelo vlivem tepla ze samotného procesu sváření k výraznému zvlnění spojovaných částí konstrukce, bylo vhodné vytvářet sváry postupně. Z uvedených důvodů a současně, aby se zabránilo nežádoucímu propálení materiálu během sváření, byl použit plech z nerezové oceli o minimální tloušťce 2 mm, i když se tím dvojnásobně zvýšila hmotnost navrhované konstrukce SK – V1. Ověření elektromagnetické stínicí účinnosti vybraného materiálu je předmětem kap. 6.1.5. Vytvořené sváry uvnitř SK – V1 byly následně vybroušeny do roviny s plochami spojovaných konstrukčních prvků. Během návrhu byla také uvažována samotná proveditelnost a homogenita materiálu u všech konstrukčních prvků, včetně nezbytných spojů, které byly použity na realizaci kompletního stínicího krytu SK – V1.

Výsledný návrh základní konstrukce stínicího krytu SK – V1 je řešen v příloze P2. Návrh vyžadoval poměrně přesnou představu o rozměrech a rozložení všech souvisejících konstrukčních prvků, která se upřesnila až samotnou tvorbou výkresové dokumentace pro následnou výrobu.

6.1.2 Návrh otvorů pro napájecí a datové vedení kamerového systému

Předmětem kapitoly je návrh technologických otvorů pro napájecí a datové vedení kamerového systému instalovaného do stínicího krytu SK – V1. Jak vyplývá z kap. 6.1.1, otvory mají zásadní vliv na elektromagnetickou stínicí účinnost krytu, proto jsou navrhovány v podobě průchodných vlnovodů. Dva vlnovody byly použity pro napájecí vedení kamerového systému, konkrétně kamery MERIT LILIN - IPS5184S a převodníku AT-MC102XL, a jeden pro připojení kamery do lokální počítačové sítě, viz kap. 6. Vlnovody jsou součástí spodní stěny základní konstrukce stínicího krytu SK – V1. Konstrukční provedení je patrné z přílohy P2, Obr. P2.7.

V tomto případě bylo nejvhodnějším řešením základní provedení průchodu založeného na principu podkritického dutého vlnovodu [2], [5]. Mimo jiné se také jedná o nejčastěji používaný vlnovod pro vedení kabeláže. Příčný průřez vlnovodu je kruhový a jeho rozměry, konkrétně délka t a vnitřní poloměr a , musí

být navrženy tak, aby byla zajištěna požadovaná elektromagnetická stínicí účinnost, která je platná pro frekvenci $f \ll f_m$, přitom mezní frekvence f_m je 18 GHz. Jedná se o nejvyšší uvažovanou frekvenci elektromagnetického rušení, viz kap. 6.1. Na základě těchto předpokladů a vztahu pro výpočet f_m , lze určit parametr a navrhovaných vlnovodů [5]:

$$a = \frac{c}{3,41 \cdot f_m} = \frac{299\,792\,458}{3,41 \cdot 18\,000\,000\,000} \doteq 0,0049 \text{ [m]} \quad (6.1)$$

kde c [m/s] je rychlost světla ve vakuu, tj. 299 792 458 m/s [58] a f_m [Hz] je výše uvedená mezní frekvence elektromagnetického rušení.

Výsledný vnitřní průměr navrhovaných vlnovodů je tedy 9,8 mm, ale při návrhu bylo nutné uvažovat i praktický účel průchodových vlnovodů a jejich reálné provedení. Část trasy pro připojení kamery do lokální počítačové sítě byla navržena pomocí optických vláken ukončených konektory typu SC, viz kap. 6. Vzhledem k tomu, že se jedná o nerozebíratelné spojení, musel být zajištěn jejich dostatečně volný průchod vlnovodem, aby nedocházelo k poškození konektorů, které by vyžadovalo odborný servis nebo výměnu příslušného vlákna. Návrh musel dále respektovat dostupnost a konstrukční provedení kabelových vývodů, které jsou součástí vlnovodů určených pro napájecí vedení kamery i převodníku. Jedná se o speciálně navržené vývodky pro účely EMC, danou problematikou se zabývá kap. 6.4.1. Napájecí vedení bylo řešeno stíněnými kabely, viz kap. 6.4.1, 6.4.2, a vedeno samostatnými vlnovody, protože kamera vyžaduje napájecí napětí 24 V AC a převodník 12 V DC. Návrh musel také zachovat homogenitu použitého materiálu na výrobu konstrukce SK – V1, viz kap. 6.1.1. Z uvedených důvodů byly pro další účely návrhu zvoleny průchodné vlnovody s vnitřním průměrem 14 mm a tloušťkou stěny 2 mm. Vlnovody byly vyrobeny soustružením z nerezové oceli. Jejich délka byla stanovena na základě určeného vnitřního poloměru, tj. 7 mm, a požadované elektromagnetické stínicí účinnosti 90 dB. V tomto případě vyšší hodnota není opodstatněná, protože ji nelze ověřit reálným měřením vzhledem k dynamickému rozsahu spektrálního analyzátoru, viz kap. 4.2.2 a 6.1.5. Nutné je také poznamenat, že stínicí účinnost bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S je větší nebo rovna 80 dB a platná pro frekvenci 1 GHz. Výpočet parametru t , resp. délky vychází z [5]:

$$t \approx \frac{SE \cdot a}{16} = \frac{90 \cdot 0,007}{16} \doteq 0,039 \text{ [m]} \quad (6.2)$$

kde SE [dB] je elektromagnetická stínicí účinnost a a [m] je vnitřní poloměr průchodného vlnovodu.

Navrhované průchodné vlnovody musely mít vnitřní poloměr 7 mm a minimální délku 39 mm, aby byla splněna elektromagnetická stínicí účinnost 90 dB, která jak již bylo popsáno, je platná pro frekvenci elektromagnetického rušení $f \ll f_m$. Mezní frekvence f_m je v tomto případě stanovena z výše uvedeného výpočtového vztahu (6.1):

$$f_m = \frac{c}{3,41 \cdot a} = \frac{299\,792\,458}{3,41 \cdot 0,007} \doteq 12\,559\,382\,405 \text{ [Hz]} \doteq 12,6 \text{ [GHz]} \quad (6.3)$$

kde c [m/s] je rychlost světla ve vakuu, tj. 299 792 458 m/s [58] a a [m] je vnitřní poloměr průchodného vlnovodu.

Konstrukčním návrhem průchodných vlnovodů se zabývá příloha P2. Pro realizaci byla zvolena délka vlnovodů 50 mm.

6.1.3 Návrh průhledu, chlazení a přístupu pro kamerový systém

Jak je patrné z Obr. 6.2 v kap. 6, průhledový otvor určený pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S současně slouží pro servisní i montážní účely. Cílem bylo minimální narušení celistvosti stínicího krytu SK – V1. Uzavírací systém víceúčelového otvoru byl navržen s ohledem na možnost opakovatelného použití, aniž by touto manipulací byla snížena jeho elektromagnetická stínicí účinnost a tím stínění celého krytu. Frekvence používání uzavíracího systému byla uvažována i při samotném výběru kamery, proto jednou z hlavních priorit byla nízká poruchovost kamery a její vhodnost pro nepřetržitý provoz, viz kap. 5. V ideálním případě nebude servisní zásah, který by vyžadoval přímý přístup ke kameře, nutný nebo bude zcela výjimečný. Za tohoto předpokladu nebyl popisovaný systém navrhován formou dvířek. Dvířka vyžadují panty, které se z pohledu EMC obtížně a většinou neúčinně těsní. Navíc konstrukce dvířek by musela být trezorového typu, což by mělo zásadní vliv na pořizovací cenu a robustnost celého krytu. Z těchto důvodů byl uzavírací systém otvoru konstrukčně řešen jako montážní rám o vnějších rozměrech 280 x 360 mm a vnitřních 200 x 280 mm, tj. š x v. Vnitřní rozměry rámu jsou identické s popisovaným otvorem. Rozměry rámu i otvoru byly stanoveny na základě návrhu stínicího krytu uvedeného v kap. 6.1 a instalačního uspořádání kamerového systému, včetně převodníku. Tloušťka rámu se upřesní až samotným způsobem řešení jeho konstrukce. Rám se instaluje na přední stěnu stínicího krytu SK – V1.

Hlavním cílem návrhu montážního rámu byla jeho průhledová část pro kameru. Jedno z možných řešení bylo použít elektromagneticky stíněné okno. Základem tohoto systému jsou dvě skla, která mají mezi sebou velmi jemnou síťovinu obvykle z nerezového drátu, která je vodivě spojena s montážním rámem okna. Jedná se o zakázkovou výrobu a výsledný komponent je určen pro přímou instalaci. Udávaná elektromagnetická stínicí účinnost tohoto komponentu je 75 až

50 dB pro frekvenční pásmo 1 až 18 GHz [59]. Touto velmi složitou výrobní technologií se na světě zabývá pouze několik výrobců, např. společnost LAIRD Technologies a SOLIANI EMC, které patří mezi přední výrobce stínících prvků v oblasti elektromagnetického rušení. V tomto případě byla pořizovací cena stanovena na 240 000 Kč s DPH. Cena šestinásobně přesahuje cenu celého kamerového systému, a tudíž nebyla akceptovatelná. Cenově dostupnější jsou konstrukce vyrobené z plexiskla nebo polykarbonátu jako je Lexan. Tyto systémy používají jako stínicí materiál pokovené textilie v kombinaci polyester – Cu, Ni, ale elektromagnetická stínicí účinnost je nižší, konkrétně od 50 do 30 dB platná pro frekvenční pásmo od 1 do 18 GHz [59]. Vzhledem k uvedeným ekonomickým a parametrickým aspektům byl vhodnější vlastní návrh konstrukce.

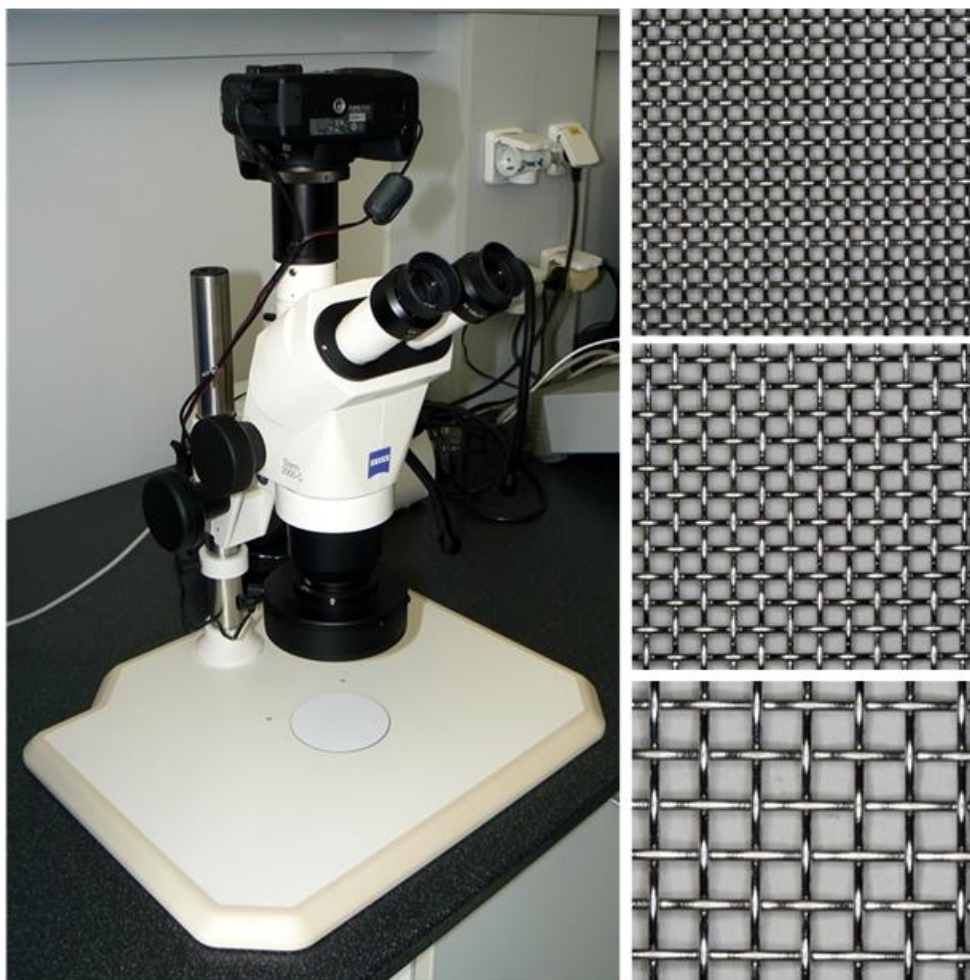
Návrh vycházel ze sendvičového uspořádání konstrukce. Nosná část konstrukce byla realizována pomocí dvou identických rámců vyrobených z plechu z nerezové oceli o tloušťce 2 mm čili ze stejného materiálu jako základní konstrukce SK - V1. Mezi rámy byla vložena mřížka vyrobená z technické tkaniny, která tvoří průhledovou část konstrukce určenou pro kameru. Parametry tkaniny musely být zvoleny s ohledem na funkci stínicího krytu SK – V1, který je určen pro provoz v elektromagnetickém prostředí bezodrazové stíněné komory. Komora Frankonia SAC – 3 Plus S je navržena pro frekvenční pásmo od 26 MHz do 18 GHz, viz kap. 4.1. Z uvedeného vyplývá, že stínicí kryt a tkanina musí mít dostatečnou elektromagnetickou stínicí účinnost vůči nejvyšší uvažované frekvenci elektromagnetického rušení, tj. 18 GHz, odpovídající vlnové délce 16,7 mm. Uvedená vlnová délka je v tomto případě mezní λ_m a byla stanovena na základě vztahu pro výpočet mezní frekvence f_m podle [5]:

$$\lambda_m = \frac{c}{f_m} = \frac{299\,792\,458}{18\,000\,000\,000} \doteq 0,0167 \text{ [m]} \quad (6.4)$$

kde c [m/s] je rychlost světla ve vakuu, tj. 299 792 458 m/s [58] a f_m [Hz] je mezní frekvence, resp. nejvyšší uvažovaná frekvence elektromagnetického rušení.

Jak bylo uvedeno výše, tkanina nahrazuje stíněné průhledové sklo pro kameru. Musela tedy mít dostatečnou konstrukční tuhost, která nevyžaduje zasazení do skla, plexiskla nebo jiného materiálu na bázi polykarbonátu. Předpokladem byla nízká prašnost v komoře. V tomto případě se jednalo o technickou tkaninu vyrobenou z nerezové oceli, která zároveň umožňuje i odvětrávání stínicího krytu. Odvětrávání je nutné z důvodu chlazení instalovaného kamerového systému. Při výběru vhodného materiálu se vycházelo z dostupných technických tkanin na českém trhu. Jedním z mála výrobců zabývajících se výrobou technických tkanin je SCREEN servis, který se mimo jiné specializuje i na velmi jemné drátěné tkaniny pro potravinářský a chemický průmysl, které jsou prioritně vyráběny z nerezové oceli. Volba struktury tkaniny nevycházela pouze z výše určené délky

vln rušivého elektromagnetického pole, ale také z hlediska realizace celého komponentu. Všechny části popisované konstrukce musely být vodivě spojeny v jeden celek. K tomu účelu bylo použito nerozebíratelného spojení prostřednictvím nýtů z nerezové oceli. Bylo vhodné vybrat jemnější strukturu technické tkaniny, aby během zalisování nýtů nedocházelo k nežádoucí deformaci nosného rámu a tím i jeho kontaktních ploch. To by mělo zásadní vliv na funkci elektromagnetického těsnění použitého během instalace výsledného průhledového rámečku na stínící kryt SK – V1, která byla provedena pomocí šroubových spojů. Konstrukční řešení rámečku je ukázáno v příloze P3. Na základě uvedených požadavků byly vybrány tři vzorky technických tkanin. Všechny byly dostupné v rámci nabízeného standardního tkaného programu a zhotoveny z nerezové oceli. Tkaniny byly vyrobeny 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 [60]. Struktura tkanin je patrná z Obr. 6.3 vpravo.



Obr. 6.3: Stereomikroskop a struktura vybraných technických tkanin zvětšená 10x

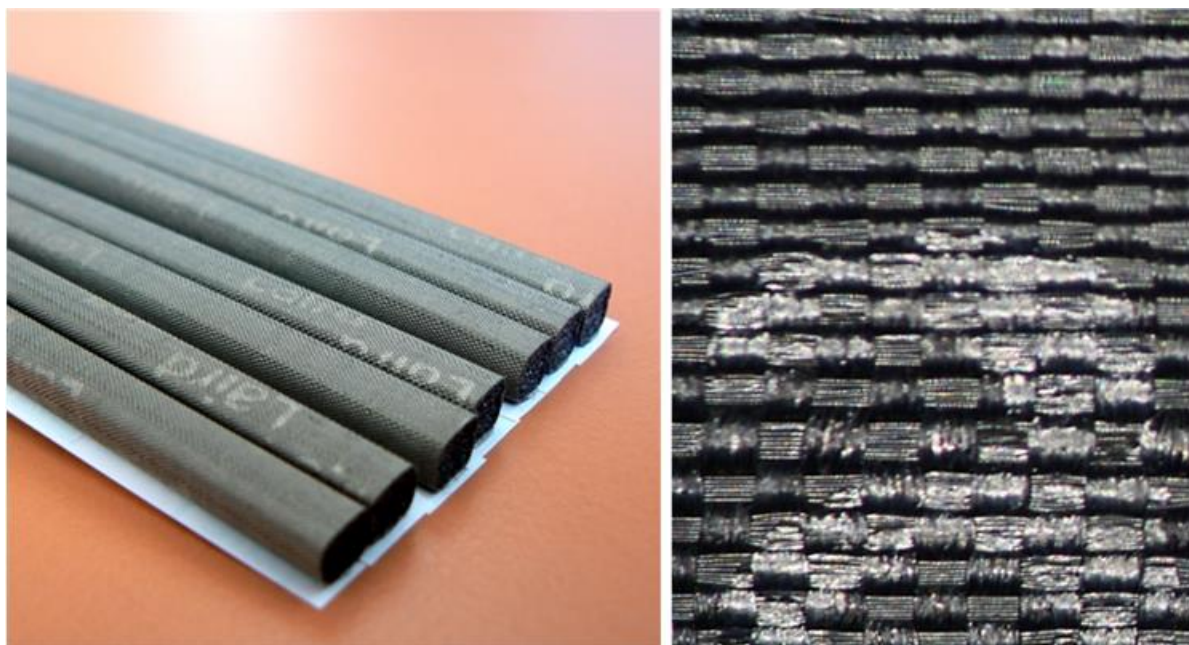
Vpravo na Obr. 6.3 se nachází ukázka vybraných tkanin, konkrétně TT-0,400-0,22-1.4301-1000, TT-0,630-0,25-1.4401-1000 a TT-1,250-0,40-1.4301-1000, kde první parametr uvádí světlou šířku ok tkaniny v mm, druhý parametr průměr použitého drátu v mm, následuje druh materiálu a celková šířka vyráběné tkaniny v mm [60]. Přehled rozměrových parametrů vybraných technických tkanin je uveden v Tab. 6.1.

Tab. 6.1: Rozměrové parametry technických tkanin podle [60]

Technická tkanina	Světlá šířka ok	Průměr použitého drátu	Maximální tloušťka tkaniny
	[mm]	[mm]	[mm]
TT-0,400-0,22-1.4301-1000	0,40	0,22	0,44
TT-0,630-0,25-1.4401-1000	0,63	0,25	0,50
TT-1,250-0,40-1.4301-1000	1,25	0,40	0,80

Snímky na popisovaném obrázku byly pořízeny pomocí stereomikroskopu ZEISS Stemi 2000-C a fotoaparátu CANON EOS 1000D, viz Obr. 6.3 vlevo. Pro lepší názornost byly vzorky tkanin zvětšeny 10x. Vliv vybraných technických tkanin na kvalitu obrazu kamery MERIT LILIN - IPS5184S a jejich vhodnost i z pohledu elektromagnetického stínění je předmětem kap. 6.1.4 a 6.1.5.

Elektromagnetickou těsnost mezi instalovaným průhledovým rámečkem a přední stěnou stínicího krytu SK – V1 zajišťuje těsnění z produktové řady FOF (Fabric over Foam), konkrétně 4522-AB-51K-01910 od společnosti LAIRD Technologies, viz Obr. 6.4 vlevo. Jádrem těsnění je vyrobeno z profilovaného pěnového materiálu (polyuretan) ve tvaru čtverce o rozměrech 4 x 4 mm, které je potaženo vodivou, resp. pokovenou textilií (polyester – Cu, Ni). Jádrem se vyznačuje vysokou pružností a dlouhou životností. Tím je zajištěna i opakovatelnost jeho použití během servisních zásahů vyžadujících přístup ke kameře. Struktura pokoveného textilního materiálu je patrná z Obr. 6.4 vpravo. Jedná se o jeho 50x zvětšený detail pomocí výše zmíněného stereomikroskopu. Textilie poskytuje vysokou odolnost vůči oděru i nežádoucímu přetržení vlivem manipulace s těsněním při jeho instalaci. Výrobce doporučuje komprese těsnění během instalace je stanovena na hodnotu mezi 30 a 50 % z původní výšky těsnění. Dále výrobce uvádí elektromagnetickou stínicí účinnost u tohoto typu těsnění vyšší než 100 dB, která je platná pro frekvenční pásmo od 200 MHz do 10 GHz [61].

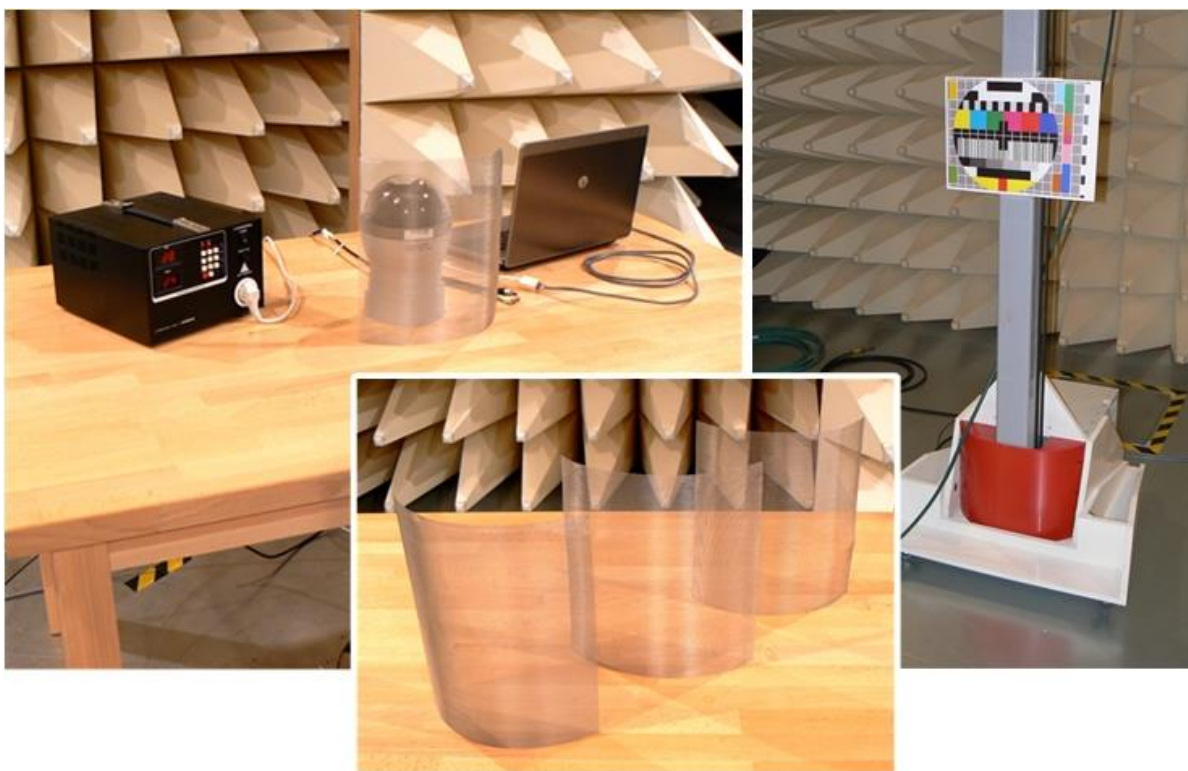


Obr. 6.4: Těsnění FOF 4522-AB-51K-0191 a 50x zvětšená struktura jeho povrchu

Vybrané těsnění bylo osazeno před i za šroubové spoje instalovaného průhledového rámečku. Snadnější montáž rámečku na přední stěnu stínícího krytu SK – V1 byla zajištěna pomocí závrtných šroubů, viz příloha P2. Návrh otvorů pro šrouby vycházel z uvedené kapitoly. Výroba otvorů vyžadovala vysokou přesnost vrtání, které bylo vzhledem k sendvičové struktuře nosné části konstrukce rámečku komplikované. Konstruktivním návrhem průhledového rámečku se zabývá příloha P3.

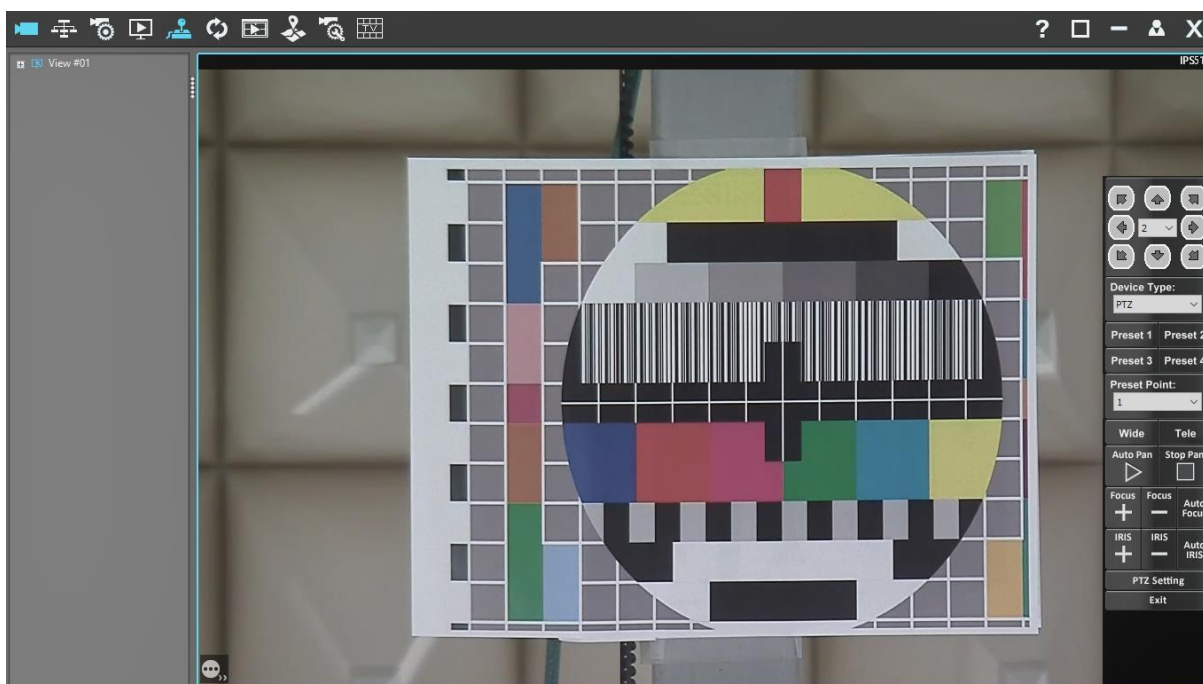
6.1.4 Vliv technických tkanin na kvalitu obrazu z kamery

Předmětem kapitoly je kvalitativní posouzení vybraných technických tkanin z pohledu jejich průhlednosti, která má zásadní vliv i na viditelnost kamery MERIT LILIN - IPS5184S a její schopnost zaostřit monitorovanou scénu. Scénu představuje zkoušené zařízení umístěné na pracovním stole v bezodrazové stíněné komoře, viz kap. 4.1.5. Kamerový systém nesleduje pouze probíhající měření uvnitř komory, a to z bezpečnostních důvodů, ale může být využit i během zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost. Prostřednictvím obrazu z kamery lze stanovit mez odolnosti u některých zkoušených zařízení. V tomto případě se může jednat o zobrazovací panely různých konstrukcí. Předpokladem je, aby kamera byla schopna zaostřit monitorovaný panel a poskytnout obsluze komory možnost v průběhu testování pozorovat i následně vyhodnotit případné poruchy, např. projevující se rušením daného panelu.



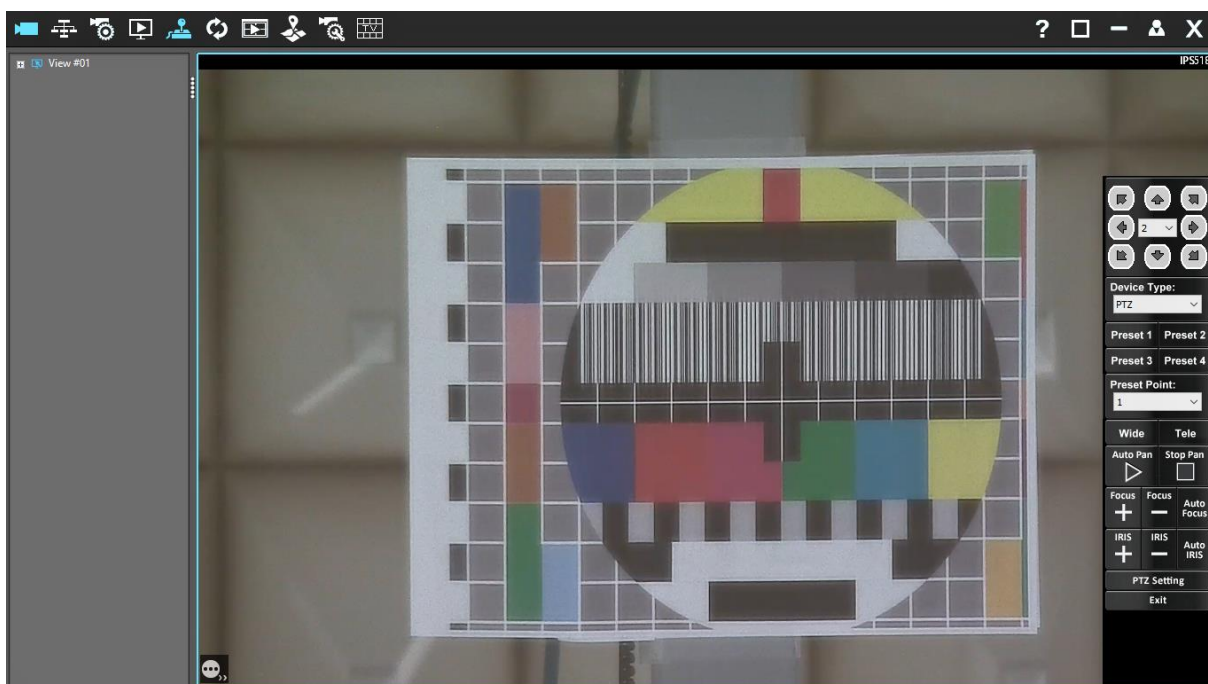
Obr. 6.5: Testovací pracoviště na ověření vlivu technických tkanin na kvalitu obrazu

Na Obr. 6.5 je zobrazeno testovací pracoviště, jehož uspořádání bylo dáno povahou prováděného testu, který byl pouze předběžný, za účelem získání základní představy o vlivu daných technických tkanin na kvalitu obrazu pořizovaného kamerou. Nutno konstatovat, že pracoviště se nachází přímo v bezodrazové stíněné komoře, tedy v prostoru, ve kterém byl plánovaný i provoz kamerového systému. Stávající hardwarová a softwarová konfigurace kamerového systému je součástí přílohy P1. Pro testovací účely byla kamera napájena pomocí střídavého laboratorního zdroje Diametral - AC250K1D a umístěna na pracovním stole, včetně testovaného vzorku technické tkaniny, který byl instalován 75 mm před kameru. Vzdálenost tkaniny od kamery byla stanovena na základě rozměrů kamery a navrhované konstrukce stínicího krytu SK – V1, viz kap. 6.1, odpovídala tedy skutečné instalaci. Jednotlivé technické tkaniny lze vidět na obrázku uprostřed, tj. TT-0,400-0,22-1.4301-1000, TT-0,630-0,25-1.4401-1000 a TT-1,250-0,40-1.4301-1000. Na obrázku vpravo se nachází televizní zkušební obrazec, který je umístěn na anténním stojanu ve vzdálenosti 4,5 m od kamery. Tato vzdálenost byla určena s ohledem na plánované rozmístění kamerového systému v rámci komory, viz kap. 6. Prostřednictvím obrazce byla posuzována ostrost obrazu pořizovaného kamerou v závislosti na použité technické tkanině.

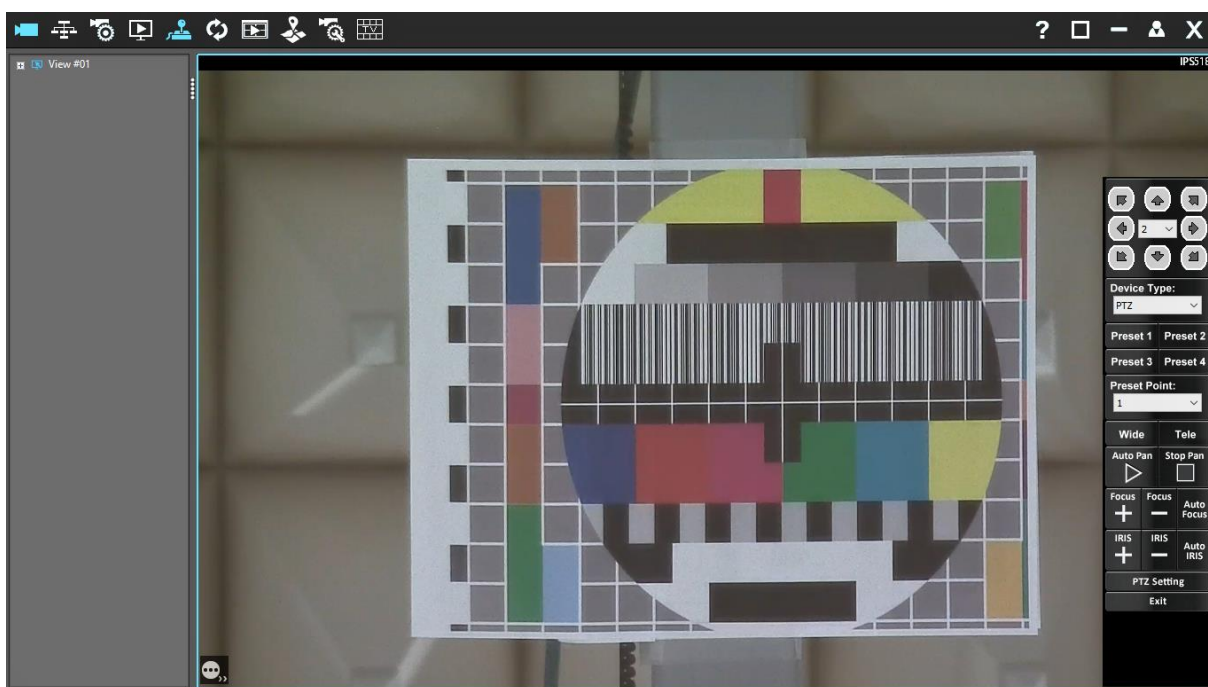


Obr. 6.6: Obraz z kamery bez technické tkaniny

Nejdříve byl pořízen snímek správně zaostřeného obrazce, tj. bez vlivu posuzovaných technických tkanin, viz Obr. 6.6. Zaostření bylo provedeno automaticky po přiblížení daného obrazce objektivem kamery. Cílem bylo získat referenční snímek pro následné testování tkaniny z hlediska obrazové kvality. Tímto byl také definován konkrétní objekt pro zaměření kamery, která ho dále sledovala v automatickém režimu. Tento režim poskytoval dostatečně ostrý obraz monitorovaného objektu i během měnících se světelných podmínek okolí, které byly ovlivňovány vkládáním jednotlivých technických tkanin před objektiv kamery. Nutné je podotknout, že během testu bylo osvětlení komory plně funkční a v provozu bylo všech šest halogenových světel. Výsledné snímky jsou ukázány na Obr. 6.7, Obr. 6.8 a Obr. 6.9.



Obr. 6.7: Obrázek z kamery přes technickou tkaninu TT-0,400-0,22-1.4301-1000



Obr. 6.8: Obrázek z kamery přes technickou tkaninu TT-0,630-0,25-1.4401-1000



Obr. 6.9: Obrázek z kamery přes technickou tkaninu TT-1,250-0,40-1.4301-1000

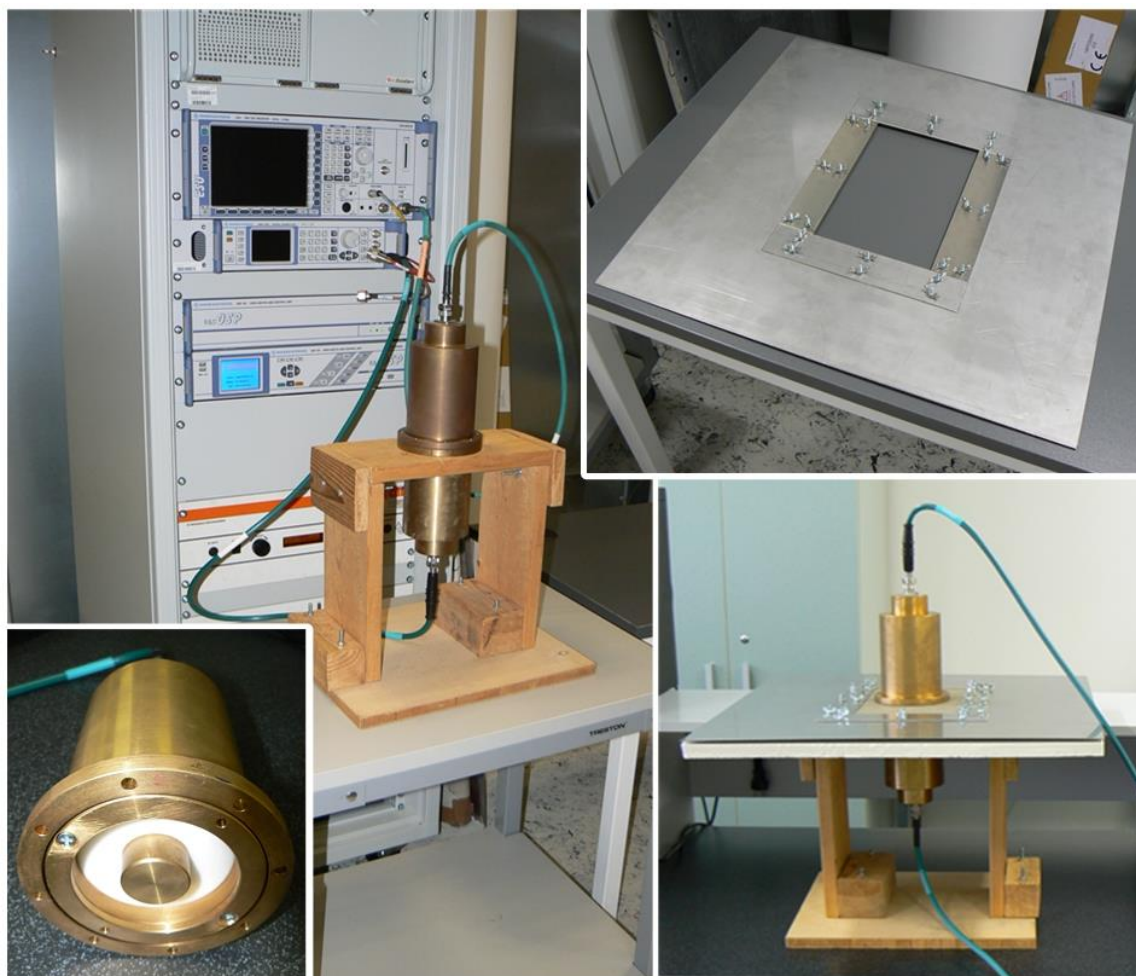
Ze série snímků zkušební obrazce pořízených kamerou MERIT LILIN - IPS5184S během testu je patrné, že nejhorší světelné podmínky pro kameru a současně také nedostatečnou ostrost obrazu poskytovala tkanina TT-0,400-0,22-1.4301-1000, viz Obr. 6.7. Vhodnějším řešením byly tkaniny TT-0,630-0,25-1.4401-1000 a TT-1,250-0,40-1.4301-1000, které umožňovaly kameře sledovat obrazec s dostatečnou ostrostí a na téměř shodné úrovni, viz Obr. 6.8 a Obr. 6.9. Rozhodující byla měření z pohledu elektromagnetické stínící účinnosti jednotlivých tkanin, která jsou předmětem kap. 6.1.5. Jednalo se pouze o předběžný test, lze tedy předpokládat, že se kvalita obrazu může změnit vlivem samotné konstrukce stínícího krytu nebo instalací kamerového systému na určené místo v komoře a s tím souvisejících světelných podmínek.

6.1.5 Elektromagnetická stínící účinnost vybraných materiálů na SK-V1

Předmětem kapitoly je stanovit elektromagnetickou stínící účinnost vybraných materiálů a ověřit jejich vhodnost na konstrukci stínícího krytu SK – V1, konkrétně plechu z nerezové oceli, viz kap. 6.1.1, a technických tkanin, viz kap. 6.1.3.

Elektromagnetická stínící účinnost uvedených materiálů byla určena měřením, které vycházelo ze standardu ASTM D4935 – 18. Jedná se o zkušební metodu, která poskytuje postup pro měření požadované stínící účinnosti platný pro rovinné materiály a TEM (Transverse Electromagnetic Mode) vlnu vzdáleného elektromagnetického pole [62], tj. intenzita elektrického pole a magnetická indukce jsou kolmé na směr šíření vlny [58]. V tomto případě TEM čili příčně elektromagnetická vlna vzniká a šíří se po koaxiálním vedení, u kterého

se předpokládá, že je homogenní. Uspořádání měřicího pracoviště, včetně přístrojového vybavení, lze vidět na Obr. 6.10.

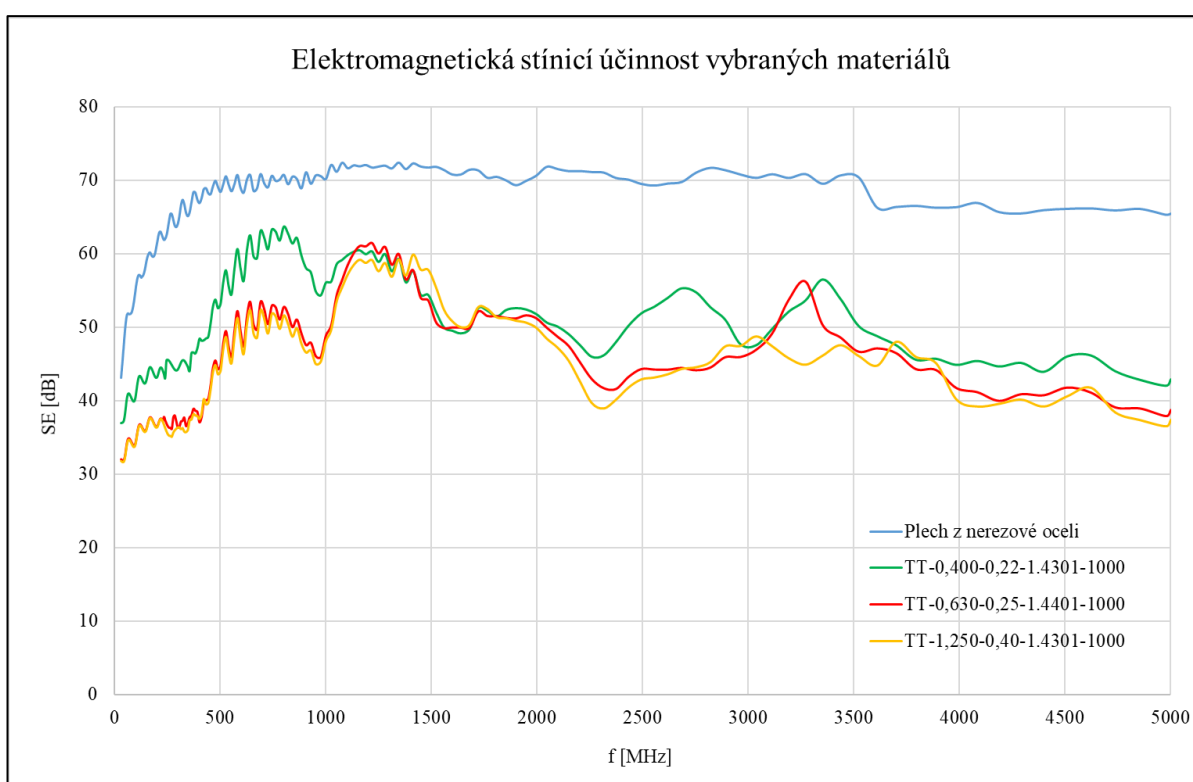


Obr. 6.10: Měření elektromagnetické stínící účinnosti

Pro účely měření bylo využito pracoviště obsluhy komory, viz kap. 4.2. Generátor vysokofrekvenčních signálů SMB100A od R&S, viz kap. 4.2.3, byl připojen k adaptéru prostřednictvím koaxiálního vedení s impedancí 50Ω , stejně tak i měřicí přijímač ESU8 od R&S, který byl používán ve funkci spektrálního analyzátoru, viz kap. 4.2.2. Adaptér se skládá ze dvou symetrických dílů ve směru osy děleného koaxiálního vedení [1], viz Obr. 6.10. Detail dílu adaptéru je zobrazen vlevo dole. Tělo adaptéru je vyrobeno z mosazi a jeho parametry jsou navrženy s ohledem na výše uvedenou vstupní i výstupní impedanci koaxiálního vedení.

Metoda měření, kterou předepisuje výše zmíněný standard, je platná pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1,5 GHz. Důvodem je, že při vyšších frekvencích mohou být generovány i jiné vlny než TEM [63]. Za účelem vytvoření představy o chování elektromagnetické stínící účinnosti vybraných materiálů i na vyšších frekvencích 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 popisovaného měřicího vedení, včetně adaptéru. Výsledná normalizace byla odečítána od výsledků získaných během měření jednotlivých vzorků, které probíhalo prostřednictvím softwaru EMC32, viz kap. 4.1.1. Následně bylo možné sledovat pouze průběh elektromagnetické stínící 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], viz Obr. 6.10 vpravo nahoře i dole. Jak lze vidět, rám vyžaduje podpůrnou podstavu, která byla vyrobena z polystyrenu.



Obr. 6.11: Elektromagnetická stínící účinnost vybraných materiálů

Na Obr. 6.11 jsou zobrazeny výsledné frekvenční závislosti elektromagnetické stínící účinnosti vybraných materiálů naměřené pro frekvenční pásmo 30 MHz až 5 GHz. Naměřená data jsou součástí přílohy P11. Z grafu je patrná stínící účinnost plechu z nerezové oceli, viz modrá barva, která byla stanovena na hodnotu 69 dB pro frekvenční pásmo od 250 MHz do 5 GHz. Nutno poznamenat, že během měření byl dynamický rozsah spektrálního analyzátoru 80 dB. Průběh stínící účinnosti technické tkaniny TT-0,400-0,22-1.4301-1000 je označen zelenou barvou, TT-0,630-0,25-1.4401-1000 červenou a TT-1,250-0,40-1.4301-1000 žlutou. Struktura a parametry měřených tkanin jsou součástí kap. 6.1.3. Na

základě naměřených úrovní elektromagnetické stínicí účinnosti vybraných materiálů lze konstatovat, že jsou vhodné na konstrukci stínicího krytu SK – V1.

Dále bylo cílem vybrat technickou tkaninu pro konstrukci průhledového rámečku. Při výběru byly uvažovány i výstupy stanovené v rámci kap. 6.1.4. Jako nejvhodnější technická tkanina byla zvolena TT-0,630-0,25-1.4401-1000, u které lze předpokládat stínicí účinnost 47 dB pro frekvenční pásmo od 250 MHz do 5 GHz, viz Obr. 6.11.

6.1.6 Návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1

Jak je patrné z Obr. 6.2 uvedeného v kap. 6, součástí návrhové části je i odpovídající nosná konstrukce pro stínicí kryt SK – V1, viz příloha P3, Obr. P3.4. Důležité je zmínit, že kamerový systém nemohl být instalován na vnitřní plášť bezodrazové stíněné komory, aby nedošlo k porušení záručních podmínek nebo k nežádoucímu ovlivnění správné funkce komory. V tomto případě byla vhodnější samonosná konstrukce, viz kap. 5. Vzhledem k tomu, že se kamerový systém nachází v manipulačním prostoru komory, konstrukce musela být pro účely obsluhy mobilní. Dále musela být dostatečně vysoká, aby kamera mohla monitorovat měřicí pracoviště uvnitř komory, tj. zkoušené zařízení umístěné na dřevěném stole komory, viz kap. 4.1.5. Rovněž musela být adekvátně robustní, protože předpokládaná hmotnost stínicího krytu SK – V1, včetně instalovaného kamerového systému, byla 14,5 kg.

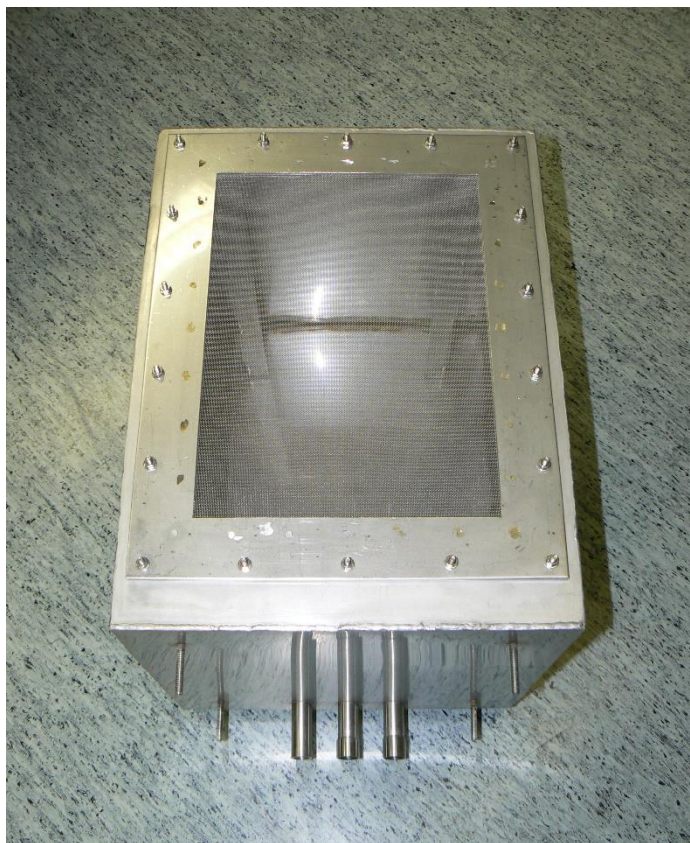
Nejpodstatnějším parametrem při návrhu nosné konstrukce pro SK – V1 byla volba materiálu. Materiál musel být vybrán s ohledem na probíhající měření uvnitř komory, která jsou zaměřena na posouzení emisí elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním a stanovení meze elektromagnetické odolnosti u zkoušených zařízení. Materiál musel mít co nejmenší relativní permitivitu a permeabilitu. Ideální materiál je takový, který je elektricky a magneticky nevodivý, aby nedocházelo k nežádoucím odrazům nebo zesílení vyzařovaných a následně i měřených zkušebních signálů [2], [3], [5]. Vzhledem k účelu použití musel mít dobré mechanické vlastnosti, konkrétně vysokou pevnost, nosnost a odolnost vůči mechanickému poškození, které mohlo nastat vlivem manipulace obsluhy s nosnou konstrukcí. Z těchto důvodů jsou konstrukce pracovních stolů v bezodrazových stíněných komorách vyráběny z vyschlého dřeva a spoje jsou realizovány nekovovými materiály [2], [5]. U dřevěných materiálů je předpokládán minimální vliv na výše uvedená měření. Vhodným materiálem může být i polystyren, který ale nevyhovuje po stránce mechanické pevnosti ani odolnosti, proto návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1 vycházel z dřevěných materiálů. Volba vhodného materiálu byla konzultována i s odbornou firmou zabývající se truhlářstvím a stolařstvím. Při výběru byla zohledněna také dostupnost materiálu, cena a realizovatelnost konstrukce. Byla vybrána pevnostní překližka, která je vhodná především pro stavební konstrukce. Překližkové desky jsou vyrobeny lepením a lisováním lichého počtu vrstev z loupaných nebo krájených dýh. Pro zajištění pevnosti jsou jednotlivé

vrstvy vkládány na sebe kolmo vůči směru vláken, resp. jsou vůči sobě otočeny o 90° [64].

Výsledný konstrukční návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1 je řešen v příloze P4.

6.2 Realizace konstrukce pro kamerový systém

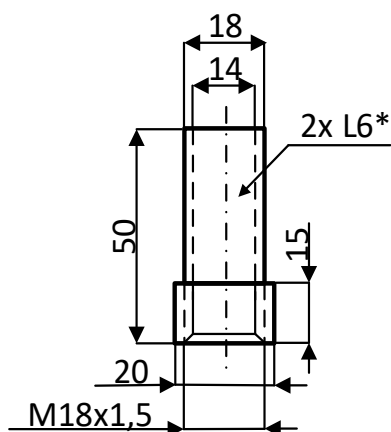
Předmětem kapitoly je realizace stínicího krytu SK – V1, včetně nosné konstrukce. Jak bylo popsáno v kap. 6, stínicí kryt je určen na instalaci kamerového systému, konkrétně kamery MERIT LILIN - IPS5184S a převodníku AT-MC102XL, který slouží na monitorování měřicího pracoviště v bezodrazové stíněné komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S. Výroba stínicího krytu SK – V1 byla zadána odborné firmě zabývající se kovovýrobou. Konstrukční návrhy prezentované v přílohách P2 a P3 byly použity k vytvoření zadávací dokumentace pro jeho výrobu. Tato dokumentace je uvedena v příloze P12.



Obr. 6.12: Stínicí kryt SK – V1

Na Obr. 6.12 lze vidět vyrobený prototyp stínicího krytu SK – V1, včetně nainstalovaného průhledového rámečku.

Jednalo se o specifickou a časově náročnou výrobu. Výroba vyžadovala konstrukční změnu u návrhu průchodných vlnovodů určených na přívod napájecího vedení pro kameru a převodník. Konkrétně se jednalo o výrobu vnitřních závitů na instalaci kabelových vývodků, která nebyla proveditelná, viz příloha P2, Obr. P2.7. Podle stávajícího návrhu by u konstrukce v závitové části vlnovodů po vyřezání závitů zůstala velmi tenká stěna, kde by hrozilo při utažení nebo povolení kabelových vývodků trvalé poškození. Z tohoto důvodu byla provedena v návrhu konstrukce změna, která je patrná z Obr. 6.13. Na obrázku jsou zobrazeny parametry vlnovodů po jejich dodatečné konstrukční úpravě. Uvedené rozměry jsou v mm. Průchodné vlnovody byly vyrobeny z nerezové oceli pomocí soustružení s tím, že v závitové části vlnovodů byla zesílena tloušťka stěn z původních 2 mm na 4 mm. Cílem bylo zajistit dostatečnou sílu stěn i po vyřezání vnitřních závitů.



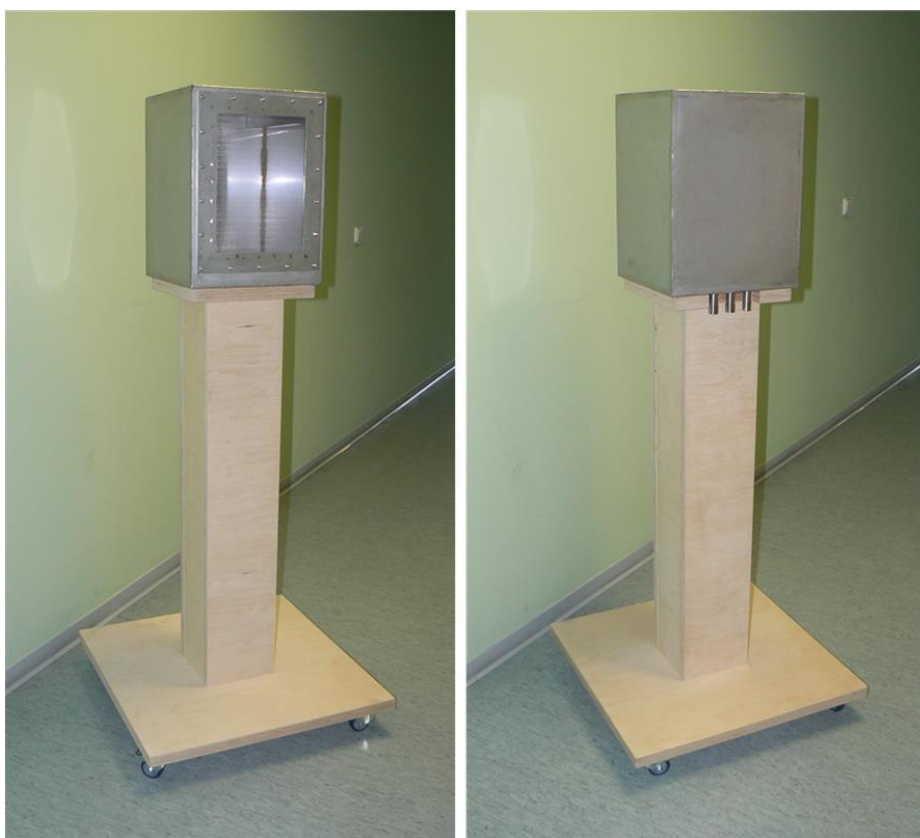
* L6 ... 2x Vlnovod z nerezů se závitem pro vývodku

Obr. 6.13: Konstrukční úprava průchodných vlnovodů

Na Obr. 6.14 lze vidět vyrobenou mobilní nosnou konstrukci pro stínící kryt SK – V1. Výroba byla zadána odborné firmě zaměřené na truhlářství a stolařství. Její realizace byla provedena až po zhotovení SK – V1, aby odpovídala jeho skutečným parametrům. Výroba byla provedena na základě zadávací dokumentace, viz příloha P12, která vycházela z konstrukčních návrhů uvedených v příloze P4.



Obr. 6.14: Nosná konstrukce pro SK – VI



Obr. 6.15: Kompletní konstrukce pro kamerový systém

Na Obr. 6.15 je ukázána kompletní konstrukce určená pro instalaci kamerového systému.

6.3 Návrh napájecí části kamerového systému

Kapitola se zabývá návrhem napájení pro kamerový systém, konkrétně pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S a převodník AT-MC102XL, viz kap. 6, Obr. 6.1. Převodník pro svůj provoz vyžaduje napájecí napětí 12 V DC, které zajišťuje výrobcem dodaný napájecí adaptér. Kamera byla vybrána s napájecím modulem na 24 V AC, tj. na malé bezpečné napětí. Napájecí zdroj pro kameru nebyl součástí dodávky. Návrh a realizace odpovídajícího zdroje jsou předmětem kapitol 6.3.2 a 6.4.2.

Jednou z možností bylo umístit napájecí část kamerového systému mimo komoru, tj. v prostoru určeném pro její obsluhu. Tato varianta řešení byla z pohledu obsluhy žádaná, protože napájecí zdroje by byly stále pod kontrolou a současně byl zajištěn i přímý přístup k jejich ovládní. Zdroje by v tomto případě byly napájeny z běžného rozvodu elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz. Související rušivé signály by se dále mohly šířit po výstupním vedení zdrojů do prostoru bezodrazové stíněné komory a negativně ovlivnit probíhající měření i provoz napájeného zařízení. Z těchto důvodů bylo vhodné oba zdroje umístit v prostoru rozvaděče, který se nachází v podlaze komory za anténním stojanem, viz přístupový panel v kap. 4.1.4. Tímto se zajistí jejich napájení z rozvodu síťového napětí 230 V/50 Hz přizpůsobeného pro specifický provoz komory, viz kap. 4.1. Nutno poznamenat, že podlaha komory je stíněná, čímž se omezí i případné elektromagnetické rušení šířené krytem zdrojů čili vyzařováním. Za účelem omezení šíření rušivých signálů generovaných na výstupních svorkách zdrojů musí být jejich výstupní vedení, resp. napájecí vedení kamerového systému realizováno stíněnými kabely. Dále napájení kamery i převodníku musí být řešeno po samostatném vedení, aby nedocházelo k vzájemnému rušení. Pro účely manipulace s konstrukcí kamerového systému, viz kap. 6.2, Obr. 6.15, je vhodné napájecí vedení uvažovat s dostatečnou délkovou rezervou. Návrhy jednotlivých zdrojů se zabývají kap. 6.3.1 a 6.3.2.

Případné elektromagnetické rušení zapříčiněné provozem druhého převodníku AT-MC102XL, umístěného mimo bezodrazovou stíněnou komoru, viz kap. 6, Obr. 6.1, nebude mít vliv na probíhající měření uvnitř komory. Tudíž převodník může být napájen dodaným adaptérem.

6.3.1 Návrh napájení pro převodník AT-MC102XL

Převodník AT-MC102XL, viz kap. 5.1, byl dodán s napájecím adaptérem ITE HK-CP12-A12. Adaptér byl navržen pro provoz z elektrické sítě nízkého napětí 100 - 230 V/50 - 60 Hz s maximálním odběrem proudu 0,35 A. Je výhradně určen pro napájení zařízení vyžadujících napětí 12 V DC s proudovým odběrem v rozsahu 0 – 1 A. Konstrukčně se jedná o spínaný zdroj, jehož nevýhodou je, že generuje široké spektrum nežádoucího vysokofrekvenčního rušení [66]. Nejvýznamnější rušení je harmonické, které je dáno frekvencí spínání zdroje, a širokopásmové. Při vyšších frekvencích se rušivé signály mohou slučovat s těmi

měřenými a na měřicím zařízení snižovat rozdíl mezi hladinou šumu a měřeným signálem [5]. To by mohlo mít negativní vliv na probíhající měření v bezdrazové stíněné komoře. Popisované elektromagnetické rušení zdroje, které se dále může šířit po jeho napájecím i výstupním vedení, musí být adekvátně potlačeno. Možným řešením je dodatečná instalace odpovídajících odrušovacích filtrů na napájecí a výstupní svorky zdroje, včetně použití stíněného kabelu na výstupní vedení zdroje, resp. napájecí vedení pro převodník. Dále rušení šířené vyzařováním, tj. krytem zdroje, by se snížilo jeho umístěním pod stíněnou podlahu komory, viz kap. 6.3. Uvedené adaptéry jsou výhradně určeny pro instalaci ve volném a snadno dostupném prostoru. Jako tomu je u napájení převodníku umístěného mimo komoru. Nutné je poznamenat, že popisované úpravy u stávající konstrukce adaptéru nemají realizační smysl. Z těchto důvodů byla vhodným řešením zcela odlišná konstrukce zdroje. Z pohledu elektromagnetického rušení mají vyhovující parametry lineární zdroje napětí, které na rozdíl od spínaných zdrojů negenerují nijak významné rušivé signály. V dnešní době existuje omezená nabídka těchto zdrojů, které jsou převážně určeny pro laboratorní účely, a nejsou tudíž vhodné pro trvalý provoz v uzavřeném prostoru. Z konstrukčního hlediska nejsou příliš robustní a disponují poměrně velkými výkonovými ztrátami, které mají také vliv na jejich provozní teplotu, proto je nutné uvažovat i jejich účinné chlazení a s tím spojenou konstrukci větších rozměrů. Z provozních důvodů je aktuální nabídka lineárních zdrojů spíše nevyhovující než účelná. Jisté řešení představuje bezúdržbový olovněný akumulátor, resp. motobaterie s výstupním jmenovitým napětím 12 V DC, která se vyrábí v mnoha výkonových i konstrukčních provedeních. Nevýhodou těchto akumulátorů je především jejich velká hmotnost a pravidelná kontrola spojená s dobíjením na požadovanou kapacitu. Ze strany obsluhy bylo toto řešení nepřijatelné. Vzhledem k přístupu do uvažovaného prostoru rozvaděče, ve kterém bude zdroj provozován, je vhodný napájecí zdroj určený pro průmyslové účely, tj. s dostatečně robustní konstrukcí a navržený pro nepřetržitý provoz. Na trhu existuje velká nabídka těchto zdrojů, ale převážně se jedná o spínané zdroje. Tento způsob řešení byl přijatelný pouze za předpokladu, že zdroje byly navrženy a vyrobeny na vysoké profesionální úrovni, včetně příslušných odrušovacích filtrů, čili splňovaly náležité normy, které stanovují maximální povolené emise elektromagnetického rušení šířeného po vedení i vyzařováním.

Z uvedeného vyplývá, že předmětem návrhu je náhradní zdroj pro napájení převodníku AT-MC102XL umístěného i s kamerou ve stínicím krytu SK – V1, viz kap. 6.2, Obr. 6.12. Převodník vyžaduje provozní napětí 12 V DC a proud 0,5 A. K tomu účelu byl vybrán spínaný napěťový zdroj, u kterého nedochází k velkým výkonovým ztrátám. Současně byla zvolena dostatečná výkonová rezerva pro možné budoucí rozšíření napájených zařízení. Neméně důležitým parametrem byla i velikost zdroje. Zdroj musel být kompaktní a malých rozměrů pro možnou montáž do uzavíratelného boxu nutného z bezpečnostních a provozních důvodů. Box musel být prachuvzdorný a odolný vůči vniknutí

kapalin. Stěny boxu byly využity k instalaci kabelových vývodků. Vývodky byly dvě, jedna pro napájení zdroje z rozvodu elektrické sítě nízkého napětí a druhá na stíněný kabel výstupního vedení zdroje pro napájení převodníku. Výběr vývodky určené pro stíněný kabel byl proveden s ohledem na požadavky EMC. Konstruktivním řešením zdroje se zabývá kap. 6.4.1.

6.3.2 Návrh napájení pro kameru MERIT LILIN – IPS5184S

Kamera MERIT LILIN - IPS5184S, viz kap. 5.1, byla dodána bez napájecího zdroje. Kamera vyžaduje provozní napájecí napětí 24 V AC a její příkon je výrobcem stanoven na 15 W. Ideálním řešením bylo použít kompletní napájecí zdroj se střídavým výstupním napětím 24 V AC. Na trhu existuje široká nabídka různých napájecích zdrojů, ale většinou se jedná o zdroje se stejnosměrným výstupním napětím. Zdroji se střídavým výstupním napětím se výhradně zabývají výrobci přístrojové techniky pro laboratorní účely nebo jiné specifické použití, jako jsou bezpečnostní systémy. Jedná se o univerzální napěťové zdroje, které jsou určeny pro nepřetržitý provoz i v průmyslových podmínkách. Tyto zdroje jsou vhodné pro napájení kamerových systémů, nicméně nejsou konstrukčně přizpůsobeny k instalaci speciálně navržených kabelových vývodků pro účely EMC, viz kap. 6.3.1. Řešením byla zakázková úprava zdroje přímo u výrobce, ale jednalo by se o kusovou výrobu, která by měla zásadní vliv i na pořizovací cenu zařízení. Z těchto důvodů bylo zvoleno vlastní konstrukční řešení. Cílem bylo využít stavebnici napájecího zdroje, který je výhradně určen pro provoz kamerových systémů. Vnější konstrukční požadavky zůstaly stejné jako v případě napájecího zdroje převodníku, viz kap. 6.3.1. Konstruktivním řešením zdroje se zabývá kap. 6.4.2.

6.4 Realizace napájecí části kamerového systému

Kapitola je zaměřena na realizaci napájecích zdrojů pro převodník AT-MC102XL a kameru MERIT LILIN - IPS5184S. Realizace vycházela z návrhové části uvedené v kap. 6.3. Nutné je poznamenat, že prováděné konstrukční a instalační úpravy u obou zařízení probíhaly svépomocí a s ohledem na dostupné materiálové i finanční prostředky.

6.4.1 Realizace napájecího zdroje pro převodník AT-MC102XL

Realizace napájecího zdroje pro převodník AT-MC102XL vycházela z návrhu v kap. 6.3.1. Základ zařízení tvoří spínaný zdroj napětí LRS-35-12 od společnosti Mean Well. Výběr zdroje byl proveden na základě dostupnosti oficiálního distributora zastupujícího tuto společnost v ČR, tj. firma MI6. Tím byla zajištěna i případná technická podpora a autorizovaný servis. Nutno poznamenat, že u realizačních projektů je volba vhodného dodavatele stejně důležitá jako výběr výrobce. Přehled základních parametrů vybraného typu zdroje je uveden

v Tab. 6.2. Podrobnější informace, včetně příslušných statických charakteristik jsou uvedeny v příloze P13.

Tab. 6.2: Přehled vybraných parametrů zdroje LRS-35-12 [67]

Výstupní parametry	
Jmenovité napětí	12 V DC
Rozsah nastavení napětí	10,2 až 13,8 V
Jmenovitý proud	3 A
Rozsah odebíraného proudu	0 až 3 A
Jmenovitý výkon	36 W
Zvlnění napětí	120 mV _{PP}
Vstupní parametry	
Napětí	85 až 264 V AC
Proud	0,42 A/230 V AC
Frekvence	47 až 63 Hz
Účinnost	86 %

Z Tab. 6.2 je patrné, že vybraný zdroj má dostatečnou výkonovou rezervu a splňuje požadavky kladené na napájení převodníku AT-MC102XL, viz kap. 6.3.1. Dále vyhovuje i z pohledu konstrukčního provedení, jak lze vidět na Obr. 6.17. Z vnější konstrukce je zřejmé, že zdroj musel být instalován do krycího boxu. Vzhledem k jeho rozměrům, tj. 99 x 82 x 30 mm (d x š x v), byla vyhovující plastová krabička Z74JH TM od společnosti Kradex. Zvolená krabička je uzavíratelná a splňuje krytí IP65 čili zajišťuje ochranu před dotykem nebezpečných částí instalovaného zařízení, je prachotěsná a brání vniknutí tryskající vody [68]. Její vnější rozměry 176 x 125 x 56 mm zaručují vhodnou prostorovou rezervu pro montáž.

Pro napájení zdroje z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz byl použit flexibilní kabel s průřezem měděného vodiče 3 x 1 mm² a délce 2 m. Jedná se o běžně dostupný napájecí kabel S14312 od společnosti EMOS. Jedna strana kabelu je opatřena vidlicí, resp. zástrčkou vhodnou pro připojení do zásuvek typu E/F a druhá je určena pro přímou instalaci, tj. bez koncovky. Pro průchod přívodního kabelu do instalační krabičky byla použita odpovídající kabelová vývodka, vyrobená z PVC (Polyvinylchlorid). Pro realizaci výstupního vedení zdroje určeného k napájení převodníku byl použit flexibilní stíněný kabel LiYCY – OZ s průřezem vodiče 2 x 1 mm², který je vhodný i pro účely EMC. Kabel byl vybrán od ověřeného dodavatele DDA, který se specializuje na prodej kabelů pro elektroinstalační a elektrotechnické účely. Z důvodu požadované manipulace s konstrukcí kamerového systému, viz kap. 6.2, byla zvolena délka kabelu 8 m. Jádro vodiče je laněné z mědi a izolováno PVC. Jedná se o verzi kabelu OZ, tj. bez zeleno-žlutého ochranného vodiče. Mezi vodiči a stínícím

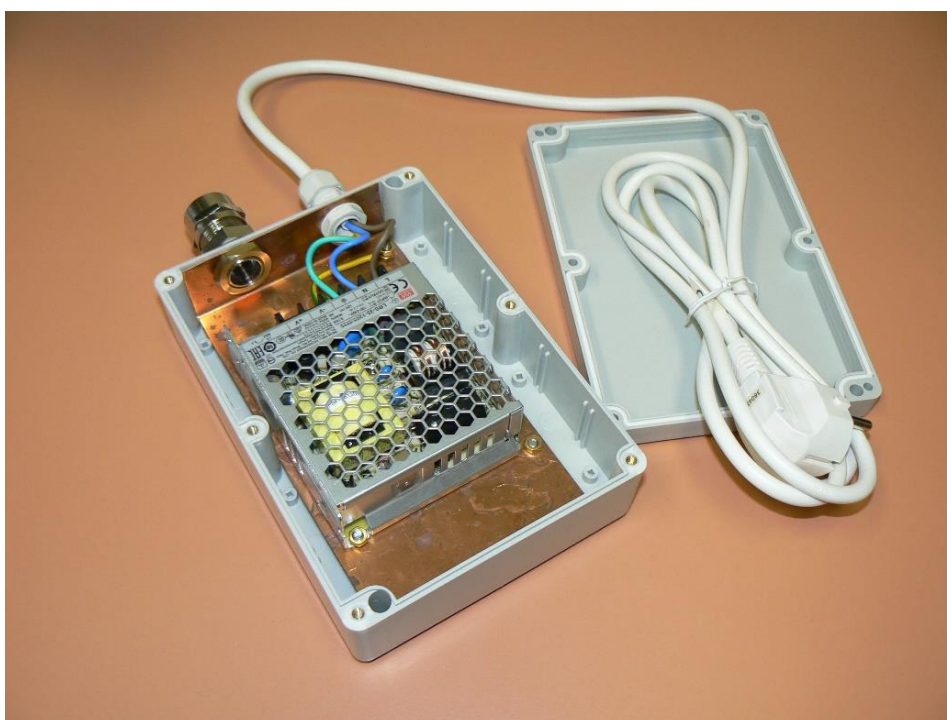
opletem je dělicí fólie, která nahrazuje vnitřní plášť z PVC. Tím bylo dosaženo menšího celkového průměru kabelu a lepší flexibility. Výrobce uvádí elektromagnetickou stínicí účinnost kabelu 85 % bez související specifikace frekvenčního rozsahu. Vnější plášť kabelu je tvořen speciálním samozhášecím PVC, které je odolné vůči šíření plamene [69]. Stínění kabelu musí být uzemněno, aby plnilo správnou funkci. Hodnota elektrického odporu mezi stíněním a zemí musí být co nejmenší, proto je nutné vytvořit co největší kontaktní plochu mezi stíněním a kabelovou vývodkou. Stínění kabelu musí být ve vývodce uloženo plošně a po celém svém obvodu. K tomu účelu byla vybrána kabelová vývodka, která je konstrukčně navržena pro účely EMC. Jedná se o vývodku MMSKV 18 EMV-Z od společnosti WISKA. Vývodka z pohledu aplikací v oblasti EMC nabízí mnohé inovativní konstrukční řešení, viz Obr. 6.16.



Obr. 6.16: Detail konstrukce kabelové vývodky WISKA – MMSKV 18 EMV-Z

Z Obr. 6.16 je patrný rozdíl od běžně dostupných vývodek určených pro aplikace v oblasti EMC, a to ve způsobu zemnění stínicího opletu instalovaného kabelu. Většina vývodek nabízí systém kontaktních zemnicích pružin. Jejich konstrukční provedení je různé, ale princip zůstává stejný. Nevýhodou tohoto tradičního řešení je opakovaná instalace kabelu, při které může neopatrnou manipulací dojít k poškození nebo deformaci zemnicích pružin a při opětovném použití vývodky není zaručen řádný kontakt se stíněním kabelu. Vhodným řešením je pak nová kabelová vývodka, ale vzhledem k její dostupnosti a pořizovací ceně se nejedná o žádoucí řešení. Kontaktní účinnost se stíněním kabelu je ovlivněna i vibracemi. Jiným konstrukčním řešením jsou kontaktní kabelové spony, které na stínění kabelu nedoléhají po celém jeho obvodu a nejsou ani konstrukčně vhodné pro přímou montáž na elektronické zařízení, jako jsou napájecí zdroje apod. Vývodka WISKA nabízí vhodnější řešení konstrukce v mnoha ohledech, jako je těsnicí a upínací systém, který je ukázán na Obr. 6.16

vpravo, vedle kloboučkové matice. Těsnění navíc zamezuje protočení kabelu a tvar upínacích lamel zajišťuje větší těsnící povrch, čímž se snadněji přizpůsobuje nedokonalým obvodovým tvarům kabelu. Následuje systém zemnicích kuželů, který je aplikačně mnohem jednodušší než u předchozích systémů a hlavně opakovanou montáží nedochází k jeho kontaktnímu opotřebení. Tento systém zajišťuje správnou funkci i během nežádoucích vibrací. Celkové rozměry kabelové vývodky jsou uvedeny v příloze P2, Obr. P2.7. Vývodka je určena pro instalaci kabelu o vnějším průměru 6 až 13 mm [70]. Použitý kabel pro napájení převodníku má vnější průměr 7 mm. Vývodka je vhodná i pro tento případ instalace. Dále je nutné zmínit, že vývodka je vyrobena z poniklované mosazi. S tím souvisí i volba materiálu pro konstrukci zemnicí části napájecího zdroje, který lze vidět na Obr. 6.17.



Obr. 6.17: Napájecí zdroj pro převodník AT-MC102XL

Cílem bylo zajistit dostatečné zemnění stínícího opletu kabelu určeného pro napájení převodníku a současně, aby nedocházelo k elektrochemickému článku, který vzniká spojením nevhodné kombinace různých kovových materiálů, a následně se neprojevila galvanická koroze, která má zásadní vliv na mechanické i elektrické vlastnosti vytvořených spojů [71]. Z důvodu zachování zásad při konstrukci vodivých cest byly jednotlivé díly zemnicí konstrukce vyrobeny z mědi a mosazi. Základ konstrukce tvoří měděný plech o tloušťce 1 mm, který byl instalován na distanční sloupky krabičky a překrývá i jednu čelní stěnu, na kterou byly instalovány kabelové vývodky. Současně měděná plocha plní funkci částečného pasivního chlazení pro instalovaný napájecí zdroj LRS-35-12,

viz Obr. 6.17. Hlavním cílem popisované konstrukce bylo vytvořit pro vývodku WISKA elektricky vodivou cestu k zemnicímu bodu, který byl propojen s ochranným vodičem elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz odpovídajícím žluto-zeleným vodičem. Uvedené řešení nemá žádný vliv na funkci vývodky určené na přívod napájecího kabelu, protože je vyrobena z PVC. Zemnicí bod byl realizován pomocí šroubového spoje z mosazi. Stejně jako upevňovací matice použitá u vývodky WISKA, která nebyla součástí dodávky a byla vyrobena na zakázku. Instalace výstupního vedení zdroje, tj. stíněného kabelu LiYCY – OZ, je součástí montáže kamerového systému do stínícího krytu SK – V1. Výsledná konstrukce napájecího zdroje LRS-35-12 určeného pro převodník AT-MC102XL je ukázána na Obr. 6.17.

Ověření správné funkce zdroje a posouzení emisí elektromagnetického rušení zdroje, které se šíří po vedení nebo vyzařováním, je předmětem kap. 7.1. Jak bylo uvedeno v kap. 6.3.1, při realizaci byla použita instalační krabička větších rozměrů pro případnou instalaci odrušovacích filtrů na napájecí a výstupní svorky zdroje nebo jeho dodatečné odvětrávání za účelem chlazení.

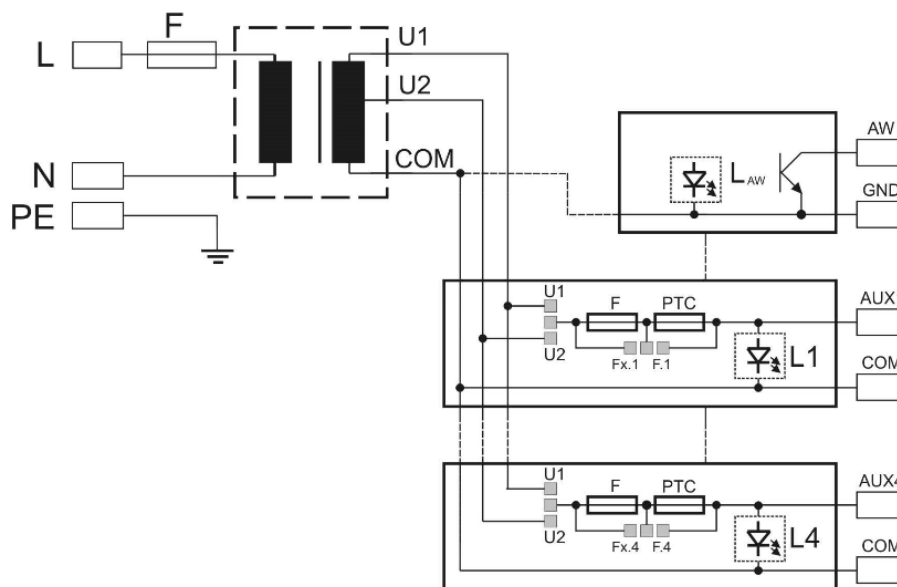
6.4.2 Realizace napájecího zdroje pro kameru MERIT LILIN-IPS5184S

Konstrukce napájecího zdroje pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S vycházela z návrhové části kap. 6.3.2. Základ elektronického zařízení tvoří napájecí zdroj PSACH 04244 od společnosti Pulsar. Pulsar se převážně specializuje na výrobu napájecích zdrojů určených pro kamerové systémy a ve svém oboru patří mezi hlavní evropské výrobce. Z vnitřního schématu zapojení zdroje a jeho konstrukčního provedení, viz Obr. 6.18 a Obr. 6.19, je patrné, že se jedná o toroidní transformátor. Na rozdíl od spínaných zdrojů, viz kap. 6.3.1, se u těchto typů konstrukcí neočekává žádné významné vysokofrekvenční rušení.

Tab. 6.3: Přehled vybraných parametrů zdroje PSACH 04244 [72]

Výstupní parametry	
Počet výstupů	4
Jmenovité napětí	4 x 24 V AC
Rozsah nastavení napětí	U ₁ : 23,0 až 28,0 V AC U ₂ : 25,5 až 31,5 V AC
Jmenovitý proud	4 x 1 A
Rozsah odebíraného proudu	0 až 1 A
Jmenovitý výkon	100 W
Vstupní parametry	
Napětí	230 V AC (-15 %/+10 %)
Proud	0,6 A/230 V AC
Frekvence	50 Hz

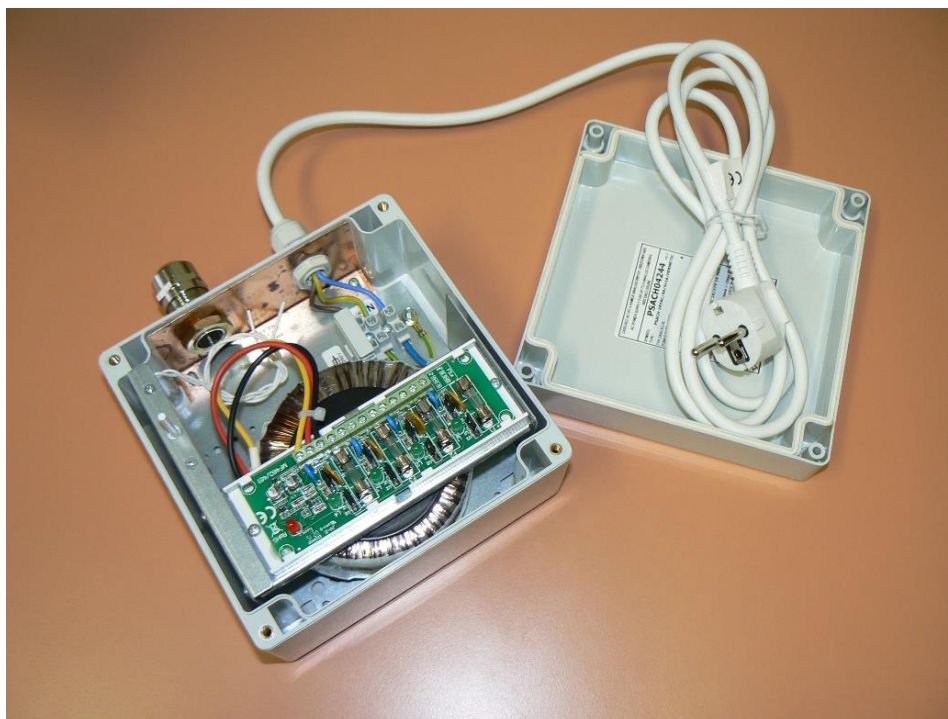
Přehled základních parametrů vybraného napájecího zdroje je uveden v Tab. 6.3 a podrobnější specifikace je součástí přílohy P14. Z parametrů uvedených v tabulce je zřejmé, že vybraný zdroj splňuje požadavky kladené na napájení kamery. Vzhledem k pořizovací ceně kamery byl při výběru vhodného napájecího zdroje kladen důraz především na jeho dostatečnou proudovou rezervu a ochranu výstupů proti zkratu či přetížení. Napájecí zdroj, viz Obr. 6.18, disponuje čtyřmi na sobě nezávislými výstupy. Výchozí jmenovitý rozsah každého z výstupů je 23 - 28 V AC, 0 - 1 A. Lze konstatovat, že všechny výstupy jsou výkonově vhodné pro napájení kamery. Jednotlivé výstupy jsou zabezpečeny odpovídající, tj. rychlou tavnou pojistkou F 1 A, 250 V. V případě, že na aktivním výstupu vznikne vlivem zkratu závažnější porucha, lze k napájení kamery použít další z výstupů a zajistit její opětovný provoz. Nutno poznamenat, že z bezpečnostních důvodů byl zvolen izolační transformátor, který garantuje izolační pevnost a z pohledu použití se řadí mezi bezpečnostní transformátory. Jeho primární část je zajištěna pomalou tavnou pojistkou T 1 A, 250 V. Napájecí zdroj je ochráněn proti zkratu, přehřátí a prostřednictvím varistoru i proti přepětí. Pro kompenzaci úbytku napětí na vodičích napájecího vedení určeného pro kameru nabízí zdroj dva provozní režimy s rozdílným rozsahem výstupního napětí, tj. U_1 (23 - 28 V AC) a U_2 (25,5 - 31,5 V AC). Volba mezi provozními režimy zdroje je realizována prostřednictvím propojovacích spojek na svorkách U_1 , U_2 , a to nezávisle pro každý výstup. Provoz jednotlivých výstupů je signalizován pomocí LED (Light - Emitting Diode) zelené barvy (L_1 až L_4) a případná porucha některého z výstupů je indikována LED červené barvy (L_{AW}).



Obr. 6.18: Blokové schéma vnitřního zapojení zdroje PSACH 04244 [72]

Jak bylo uvedeno, základ elektronického zařízení tvoří izolační transformátor, pojistková lišta, montážní základna a rám. Jedná se o původní zapojení

a konstrukci dodanou výrobcem. Součástí dodávky již zmíněné stavebnice byl také tamper, který lze vidět v levém horním rohu montážního rámu, viz Obr. 6.19, tj. spínací kontakt bílé barvy. Vzhledem k použití zdroje nebyl tamper připojen. Na základě požadavků stanovených v kap. 6.3.2 a 6.3.1 byl napájecí zdroj nainstalován do krycího boxu. K tomu účelu byla použita uzavíratelná plastová krabička CP-11-5 o vnějších rozměrech 160 x 160 x 90 mm (d x š x v) s krytím IP65 od společnosti Kradex. Jedná se o stejný systém, včetně příslušenství, jak bylo popsáno v kap. 6.4.1. Celkové rozměry krabičky odpovídají konstrukci zdroje a umožňují i dodatečné využití tamperu. Flexibilní kabel pro napájení zdroje z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, kabelové vývodky a měděný plech pro konstrukci zemnicí části zdroje jsou shodné s komponenty, které byly použity při realizaci zdroje určeného pro napájení převodníku AT-MC102XL, viz kap. 6.4.1. Odpovídající parametry, včetně jejich aplikace, jsou také součástí této kapitoly. Výstupní vedení ze zdroje, resp. napájecí vedení pro kameru bylo realizováno flexibilním stíněným kabelem LiYCY – JZ s průřezem vodiče 3 x 1 mm² opět od firmy DDA. Konstrukce kabelu je obdobná jako u předchozího kabelu LiYCY – OZ. Kabel typu JZ navíc obsahuje zeleno-žlutý zemnicí vodič. Celkový vnější průměr kabelu je 7,5 mm [73]. Jeho aplikace a související způsob zemnění stínicího opletu jsou popsány v kap. 6.4.1. V tomto případě musela konstrukce zemnicí části napájecího zdroje materiálově respektovat výrobcem dodanou nosnou základnu a rám, které byly vyrobeny z hliníku.



Obr. 6.19: Napájecí zdroj pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S

Na Obr. 6.19 je ukázáno výsledné provedení napájecího zdroje PSACH 04244 určeného pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S. Ověření správné funkce zdroje, včetně posouzení emisí elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzařováním, je předmětem kap. 7.2.

7. OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI NAPÁJECÍ ČÁSTI KAMEROVÉHO SYSTÉMU

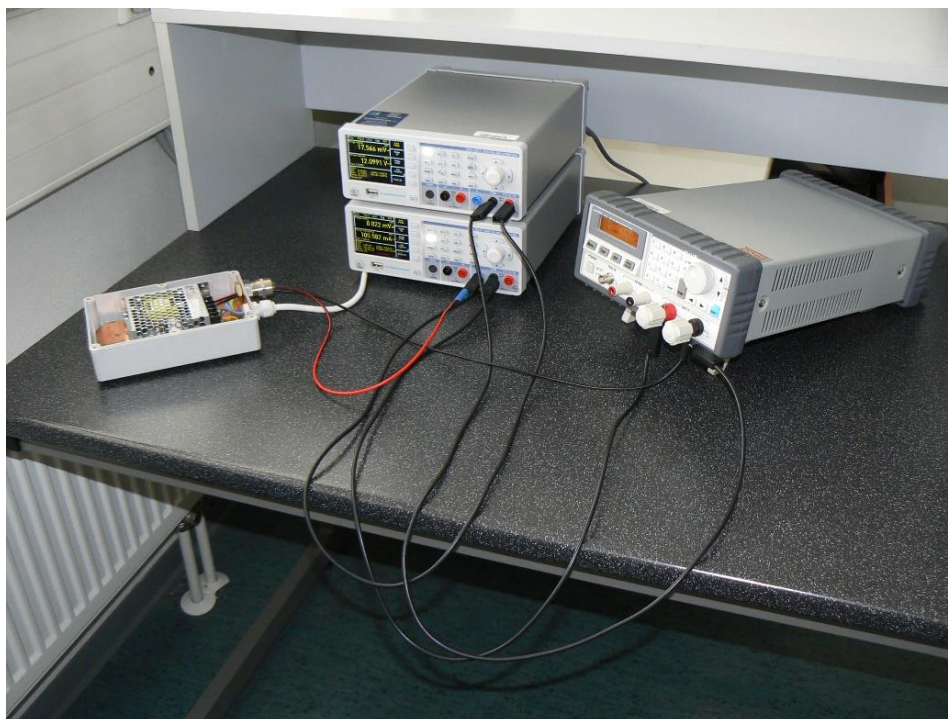
Kapitola je zaměřena na ověření správné funkce napájecích zdrojů, viz kap. 6.4, určených pro převodník a kameru. Cílem bylo ověřit výrobcem deklarované parametry zdrojů a zjistit vhodnost jejich použití v prostoru bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S prostřednictvím zkoušek zaměřených na posouzení emisí elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzařováním. Nutno zmínit, že průběh elektromagnetického pozadí komory je uvedený v kap. 12, Obr. 12.2.

7.1 Napájecí zdroj pro převodník AT-MC102XL

Napájecí zdroj byl sestaven pro účely napájení převodníku AT-MC102XL, viz kap. 5.1. Funkční jádro upravené konstrukce zdroje tvoří spínaný zdroj napětí Mean Well - LRS-35-12, který transformuje střídavé napětí dodávané z elektrické sítě na konstantní stejnosměrnou hodnotu napětí. Vstupní jmenovitý rozsah napájecího zdroje je 85 - 264 V AC, 47 - 63 Hz, 0,42 A platný pro 230 V/50 Hz a výstupní je 10,2 - 13,8 V DC, 0 - 3 A. Bližší informace ke konstrukci a parametrům zdroje jsou uvedeny v kap. 6.4.1.

7.1.1 Ověření výstupních parametrů zdroje LRS-35-12

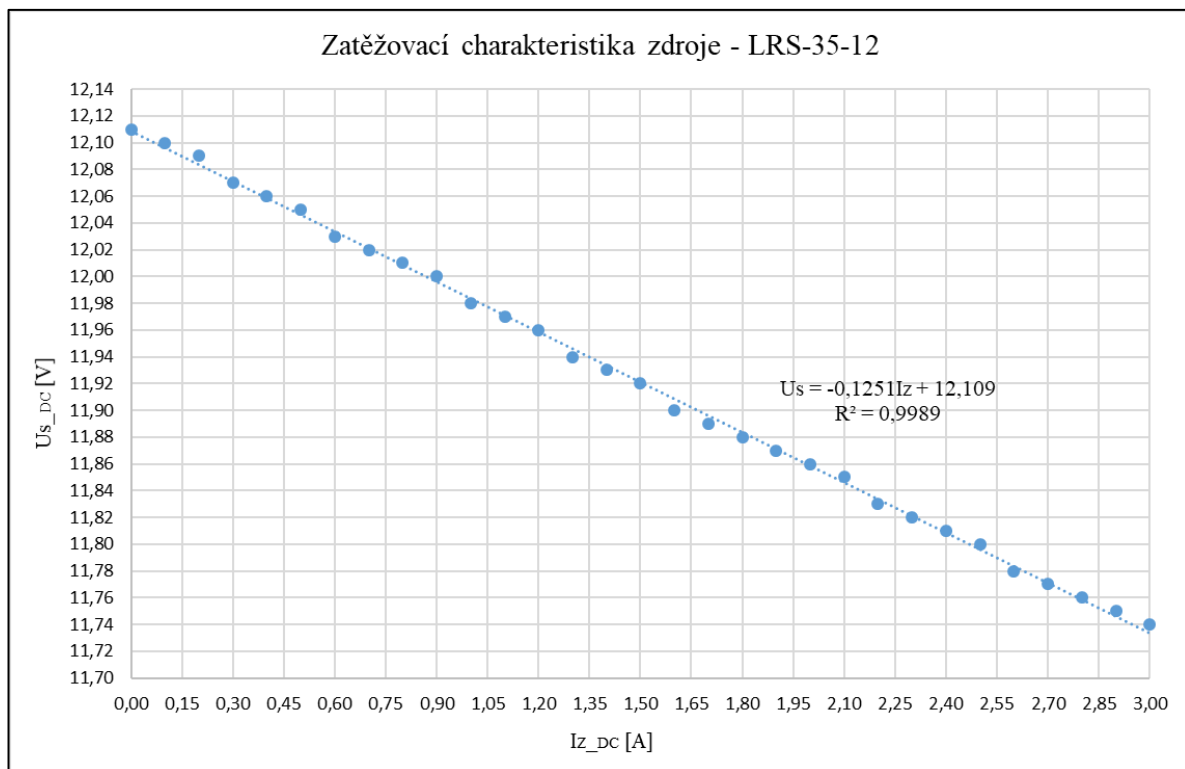
Nejdříve bylo nutné ověřit výstupní parametry daného zdroje a získat představu o jeho chování v provozních podmínkách i možnostech použití. Jedním z nejvíce vypovídajících parametrů je zatěžovací charakteristika zdroje, která sleduje závislost svorkového napětí zdroje na odebíraném proudu, který prochází přes odpovídající zátěž zdroje. Ideální zdroj napětí je takový, který má na výstupních svorkách konstantní hodnotu napětí a změna odebíraného proudu na ni nemá žádný vliv [74]. Přístrojová konfigurace měřícího pracoviště za účelem stanovení zatěžovací charakteristiky zkoušeného zdroje je ukázána na Obr. 7.1.



Obr. 7.1: Měření zatěžovací charakteristiky zdroje LRS-35-12

Zdroj, viz Obr. 7.1 vlevo, byl napájen z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz. Výstup zdroje, tj. 12 V DC, byl připojen na voltmetr a současně přes ampérmetr k zátěži, viz obrázek vpravo. Cílem měření bylo napětí na svorkách zdroje a proud protékající zátěží. Ve funkci voltmetru i ampérmetru byl použit stolní digitální multimetr HMC8012 od společnosti R&S, viz obrázek uprostřed. Spodní multimetr byl zapojen jako ampérmetr a horní jako voltmetr. Zátěž představovala programovatelná elektronická zatěžovací jednotka ARRAY 3721A, viz kap. 4.2.2, která umožňuje stabilně zatěžovat zdroj, resp. odebírat konstantní proud v celém jeho výstupním rozsahu. Výsledky z měření jsou uvedeny v Tab. P5.1, která je součástí přílohy P5.

Tab. P5.1 prezentuje naměřené hodnoty napětí na svorkách U_{S_DC} zkoušeného zdroje v závislosti na změně odebíraného proudu I_{Z_DC} prostřednictvím elektronické zátěže. Proud byl odebírán zátěží v rozsahu 0 až 3 A, aby bylo docíleno maximálního zatížení zdroje, které garantuje jeho výrobce, viz kap. 6.4.1, Tab. 6.2. Krok změny zatěžovacího proudu byl zvolen 0,1 A. Z uvedených hodnot je patrné, že s rostoucí proudovou zátěží zdroje jeho výstupní napětí klesá.



Obr. 7.2: Zatěžovací charakteristika zdroje LRS-35-12

Na Obr. 7.2 je zobrazena zatěžovací charakteristika, ze které je zřejmé reálné chování zkoušeného zdroje napětí, tj. s odběrem proudu I_{Z_DC} je zaznamenán i pokles napětí na svorkách zdroje U_{S_DC} . Při maximální povolené zátěži zdroje, které bylo dosaženo při hodnotě odebíraného proudu 3 A, byl pokles napětí stanoven na 0,37 V. Uvedenou závislost lze považovat za lineární. Na základě zatěžovací charakteristiky bylo potvrzeno, že zkoušený zdroj splňuje výrobcem deklarované rozsahy výstupního napětí a proudu.

Ze strmosti zatěžovací charakteristiky, resp. z poklesu svorkového napětí byla určena i tvrdost zkoušeného zdroje. Stanovenou hodnotu poklesu svorkového napětí při plné zátěži lze považovat za malou a zdroj za tvrdý. Tento předpoklad byl ověřen výpočtem vnitřního odporu zdroje. Je-li hodnota menší než 1Ω , jedná se o tvrdý zdroj a pokud je hodnota větší, tak o měkký zdroj [74]. Výpočet vycházel z hodnot zjištěných při nulové a maximální zátěži zdroje, viz příloha P5, Tab. P5.1.

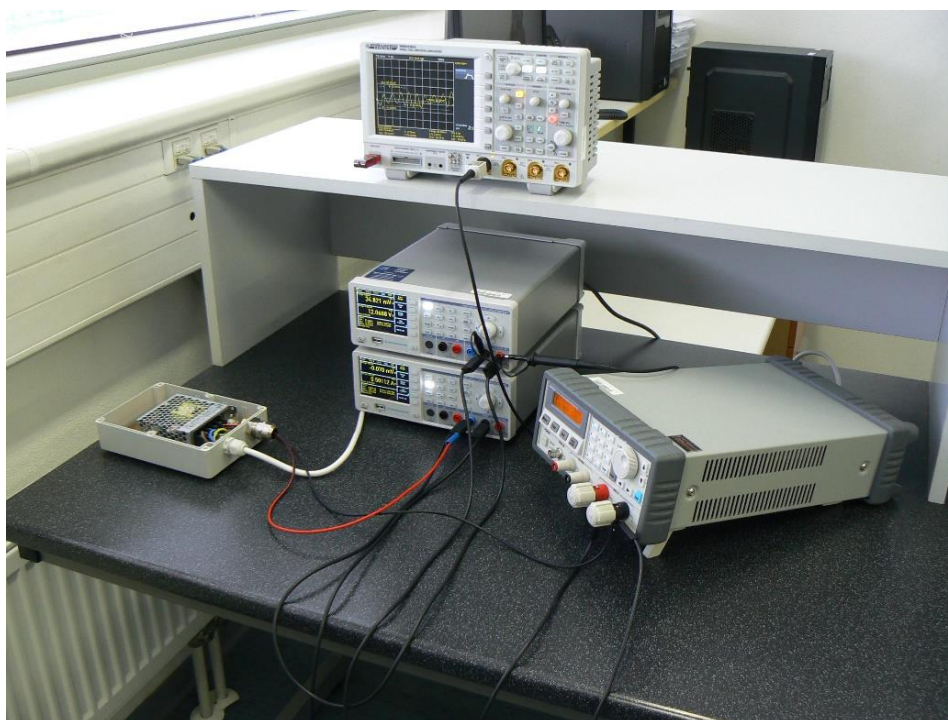
Podle Ohmova zákona pro vnitřní odpor R_i zdroje platí [75]:

$$R_i = \frac{U_0 - U_S}{I_Z} = \frac{12,11 - 11,74}{3} = \frac{0,37}{3} \doteq 0,12 [\Omega] \quad (7.1)$$

kde U_0 [V] je napětí naprázdno, tj. napětí na svorkách zdroje bez zátěže, U_S [V] je napětí na svorkách zdroje při zátěži a I_Z [A] je odebíraný proud zátěží.

Výpočtem z naměřených parametrů byl stanoven vnitřní odpor zkoušeného zdroje na hodnotu $0,12 \Omega$. V tomto případě se jedná o tvrdý zdroj napětí.

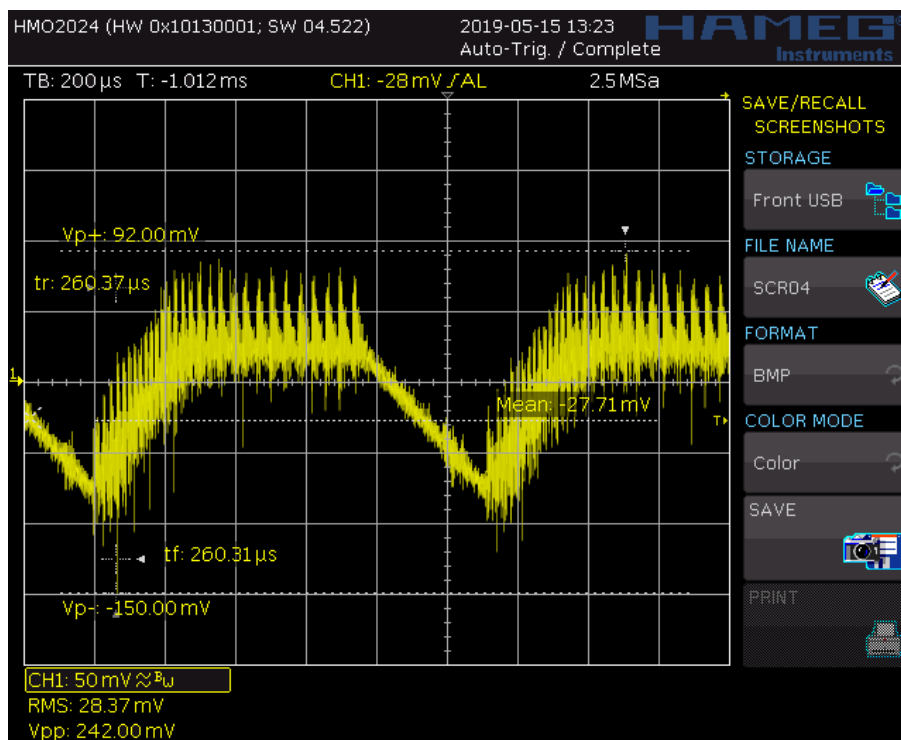
Dalším významným parametrem u spínaných stejnosměrných zdrojů napětí je zvlnění jejich výstupního napětí. Výrobce zdroje u tohoto parametru uvádí hodnotu 120 mV_{PP} , viz kap. 6.4.1, Tab. 6.2. Měřicí pracoviště, včetně přístrojového vybavení, je ukázáno na Obr. 7.3. Jedná se o stejnou přístrojovou konfiguraci jako v předchozím případě, která byla rozšířena o digitální osciloskop HMO2024 od společnosti HAMEG - R&S. Osciloskop byl připojen na výstupní svorky zkoušeného zdroje.



Obr. 7.3: Ověření zvlnění výstupního napětí zdroje LRS-35-12

Při měření zvlnění výstupního stejnosměrného napětí byl osciloskop přepnut do režimu určeného pro měření střídavých signálů, ve kterém bylo zvlnění patrnější. Nutno podotknout, že v tomto případě měření nebylo možné využít automatického nastavení osciloskopu, které na základě sledovaného signálu nalezne nejvhodnější parametry pro jeho zobrazení a následně provede i odpovídající analýzu signálu. V tomto režimu osciloskop zobrazoval pouze frekvenčně modulovaný signál, který byl následným rozborem určen jako rozhlasové vysílání Rádía Zlín. Vysílací anténa rádia s výkonem 5 kW se nachází v blízkosti měřicího pracoviště, tj. ve vzdálenosti přibližně 800 m a vysílá na frekvenci $91,7 \text{ MHz}$ [76]. Uvedená frekvence je platná pro město Zlín.

Z uvedeného důvodu byly následující průběhy napětí vyhledávány s manuálním nastavením osciloskopu. Nastavené parametry zobrazení jsou viditelné na Obr. 7.4 a Obr. 7.5.



Obr. 7.4: Průběh zvlnění výstupního napětí zkoušeného zdroje LRS-35-12

Na Obr. 7.4 se nachází detail časového průběhu zvlnění výstupního napětí zdroje. Měření probíhalo při zátěži zdroje, která představovala jeho předpokládané provozní podmínky, tj. napájení převodníku AT-MC102XL. Na zátěži byl nastaven odběr proudu 0,5 A. Zjištěné zvlnění výstupního napětí je periodického průběhu s kmity pilového charakteru. Identifikace byla obtížná, protože výsledný průběh byl ve fázi spínání zdroje výrazně zkreslen vlivem vysokofrekvenčního rušení. To omezovalo přesnost automatické analýzy signálu, která pak chybně hodnotila některé parametry zobrazovaného signálu, proto byly všechny odečty z osciloskopu ověřovány a prováděny manuálně.

Zvlnění výstupního napětí zdroje bylo odečteno a určeno jako napětí U_{PP} s hodnotou 242 mV. Jedná se o mezivrcholovou hodnotu napětí, která se stanovuje jako rozdíl mezi špičkami s maximální a minimální dosaženou hodnotou v rámci periodického signálu, tj. Peak - to - Peak (PP). Výsledná hodnota je dvojnásobně vyšší než uvádí výrobce. Odečet byl značně ovlivněn uvedeným rušením. Za předpokladu, že by rušení bylo výrazně omezeno nebo zanedbáno, tak by amplituda zvlnění skutečně odpovídala údajům výrobce. Vzhledem k tomu, že se jednalo o reálné měření, bylo vhodné zjištěnou hodnotu akceptovat a posoudit prostřednictvím činitele zvlnění, který by neměl přesáhnout hodnotu 1 %, viz kap. 6.4.1, Tab. 6.2.

Činitel zvlnění φ_{ZV} je dán následujícím vztahem [75]:

$$\varphi_{ZV} = \frac{U_{PP}}{U_S} \cdot 100 = \frac{0,242}{12,05} \cdot 100 \doteq 2,01 [\%] \quad (7.2)$$

kde $U_{PP} [V]$ je amplituda zvlnění výstupního napětí zdroje a $U_S [V]$ je napětí na svorkách zdroje při odpovídající zátěži, tj. v tomto případě při odběru 0,5 A.

Činitel zvlnění přesáhl výrobcem udávanou maximální mezní hodnotu, ale lze předpokládat, že vyhlazovací filtr na výstupu z usměrňovače zdroje je dostačující v případě napájení převodníku AT-MC102XL, ale nikoliv pro napájení citlivé měřicí techniky.

Dále z výsledného periodického průběhu výstupního napětí, resp. z jeho zvlnění byla určena i frekvence spínání zkoušeného zdroje. K tomu účelu bylo nutné znát časovou periodu popisovaného signálu, která byla stanovena odečtem na osciloskopu, viz Obr. 7.4. Postup byl následující: na časové ose byl pomocí kurzorů nastaven začátek a konec jedné periody. Následoval odečet počtu dílků na vyznačeném úseku časové osy. Výsledný počet dílků byl 5,6, který byl dále násoben odpovídajícím rozlišením časové osy, tj. 200 μs /dílek. Čas jedné periody T byl tedy stanoven jako:

$$T = 5,6 \cdot 200 = 1120 [\mu\text{s}] = 1,12 [\text{ms}] = 0,00112 [\text{s}] \quad (7.3)$$

Pak výpočet frekvence je dán vztahem [58]:

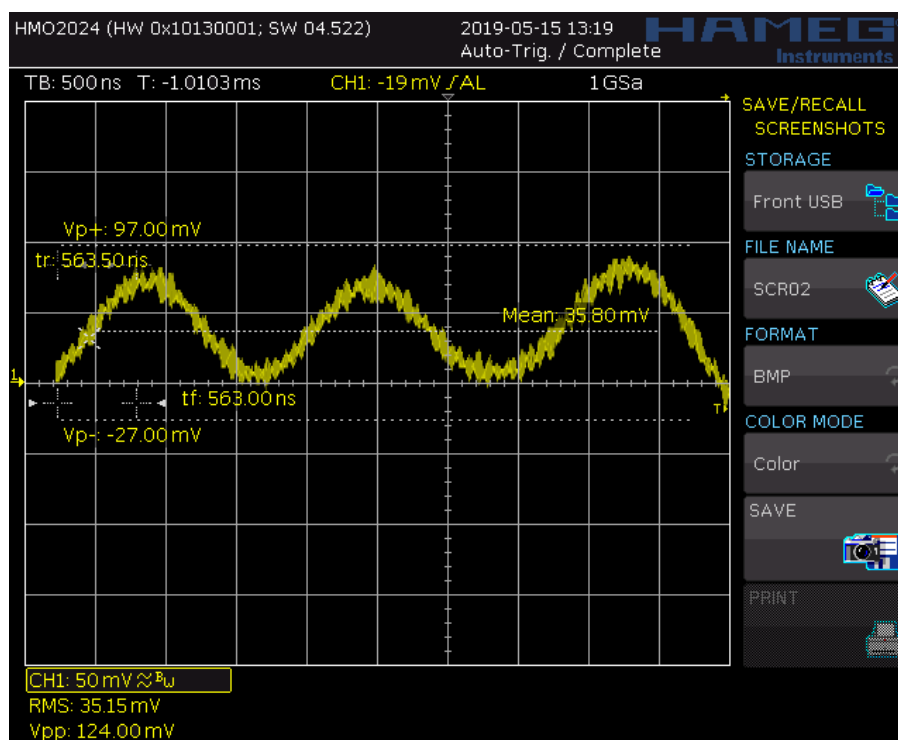
$$f_s = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,12 \cdot 10^{-3}} = 892,86 [\text{Hz}] \quad (7.4)$$

Výsledná spínací frekvence f_s je platná pro zkoušený zdroj při odebíraném proudu zátěží 0,5 A. Výrobce uvádí ve svých technických specifikacích frekvenci spínání 110 kHz. Předpokladem bylo, že frekvence spínání zdroje je závislá na jeho zátěži. Z těchto důvodů bylo provedeno dodatečné měření pro odebíraný proud zátěží 1,2 a 2,5 A. Postupy v rámci měření a výpočtů byly totožné jako v předchozím případě zátěže. Přehled získaných výsledků je prezentovaný v Tab. 7.1.

Tab. 7.1: Přehled chování vybraných parametrů zdroje při změně zátěže

I_{Z_DC} [A]	U_{PP} [mV]	f_s [kHz]	f_H [kHz]
0,5	242	0,89	581,40
1,2	226	58,82	571,43
2,5	190	104,17	568,18

Z Tab. 7.1 je zřejmé, že frekvence spínání f_s zdroje je závislá na změně odebraného proudu zátěží I_{Z_DC} . S rostoucí zátěží zdroje se zvyšuje i jeho frekvence spínání. Současně bylo zjištěno, že zátěž má také vliv na chování zvlnění výstupního napětí zdroje. Příčinou je změna frekvence spínání zdroje. Se zvyšující frekvencí spínání klesá napětí U_{PP} , resp. zvlnění výstupního napětí se zmenšuje. Dále součástí tabulky je parametr f_H . Jedná se o frekvenci další významné harmonické složky výstupního napětí zkoušeného zdroje, která byla určena postupem popsaným níže.



Obr. 7.5: Další významná harmonická složka výstupního napětí zdroje

Jak bylo uvedeno, během fáze spínání zdroje bylo jeho výstupní napětí rušené. Za účelem stanovení příčiny byla dotčená část signálu podrobena rozboru a bylo zjištěno, že se jedná o další harmonickou složku výstupního napětí zdroje. Výsledný časový průběh je ukázán na Obr. 7.5. Nutno poznamenat, že zdroj byl zatížen odebíraným proudem 0,5 A. Příslušná frekvence f_H daného signálu byla stanovena výpočtem podle vztahu (7.4) a časová perioda T postupem uvedeným v příkladu (7.3). Následně bylo provedeno dodatečné měření i pro odebíraný

proud zátěží 1,2 a 2,5 A. Ze získaných výsledků, viz Tab. 7.1, je patrné, že změna zátěže zdroje má na f_H , tj. frekvenci další významné harmonické složky výstupního napětí zdroje, zanedbatelný vliv. Lze předpokládat, že zjištěná frekvence je konstantní a nabývá průměrné hodnoty 574 kHz. Odchytky ve výsledných frekvencích popisované harmonické složky byly nejspíše způsobeny manuálním odečtem sledovaných veličin na osciloskopu. Dále je zřejmé, že zjištěná harmonická složka výstupního napětí souvisí se spínáním výkonové části zdroje, ale nikoliv s jeho frekvencí. Možnou příčinou vzniku tohoto významného a tudíž nežádoucího periodického rušivého signálu mohla být i samotná konstrukce zdroje, včetně volby součástek a jejich rozmístění na desce plošných spojů. Nutnost dodatečné instalace odrušovacího filtru na výstup zkoušeného zdroje, který by rušení omezil, určí měření emisí elektromagnetického rušení šířeného po výstupním vedení.

Dále nutno zmínit, že na průběhu harmonické složky výstupního napětí, který je zobrazen na Obr. 7.5, je rovněž zřejmé vysokofrekvenční rušení. Postupným šetřením tohoto signálu, které probíhalo obdobným způsobem jako v předchozím případě, bylo zjištěno, že se jedná o další, ale amplitudově nevýznamnou harmonickou složku s frekvencí přibližně 92 MHz. Z tohoto důvodu není provedené měření zahrnuto v této práci. Patrně se jedná o vysílání Rádía Zlín. V tomto případě není příčinou zkoušený zdroj, ale vliv prostředí měřicího pracoviště.

7.1.2 Elektromagnetické rušení zdroje LRS-35-12 šířené po vedení

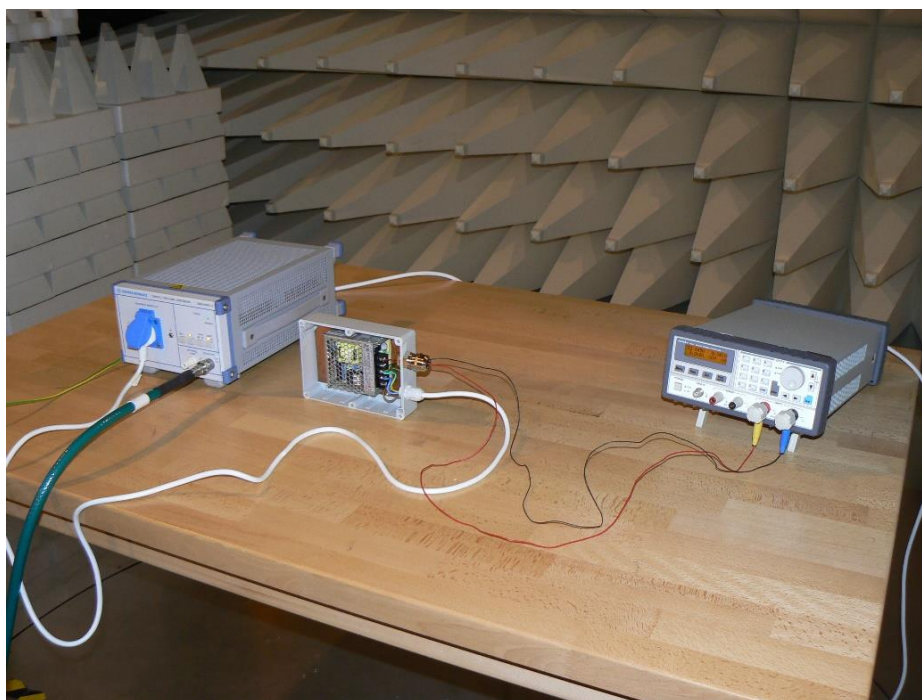
Měření emisí elektromagnetického rušení, tj. EMI šířeného po vedení i vyzařováním, se řídí základní normou ČSN EN 55016, která vychází ze standardu CISPR 16 [5]. Norma se zabývá specifikací testovacího pracoviště, včetně přístrojového vybavení a metod měření, ale nikoliv mezemi rušení.

Cílem zkoušek bylo zdroj podrobit měření za účelem zjištění elektromagnetického rušení generovaného samotným zdrojem, které se dále šířilo do okolí po jeho napájecím i výstupním vedení. Měření bylo prováděno podle české technické normy ČSN EN 61000-6-3, tj. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6: Kmenové normy – Oddíl 3: Emise – Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu [77]. Tato část kmenové normy stanovuje požadavky a metody na měření emisí u zkoušených zařízení, včetně příslušných mezí rušení podle typového prostředí. Měřicí metody jsou zaměřeny na rušení šířené po vedení i zářením. Norma se také vztahuje na laboratorní prostředí a platí pro přístroje určené k přímému připojení do elektrické sítě nízkého napětí nebo ke zdroji DC, který slouží pro zařízení umístěné mezi přístroj a uvedenou elektrickou sítí [77]. Zkoušené zařízení musí být měřeno a testováno v provozním režimu a v zapojení s odpovídající konfigurací případných pomocných zařízení. Bráno z pohledu jeho běžného použití a instalace. Vzhledem k časové náročnosti těchto měření (řádově hodiny až desítky hodin) je nejprve vhodné během

tzv. omezeného předběžného zkoušení stanovit frekvenční oblast s maximálními emisemi a tu pak dodatečně podrobit zpřesňujícímu měření podle příslušné normy. Požadavky kladené na měření elektromagnetického rušení zkoušeného zařízení, tj. zdroje LRS-35-12, byly stanoveny pro každý jeho uvažovaný vstup/výstup [77]. Jednalo se o kryt zdroje, kterým může pronikat nebo vyzařovat elektromagnetické pole. Měřením elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním se zabývá kap. 7.1.3. Dále se jednalo o napájecí i výstupní svorky zdroje, které jsou předmětem níže uvedených měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení.

Měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného po napájecím vedení

Na Obr. 7.6 je ukázáno uspořádání měřicího pracoviště za účelem měření elektromagnetického rušení zdroje generovaného na jeho vstupních, tj. napájecích svorkách, resp. zjistit rušení šířené po napájecím vedení zdroje.



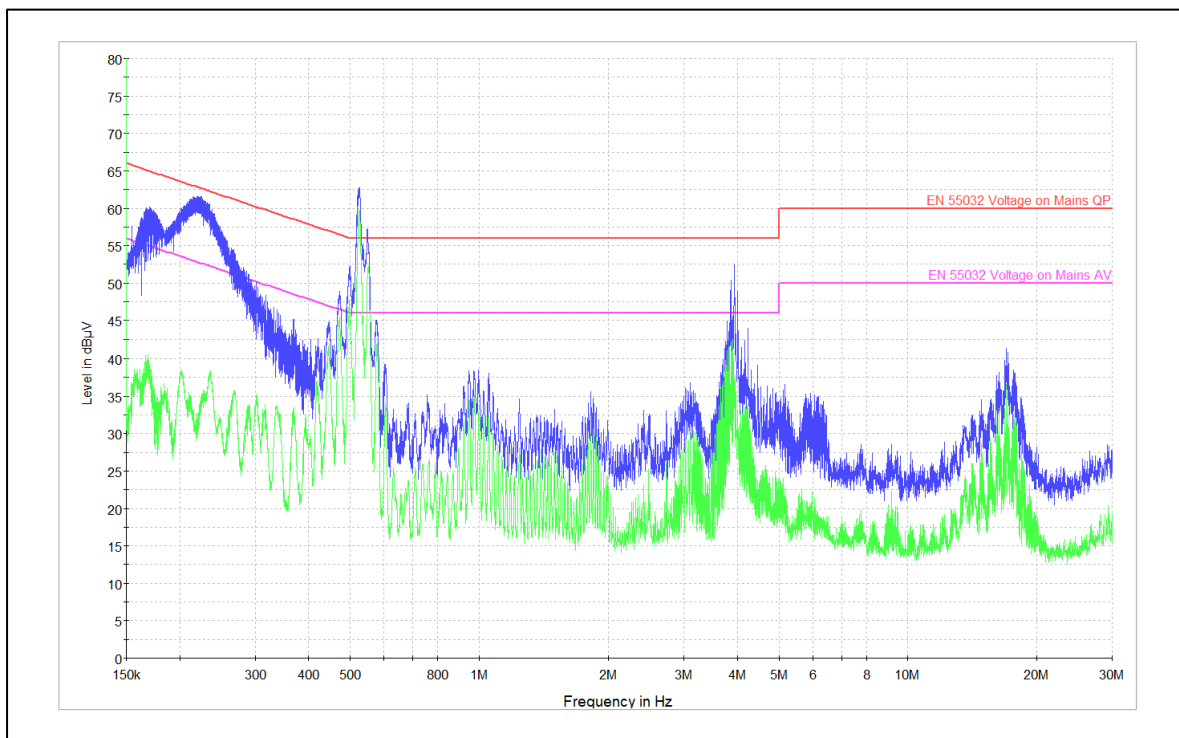
Obr. 7.6: Měření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12 po napájecím vedení

Měřicí pracoviště se nachází uvnitř bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC – 3 Plus S. Během měření bylo využito stávajících elektrických i signálových rozvodů komory. Na levé straně pracovního stolu je umístěna umělá síť ENV216 od R&S, která zprostředkovává připojení měřicího přijímače ESU8 od R&S ke zkoušenému zdroji napětí, který se nachází na obrázku uprostřed. Dále zajišťuje, že přijímač měří pouze rušení pocházející ze zdroje, a nikoliv z napájecí elektrické sítě. Během měření musela být umělá síť vodivě spojena s kovovou zemnicí plochou, kterou tvořila točna komory, viz kap. 4.1.5, Obr. 4.9. Na točně se nachází i dřevěný pracovní stůl. Měřicí

přijímač je součástí hardwarové skříně, která je umístěna v prostoru obsluhy komory, a tudíž není uveden na obrázku. Zkoušený zdroj byl dále připojen k programovatelné elektronické zátěži ARRAY 3721A, aby bylo možné výstup zdroje zatížit podle požadovaných předpokladů a simulovat tak jeho provozní podmínky. Přístrojové vybavení v rámci tohoto měření je podrobněji popsáno v kap. 4.2.2.

Z hlediska řízení měření bylo vhodné dodržet doporučenou posloupnost zapínání jednotlivých měřicích přístrojů a zařízení. Nejprve bylo nutné zapnout řídicí jednotku FRANKONIA – FC02 sloužící pro ovládání elektrického pohonu anténního stojanu a točny komory. Pak následovalo spuštění řídicího PC s měřicím softwarem EMC32 od R&S a měřicího přijímače ESU8. Zařízení jsou instalována mimo komoru v hardwarové skříně, viz kap. 4.2.

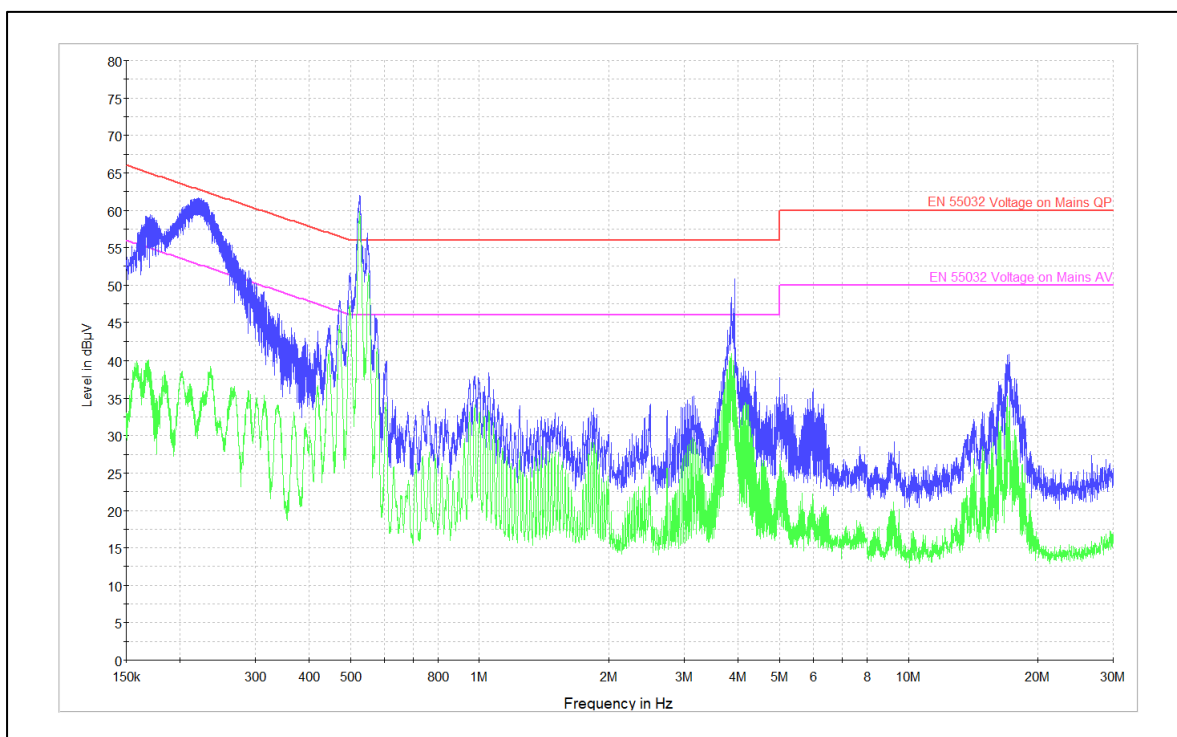
Během měření byl zkoušený zdroj připojený prostřednictvím umělé sítě k elektrické síti nízkého napětí 230 V/50 Hz. Umělá síť tak byla zapojena do všech napájecích vodičů zdroje. V tomto případě se jednalo o fázový vodič (L1) a nulový vodič (N). Tím bylo umožněno sledovat šíření rušivého napětí po jednotlivých vodičích. Vysokofrekvenční rušivé napětí, které je převážně nesymetrické, se měří mezi každým vodičem a zemí [2], [5]. Volbu aktuálního vodiče umožňovala přímo umělá síť. Jak bylo uvedeno v kap. 7.1, zkoušený zdroj je určen pro napájení převodníku AT-MC102XL, který pro provoz vyžaduje 12 V DC a 0,5 A. Tento předpokládaný odběr elektrického proudu byl nastaven a realizován pomocí proměnné elektronické zátěže.



Obr. 7.7: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,5 A

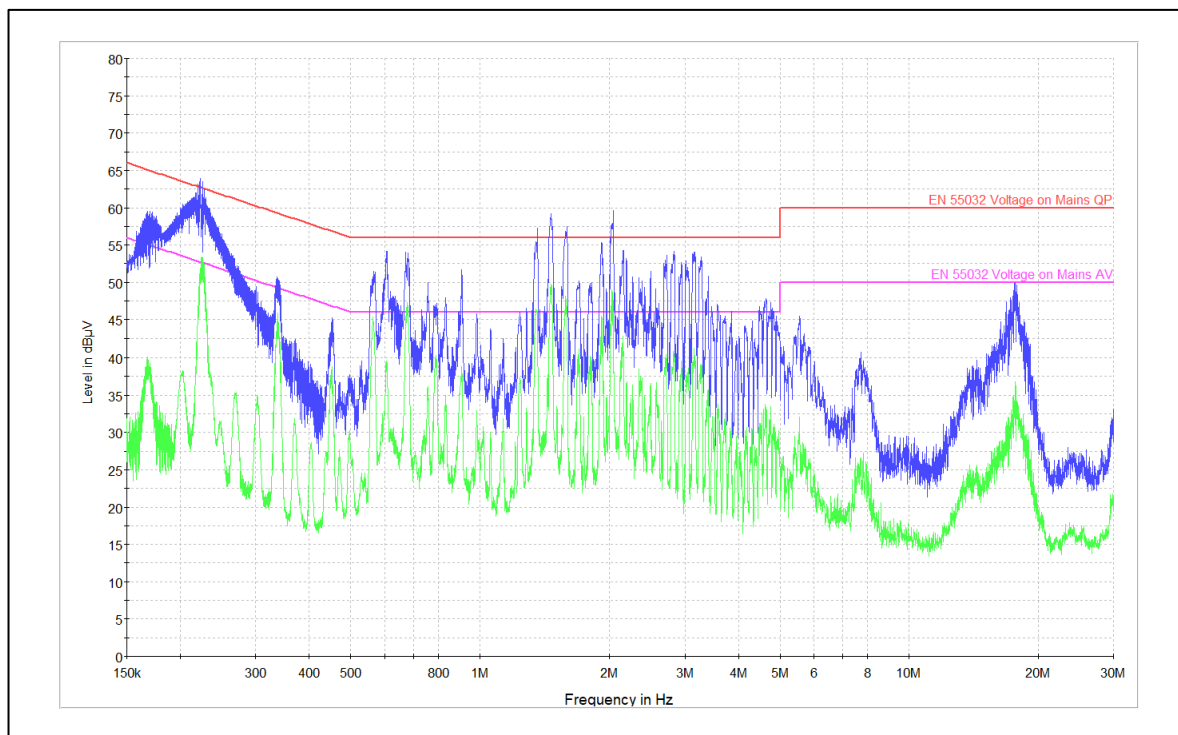
Nejprve bylo provedeno měření elektromagnetického rušení, které se šíří po fázovém vodiči (L1). Získané výsledky rušivého napětí jsou platné pro frekvenční pásmo 150 kHz až 30 MHz a jsou ukázány na Obr. 7.7. Měření bylo řízeno v rámci softwaru EMC32 a splňovalo maximální přípustné, resp. limitní meze pro kvazivrcholové (QP - Quasi-Peak) a střední (AV - Average) hodnoty rušivého napětí kladené normou ČSN EN 55032 [78]. Jedná se o předmětnou normu, která je podružná kmenové normě ČSN EN 61000-6-3. Uvedené limitní meze rušení jsou shodné s požadavky kmenové normy. Ke snímání rušivých signálů, jak předepisuje norma, slouží QP a AV detektory, které jsou součástí měřicího přijímače. Tyto detektory převádí naměřené úrovně signálů na napětí, které je dále vyhodnocováno přijímačem a porovnáváno s maximálními přípustnými mezemi. Výsledné hodnoty naměřené QP detektorem nezávisí pouze na velikosti rušivého vstupního napětí, ale jsou také podmíněny opakovatelností měření, jsou tedy úměrné i času [5]. Z tohoto důvodu se pro vytvoření prvotní představy o zkoušeném zařízení provádí rychlejší, ale současně omezené předběžné testy. Cílem bylo zjistit frekvenční oblast, ve které měřené emise rušení dosahují maxima, resp. kde se blíží k mezním limitům stanoveným pro QP hodnoty rušivého napětí nebo je dokonce překračují a tuto oblast dodatečně podrobit zpřesňujícímu měření pomocí QP detektoru. K tomu účelu byl místo QP detektoru použit špičkový detektor (MP – Max-Peak), který je vhodný pro hledání maxima a jehož výstup je ovlivněn pouze velikostí vstupního rušivého napětí. Předběžné měření bylo provedeno s MP a AV detektory. Na Obr. 7.7 jsou výsledné hodnoty stanovené MP detektorem zobrazeny modře a AV zeleně. Z dosažených předběžných výsledků je zřejmé, že hodnoty rušivého napětí překračují maximální povolené meze stanovené pro QP i AV hodnoty rušení. Uvedené je nejvíce patrné pro frekvenční pásmo od 500 do 600 kHz a na frekvenci 4 MHz. Vzhledem k tomu, že se v popisované oblasti dosažená úroveň AV hodnot blíží k MP hodnotám a evidentně překračují normou určenou limitující mez pro AV a současně pro QP hodnoty rušivého napětí, další zpřesňující měření s normou předepsaným QP detektorem není opodstatněné.

V návaznosti bylo provedeno měření s cílem stanovit úroveň napět'ového rušení, které se šíří po nulovém vodiči (N) napájecího vedení zdroje. Změna byla pouze ve volbě zkoušeného vodiče, tj. na umělé síti byl nastaven parametr (N). Ze získaných výsledků, viz Obr. 7.8, je patrné, že průběh rušení je srovnatelný s průběhem stanoveným během měření rušení po fázovém vodiči (L1), viz Obr. 7.7. Opět nebyly splněny požadavky kladené příslušnou normou.



Obr. 7.8: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,5 A

Jedná se o spínaný zdroj, jehož nevýhodou je, že generuje široké spektrum vysokofrekvenčního rušení, jak bylo zjištěno i v kap. 7.1.1, které se dále může šířit vyzařováním, tj. prostorem nebo po vedení. Rušení souvisí se spínáním výkonové části zdroje o vysoké frekvenci, která závisí na zatížení výstupu zdroje, resp. na změně odebíraného proudu zátěží. Cílem zdroje je při změně odebíraného proudu regulovat výstupní napětí, aby byla udržena jeho konstantní hodnota, viz kap. 7.1.1. Předpokladem bylo, že zjištěná úroveň rušivého napětí, která dosahuje vyšších hodnot, než povoluje norma, souvisí s popisovanou frekvencí spínání zdroje. Z těchto důvodů bylo následující měření provedeno při maximálním zatížení zdroje, kterému odpovídá výrobcem uváděná frekvence spínání 110 kHz. Měření rušení probíhalo pro nulový vodič (N) napájecího vedení zdroje, ale v tomto případě byl nastaven na elektronické zátěži odběr proudu na maximální výrobcem stanovenou hodnotu 3 A. Měřením byla potvrzena souvislost mezi spínáním zdroje a generovaným vysokofrekvenčním rušením, které se šíří do okolí prostřednictvím napájecího vedení zdroje. Z výsledných hodnot stanovených detektory MP (modře) a AV (zeleně), viz Obr. 7.9, lze vidět, že během většího zatížení zdroje dochází i k negativnímu ovlivnění dosažených úrovní rušivého napětí. Nebyly splněny maximální přípustné meze určené pro QP i AV hodnoty rušení. To je patrné zejména pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 5 MHz. Stejně jako v předchozích případech měření nebylo zpřesňující měření pomocí QP detektoru provedeno. Nutno poznamenat, že vzhledem k dosaženým výsledkům z tohoto měření dále nebylo provedeno ani odpovídající měření rušení po fázovém vodiči (L1) napájecího vedení zdroje.



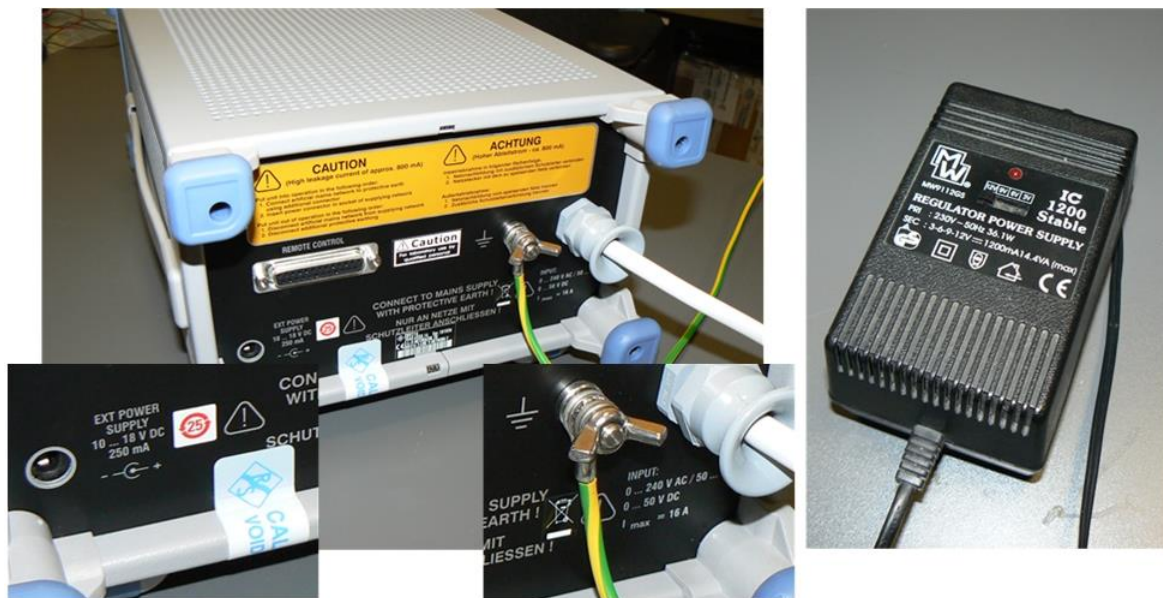
Obr. 7.9: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 3 A

Na základě provedených měření, jejichž výsledné hodnoty jsou součástí přílohy P13, bylo zjištěno, že zkoušený zdroj LRS-35-12 nespĺňuje požadavky kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3. Jedná se o maximální přípustné meze pro hodnoty rušivého napětí, které se dále může šířit po jeho napájecím vedení do okolí a elektrické sítě nízkého napětí, která je součástí vnitřních rozvodů bezodrazové stíněné komory. Na vstup napájecích svorek zkoušeného zdroje bylo nutné dodatečně nainstalovat odpovídající odrušovací síťový filtr.

Měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného po výstupním vedení

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje, ale v tomto případě generovaného na jeho výstupních, tj. stejnosměrných svorkách. Cílem bylo zjistit rušení šířené po výstupním vedení zdroje, tj. po jednotlivých vodičích plus (+) a mínus (-). Jak bylo uvedeno v kap. 7.1.2, měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle norem ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3. Měřicí pracoviště, včetně přístrojového vybavení, bylo stejné jako v případě měření rušení šířeného po napájecím vedení zdroje. Změna byla pouze v zapojení. Zkoušený zdroj byl napájen z rozvodu elektrické sítě 230 V/50 Hz, který byl součástí komory, a výstup zdroje, tj. 12 V DC, byl přiveden na vstupní síťové svorky umělé sítě. Síť disponuje vstupními svorkami 0 až 50 V DC, viz kap. 4.2.2, ale v tomto případě vyžaduje napájení z externího zdroje, tj. 10 až 18 V DC, 250 mA, viz Obr. 7.10 vlevo. K tomu účelu byl použit proměnný napájecí zdroj MW9112GS nastavený na 12 V DC, viz Obr. 7.10 vpravo. Na výstupní síťové svorky byla připojena elektronická zátěž a na

přístrojové svorky umělé sítě měřicí přijímač. Výstup zkoušeného zdroje byl zatěžován přes umělou síť.



Obr. 7.10: Vstupní svorky umělé sítě R&S - ENV216 a napájecí zdroj MW9112GS

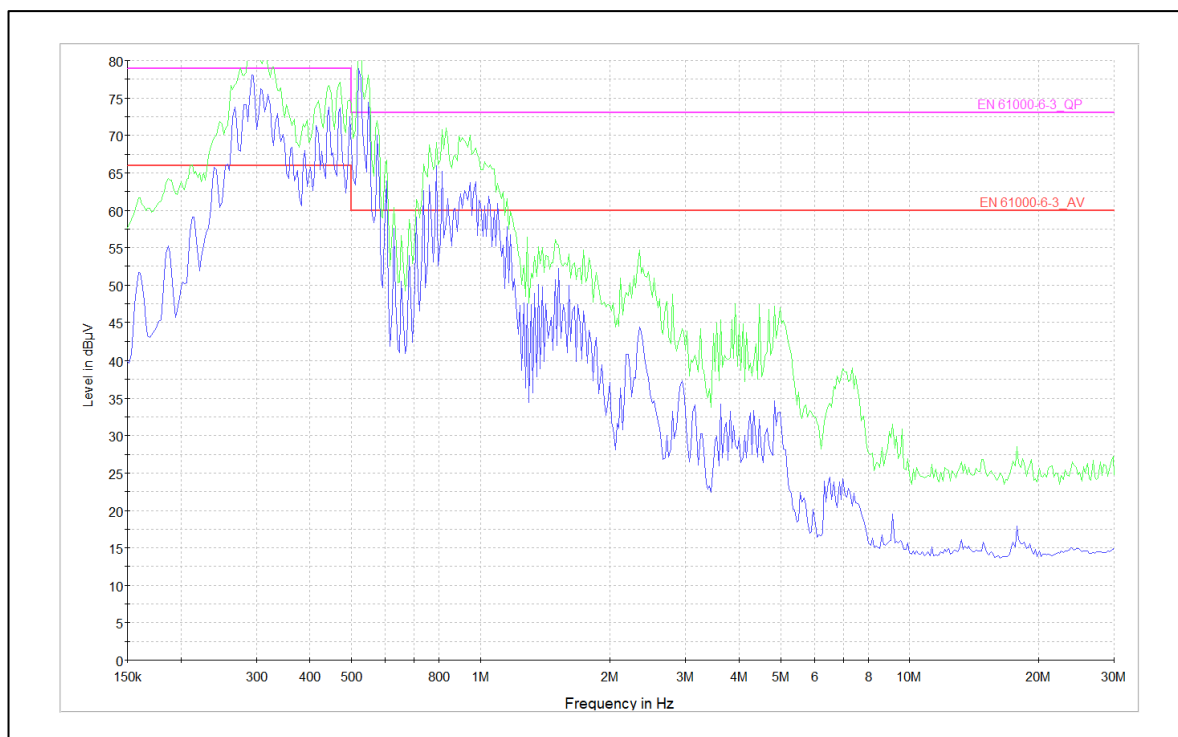
Nejprve bylo provedeno měření elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje, které se šíří po výstupním vodiči (-). Zátěž byla nastavena na odběr proudu 0,5 A, který představuje předpokládané provozní podmínky zdroje.



Obr. 7.11: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 0,5 A

V tomto případě měření byly maximální přípustné meze pro kvazivrcholové (QP) a střední (AV) hodnoty rušivého napětí nastaveny podle normou definovaných požadavků pro daný typ zkoušky. Výsledky zobrazené na Obr. 7.11 byly získány v rámci předběžného měření, které bylo opět provedeno s detektory MP a AV. Nutno poznamenat, že výstup stanovený MP detektorem je zobrazen zeleně a AV detektorem modře. Dosažené úrovně rušivého napětí překračují maximální povolené meze, které jsou stanovené pro QP i AV hodnoty rušení. Uvedené je patrné pro frekvenční pásmo od 250 kHz do 1,2 MHz. Vzhledem k tomu, že se nejvýznamnější AV hodnoty rušivého napětí v této oblasti blíží k dosažené úrovni MP a místy překračují i emisní limitu určenou pro QP hodnoty rušení, další zpřesňující měření s detektorem QP nebylo opodstatněné.

Dále bylo měření opakováno s cílem stanovit rušení, které se šíří po vodiči (+) výstupního vedení zkoušeného zdroje.

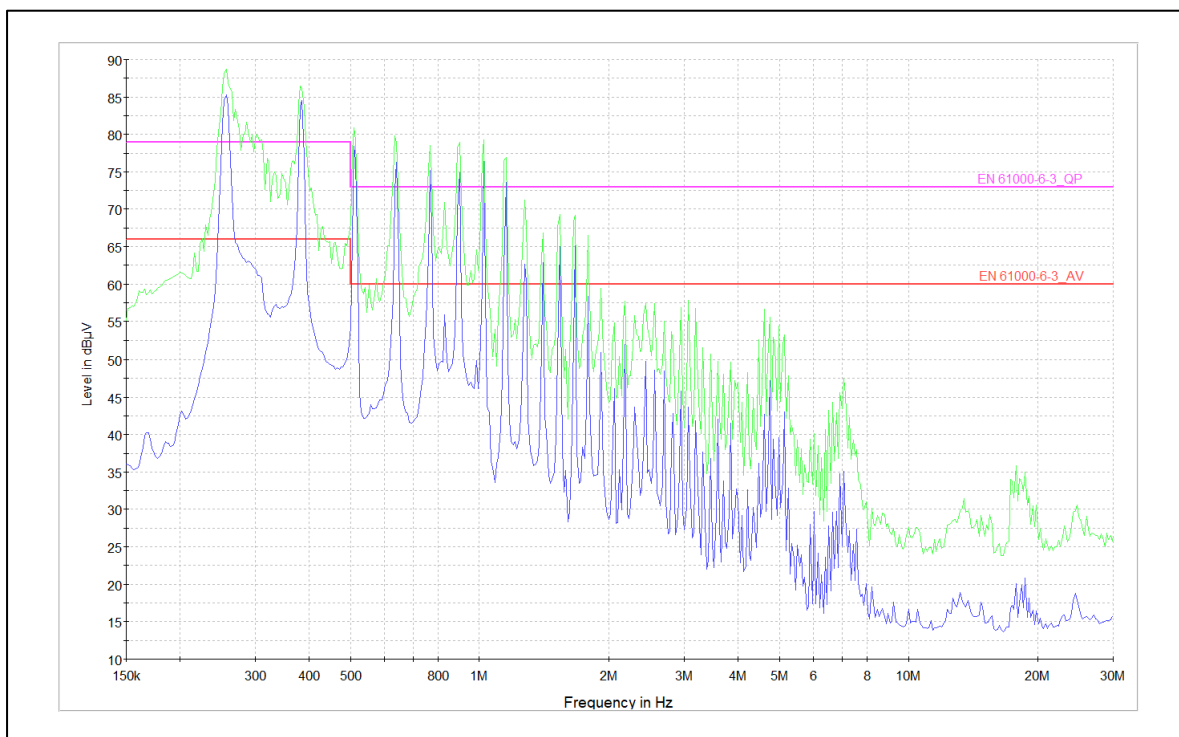


Obr. 7.12: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 0,5 A

Výsledné hodnoty jsou ukázány na Obr. 7.12. Lze vidět, že průběh rušení je srovnatelný s průběhem stanoveným během měření rušení šířeného po vodiči (-) výstupního vedení zdroje, viz Obr. 7.11. V tomto případě nebyly rovněž splněny požadavky, které předepisuje příslušná norma.

Pro komplexnější představu o zkoušeném zdroji bylo měření provedeno i pro vyšší zátěž zdroje, konkrétně 2,5 A. Uvedené zátěži odpovídá frekvence spínání zdroje 104 kHz, viz kap. 7.1.1. Záměrně nebyla zvolena maximální zátěž povolená výrobcem, tj. 3 A, aby nedocházelo k nežádoucímu přetěžování

zkoušeného zdroje. Samotná funkčnost zdroje i během jeho maximálního zatížení byla již ověřena v předchozí kapitole.



Obr. 7.13: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 2,5 A

Cílem bylo zjistit vliv zátěže zdroje na generované elektromagnetické rušení, které se dále šíří po jeho výstupním vedení, konkrétně po výstupním vodiči (+). Z Obr. 7.13 lze vidět, že zvýšená zátěž zdroje a související frekvence spínání mají negativní vliv na dosaženou úroveň rušení. Výsledné MP a AV hodnoty rušení z předběžného měření překračují povolené limity pro QP i AV hodnoty, a to na frekvenčním pásmu od 250 kHz do 1,7 MHz. Nebyly splněny normou kladené požadavky na maximální přípustné meze rušení. Rovněž i v tomto případě další zpřesňující měření QP detektorem nebylo provedeno.

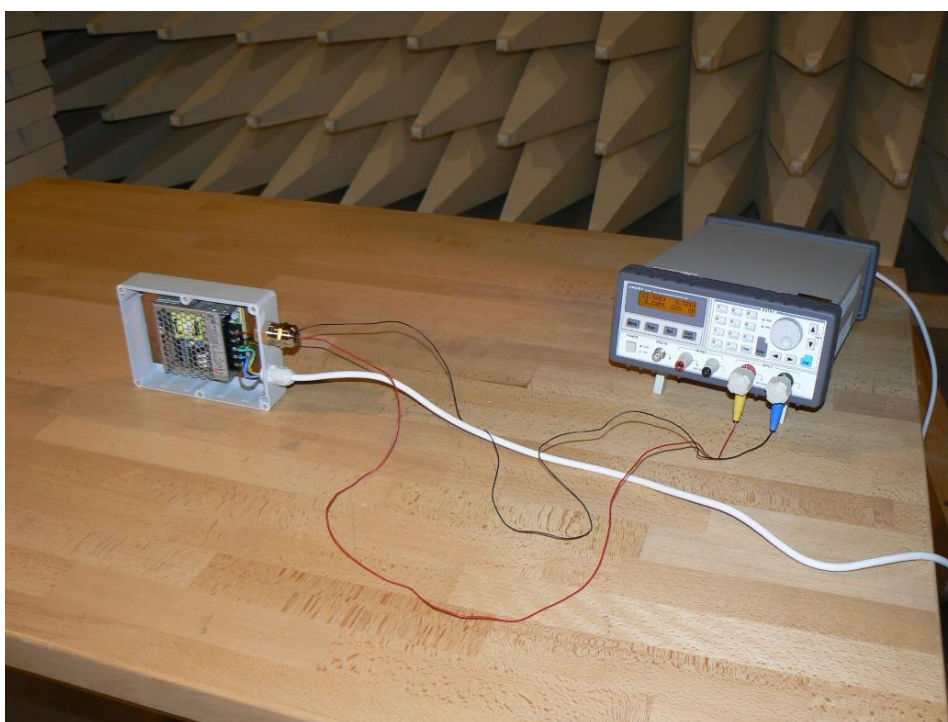
Na základě provedených měření, jejichž výsledné hodnoty jsou součástí přílohy P13, bylo konstatováno, že zkoušený zdroj LRS-35-12 nespĺňuje požadavky kladené normou ČSN EN 61000-6-3 na maximální přípustné meze elektromagnetického rušení, které se dále může šířit po výstupním vedení zdroje do prostoru bezodrazové stíněné komory a napájeného zařízení. Výstupní stejnosměrné svorky zkoušeného zdroje bylo nutné osadit dodatečným odrušovacím filtrem.

Zdroj LRS-35-12 ve stávajícím konstrukčním provedení, viz kap. 6.4.1, překračuje tedy povolené limity na rušení šířené po vedení. Vedením je myšleno příslušné napájecí i výstupní vedení zdroje. Zda zdroj splňuje normu po stránce

emisí elektromagnetického rušení, které se dále šíří vyzařováním, tj. krytem zdroje, je předmětem následujícího měření.

7.1.3 Elektromagnetické rušení zdroje LRS-35-12 šířené vyzařováním

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení šířícího se krytem zdroje LRS-35-12 čili vyzařováním. Cílem bylo stanovit intenzitu vyzařovaného rušivého elektrického pole, a to podle normy ČSN EN 55032, která je podružná kmenové normě ČSN EN 61000-6-3, viz kap. 7.1.2. Norma stanovuje maximální přípustné meze pro kvazivrcholové (QP) hodnoty rušivého elektrického pole, které jsou platné pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz. Limitní mez zobrazená na Obr. 7.15 je určena pro všechna elektrická a elektronická zařízení třídy B, aby nedocházelo k rušení radiokomunikačních a telekomunikačních služeb v normou definovaném prostředí. Především se jedná o zařízení používaná v prostředí obytném a v objektech, které jsou připojeny na rozvod nízkého napětí určeného pro obytné budovy [78]. Mezi uvedené typové prostředí patří i laboratorní prostory, viz kap. 7.1.2.



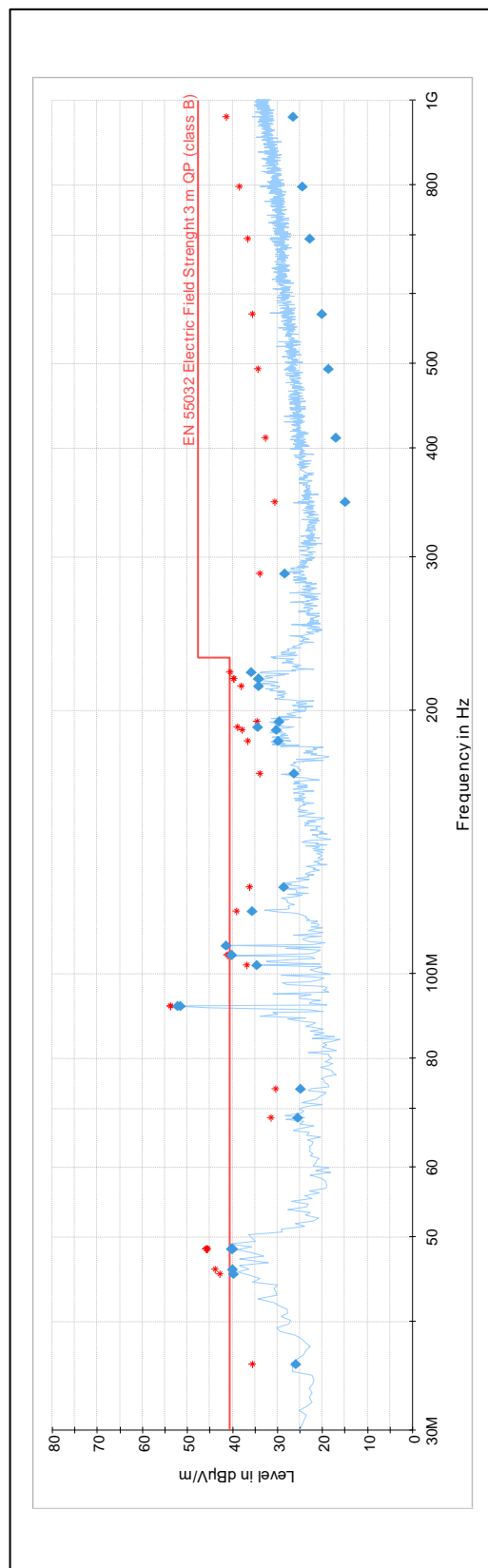
Obr. 7.14: Měření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12 šířené vyzařováním

Na Obr. 7.14 lze vidět část měřicího pracoviště, která se nachází uvnitř stíněné komory FRANKONIA SAC – 3 Plus S. Komora byla za účelem měření uspořádána do její výchozí, tj. částečně bezodrazové konfigurace, viz kap. 4. Nutno podotknout, že při měření bylo využito i jejích elektrických a signálových rozvodů. Zkoušený zdroj byl připojen k elektronické zátěži ARRAY 3721A. Obě zařízení byla umístěna na dřevěném pracovním stole, který je součástí točny

komory, viz kap. 4.1.5, Obr. 4.9. Měření bylo realizováno měřicí anténou TESEQ - CBL 6112D. Jedná se širokopásmovou BiLog anténu, viz kap. 4.2.2, Obr. 4.18. Anténa byla nainstalována na anténní stojan, který umožňoval její výškové nastavení, včetně změny polarizace, viz kap. 4.1.4, Obr. 4.8. Anténa byla dále připojena k měřicímu přijímači ESU8 od R&S, který je součástí hardwarové skříně umístěné mimo komoru, viz kap. 4.2. Uvedené přístrojové vybavení je již popsáno v kap. 4.2.2 a řídicí jednotka FRANKONIA – FC02 na ovládání elektrického pohonu anténního stojanu a točny komory v kap. 4.1.6. Doporučená sekvence pro zapínání jednotlivých zařízení byla zmíněna v kap. 7.1.2, tj. při měření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12 šířícího se po jeho vedení.

Na Obr. 7.15 jsou ukázány výsledky z autotestu, který byl spuštěn v rámci měřicího softwaru EMC32. Požadavky kladené příslušnou normou jsou zřejmé z popisu zobrazeného u limitní meze stanovené pro QP hodnoty rušení. Zdroj byl měřen při odebíraném proudu zátěží 0,5 A, který představuje jeho předpokládané běžné provozní podmínky, v tomto případě tedy napájení převodníku AT-MC102XL. Normou určená vzdálenost pro měření mezi zkoušeným zdrojem a měřicí anténou je 3 m. Cílem měření bylo nalézt nejvyšší dosaženou úroveň rušení zdroje způsobeného elektrickou složkou elektromagnetického pole, které je vyzařováno jeho krytem a současně odráženo od zemní roviny komory. Zdroj byl měřen z úhlů od -180° do $+180^\circ$ po kroku 30° a současně skenován anténou ve výšce od 1 do 4 m s krokem 0,5 m, bráno od podlahy komory. Skenování probíhalo pro vertikální i horizontální polarizaci antény. V tomto ohledu je software EMC32 plně kompatibilní s řídicí jednotkou FC02, takže umožňuje i automatické ovládání elektrických pohonů anténního stojanu a točny, viz kap. 4.2.1.

Vyhodnocení prostřednictvím autotestu, viz Obr. 7.15, probíhalo ve třech základních krocích. Nejprve proběhlo měření rušivého signálu pomocí spektrálního analyzátoru, který je součástí integrovaných funkcí měřicího přijímače. Na základě zjištěného průběhu, který je na popisovaném obrázku znázorněn modrou barvou, se vytypovaly kritické frekvence. V těchto oblastech bylo následně provedeno měření MP detektorem, který hledal špičkové hodnoty odpovídající maximální intenzitě vyzařovaného rušivého elektrického pole. Na obrázku jsou tyto hodnoty označeny hvězdičkami červené barvy. V posledním kroku bylo okolí nalezených hodnot podrobena zpřesňujícímu měření normou předepsaným QP detektorem. Šířka propustného pásma tohoto detektoru byla 120 kHz. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny ve tvaru kosočtverce modré barvy. Z dosažených výsledků je patrné, že naměřená intenzita zdrojem vyzařovaného rušivého elektrického pole místy přesahuje maximální přípustné meze stanovené pro QP hodnoty rušení. Požadavky kladené příslušnou normou nebyly tedy splněny.



Obr. 7.15: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zdroje LRS-35-12 při zatěžovacím proudu 0,5 A

Nejvýznamnější úroveň rušení byla stanovena na frekvencích 91,69 a 91,70 MHz. Bylo zjištěno, že se jedná o vysílací frekvenci Rádía Zlín, viz kap. 7.1.1. Další významná úroveň rušení byla naměřena na frekvenci 104,99 a 105,02 MHz. V tomto případě bylo předpokládáno, že se jedná o Rádio Frekvence 1, které vysílá pro město Zlín na frekvenci 105 MHz [79]. Kritická úroveň rušení na frekvenci 107,7 MHz byla rovněž přisuzována rádiu, a to Českému rozhlasu Dvojka [79]. Tyto identifikované rušivé frekvence byly vyloučeny z výsledného hodnocení. Z dosažených intenzit rušení na frekvenčním pásmu od 45 do 50 MHz lze však vidět, že zkoušený zdroj nevyhovuje, i když se jedná o hodnoty, které jen minimálně překračují povolenou mez.

Cílem měření bylo stanovit elektromagnetické rušení, které se šíří vyzařováním čili krytem zkoušeného zdroje LRS-35-12. Zdroj byl měřen v jeho předpokládaném provozním režimu, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,5 A. Na základě dosažených výsledků, které jsou součástí přílohy P13, bylo konstatováno, že stávající konstrukce zdroje nespĺňuje požadavky kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3. Překračuje maximální přípustné meze stanovené pro rušení způsobené elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole, které se dále může šířit krytem zdroje do prostoru bezodrazové stíněné komory a mít negativní vliv na probíhající měření. Zdroj nevyhověl i po stránce měření elektromagnetického rušení generovaného na jeho napájecích i výstupních svorkách, viz kap. 7.1.2. V tomto případě bylo doporučeno na svorky zdroje dodatečně nainstalovat odpovídající odrušovací filtry. Současně bylo předpokládáno, že tato úprava konstrukce zdroje omezí i intenzitu rušivého elektrického pole vyzařovaného jeho krytem.

Zdroj byl vhodný k napájení převodníku AT-MC102XL, ale nikoliv k provozu v bezodrazové stíněné komoře. Konstrukci zdroje bylo nutné upravit nebo nahradit jiným zařízením. Vzhledem k aktuální nabídce napájecích zdrojů, které disponují shodnými parametry, ale i obdobnou konstrukcí, byla úprava zdroje jistějším řešením. Konstrukční úpravy zdroje, včetně opakovaných měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení i vyzařováním zdroje, jsou součástí kap. 8.

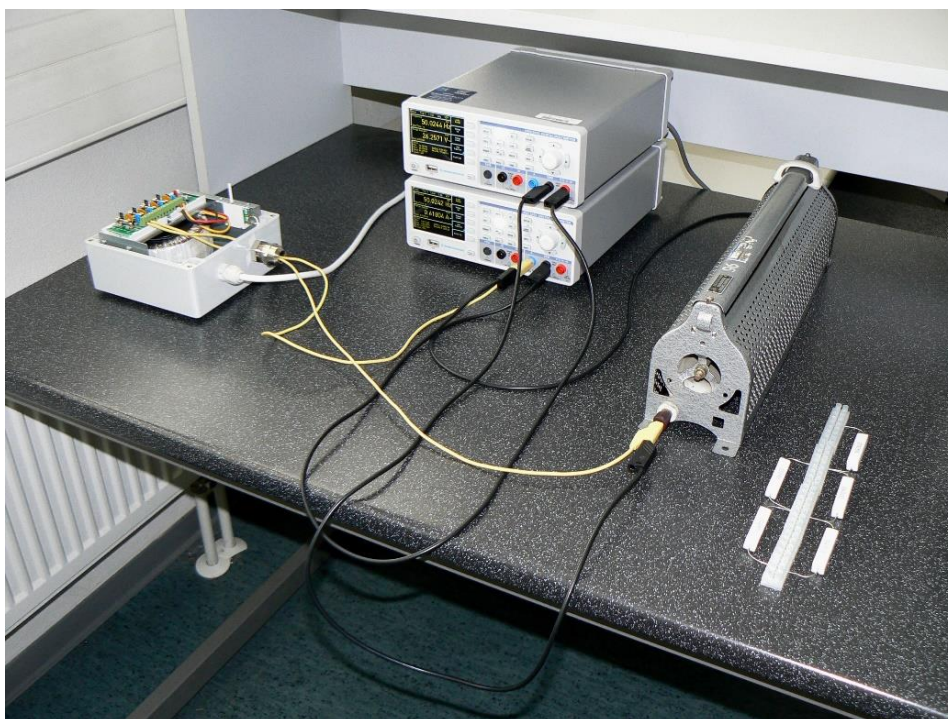
7.2 Napájecí zdroj pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S

Základ konstrukce tvoří zdroj Pulsar - PSACH 04244, který byl upraven pro účely napájení kamery IPS5184S od společnosti MERIT LILIN, viz kap. 5.1. Cílem bylo transformovat střídavé napětí 230 V/50 Hz, dodávané z elektrické sítě, na malé bezpečné střídavé napětí 24 V/50 Hz. Napájecí zdroj disponuje čtyřmi nezávislými výstupy s následujícím jmenovitým rozsahem 23 - 28 V AC, 0 - 1 A nebo 25,5 - 31,5 V AC, 0 - 1 A. Nabízí dva režimy (U_1 a U_2) s rozdílným rozsahem výstupního napětí. Předmětem níže uvedených měření je konfigurace zkoušeného

zdroje v režimu U_1 , tj. s výstupním rozsahem 23 - 28 V AC, 0 - 1 A. Bližší informace ke konstrukci a parametrům zdroje jsou uvedeny v kap. 6.4.2.

7.2.1 Ověření výstupních parametrů zdroje PSACH 04244

Stejně jako v kap. 7.1.1 byla nejprve naměřena zatěžovací charakteristika zdroje za účelem získání představy o reálném chování zdroje při změně jeho zátěže. Konfigurace pro určení zatěžovací charakteristiky zkoušeného zdroje je ukázána na Obr. 7.16.

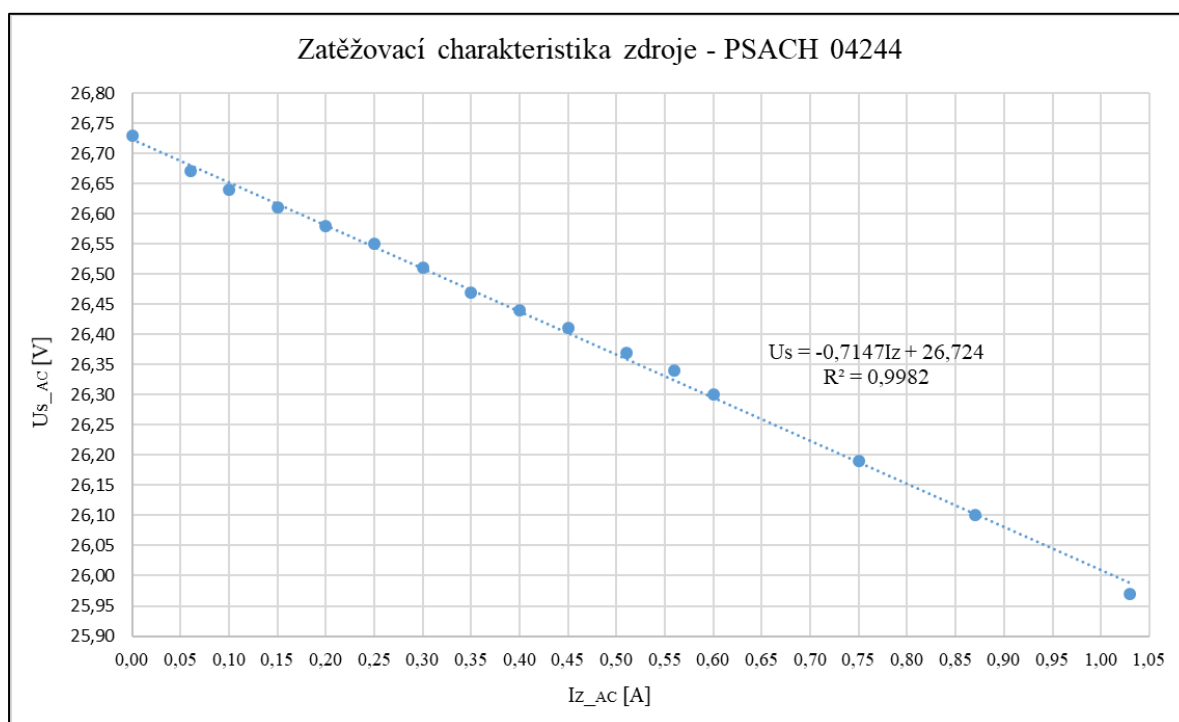


Obr. 7.16: Měření zatěžovací charakteristiky zdroje PSACH 04244

Zapojení a přístrojové vybavení bylo shodné jako v případě testování zdroje LRS-35-12 pro převodník AT-MC102XL, viz kap. 7.1.1. Zkoušený zdroj byl napájen z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz a na jeho výstupních svorkách bylo očekáváno napětí 24 V AC s frekvencí, která odpovídá jmenovité frekvenci elektrické sítě. Cílem měření byla závislost svorkového napětí zdroje na změně proudu protékajícího zátěží. Zátěž, viz Obr. 7.16 vpravo, představoval proměnný výkonový rezistor a sada metaloxidových rezistorů. Jednalo se tedy o odporové zátěže. Proměnný rezistor je konstrukčně řešen jako tahový reostat s maximálním odběrem proudu 0,63 A, což bylo vzhledem k maximální povolené zátěži jednotlivých výstupů zdroje výkonově nedostačující. K dosažení vyšších hodnot odebíraného proudu, tj. v rozsahu 0,6 až 1 A, bylo využito metaloxidových rezistorů, které mají výrobcem udávaný jmenovitý odpor 10 Ω a výkon 10 W. Konstrukčně jsou například vhodné jako topné tělesa k povrchovému ohřevu.

Pracoviště, viz kap. 4.2, nedisponuje programovatelnou elektronickou zátěží pro střídavý proud. Z tohoto důvodu byla zvolena odporová zátěž. Nevýhodou těchto zátěží jsou velké výkonové ztráty ve formě tepla, a to vlivem velkých proudů, proto se musí uvažovat i jejich chlazení. Vzhledem k předpokládanému rozsahu měření a výkonovým možnostem příslušných zátěží nebylo v tomto případě chlazení nutné. S teplotou rezistoru se tedy mění i jeho odpor a během měření bylo nezbytné čekat na ustálený stav měřených veličin. Za účelem vytvoření představy o chování zkoušeného zdroje byly však uvedené odporové zátěže dostačující. Výsledky z měření jsou prezentovány v Tab. P5.2, která je součástí přílohy P5.

Tab. P5.2 obsahuje efektivní hodnoty napětí na svorkách U_{S_AC} zkoušeného zdroje v závislosti na změně odebíraného proudu I_{Z_AC} odporovou zátěží. Proud byl odebíráno v rozsahu 0 až 1,03 A, aby bylo dosaženo maximálního zatížení odpovídajícího výstupu zdroje. Zdroj disponuje čtyřmi jednotlivými a na sobě nezávislými výstupy, viz kap. 6.4.2. Změna odebíraného proudu byla prováděna na tahovém reostatu přibližně po kroku 0,05 A až do hodnoty 0,6 A. Poslední tři hodnoty proudu uvedené v tabulce byly odebírány zátěží realizovanou z metaloxidových rezistorů. Z naměřených hodnot je patrné, že s rostoucí zátěží zdroje klesá i napětí na jeho výstupních svorkách.



Obr. 7.17: Zatěžovací charakteristika zdroje PSACH 04244

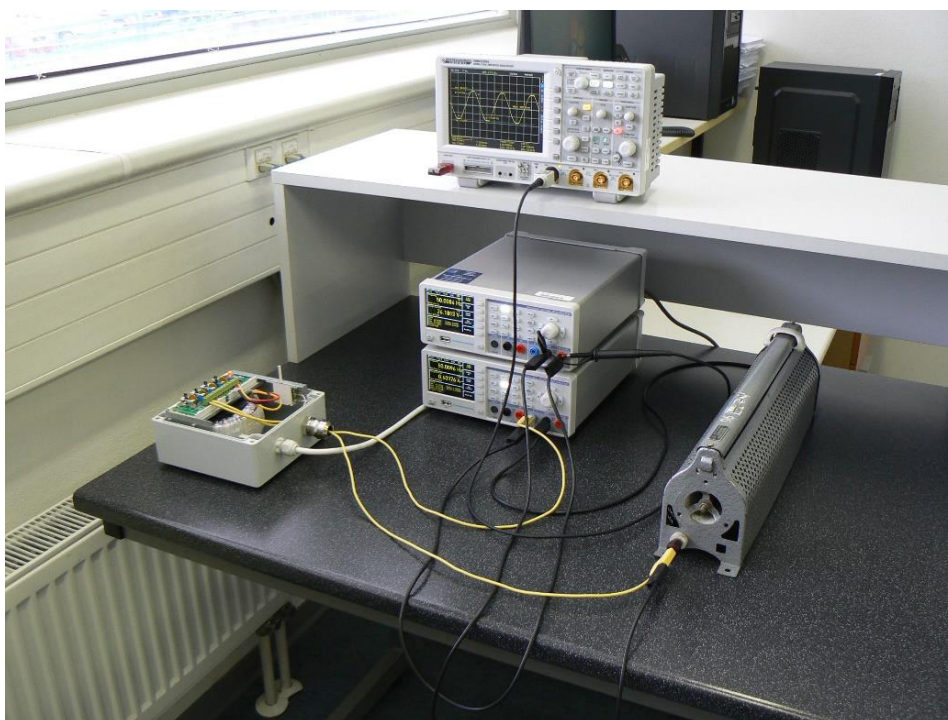
Ze zatěžovací charakteristiky zkoušeného zdroje, viz Obr. 7.17, lze vidět jeho reálné chování, tj. s odběrem proudu zátěží I_{Z_AC} dochází k poklesu napětí na svorkách zdroje U_{S_AC} . Dále je patrné, že při maximální zátěži zdroje, tj. při

odebíraném proudu 1,03 A, je zaznamenán pokles jeho svorkového napětí o 0,76 V. Z poklesu napětí na svorkách zdroje, resp. ze strmosti zatěžovací charakteristiky byla určena i tvrdost zdroje, viz kap. 7.1.1. Uvedený pokles napětí lze považovat za malý a zdroj za tvrdý. Předpoklad byl ověřen výpočtem vnitřního odporu zkoušeného zdroje, viz vztah (7.1), kap. 7.1.1. Po dosazení platí:

$$R_i = \frac{26,73 - 25,97}{1,03} = \frac{0,76}{1,03} \doteq 0,74 \text{ } [\Omega] \quad (7.5)$$

Výpočtem byl stanoven vnitřní odpor zdroje 0,74 Ω čili hodnota menší než 1 Ω a potvrzen předpoklad, že se jedná o tvrdý zdroj napětí.

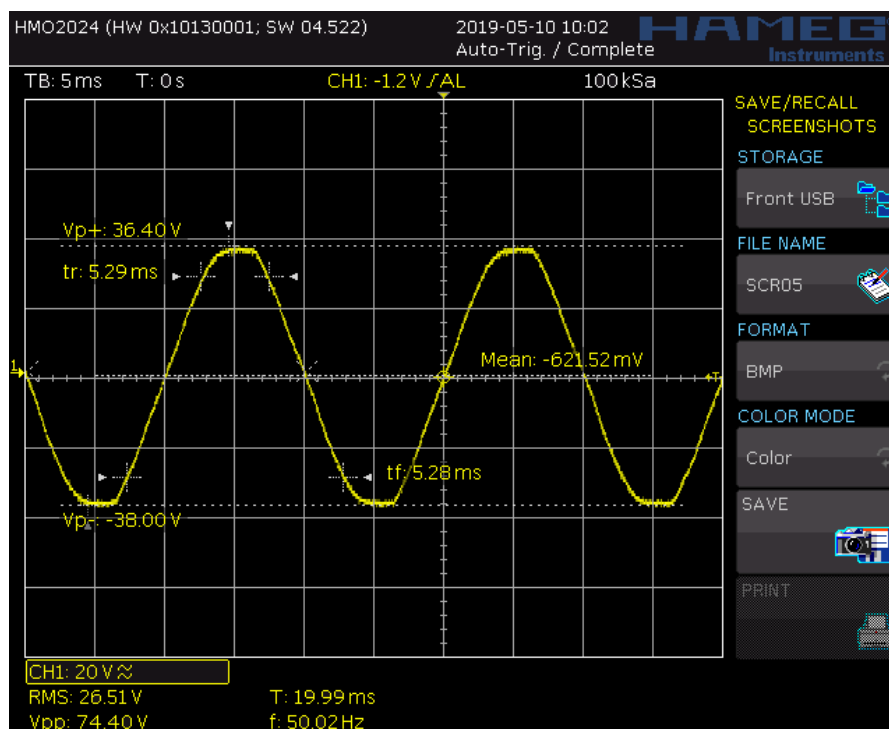
Další ověřovanou vlastností zdroje byl sinusový průběh výstupního napětí. Měřicí pracoviště lze vidět na Obr. 7.18. Konfigurace zapojení byla rozšířena o digitální osciloskop. Osciloskop byl připojen na výstupní svorky zkoušeného zdroje. Přístrojové vybavení bylo stejné jako při měření zvlnění výstupního napětí zdroje LRS-35-12, viz kap. 7.1.1.



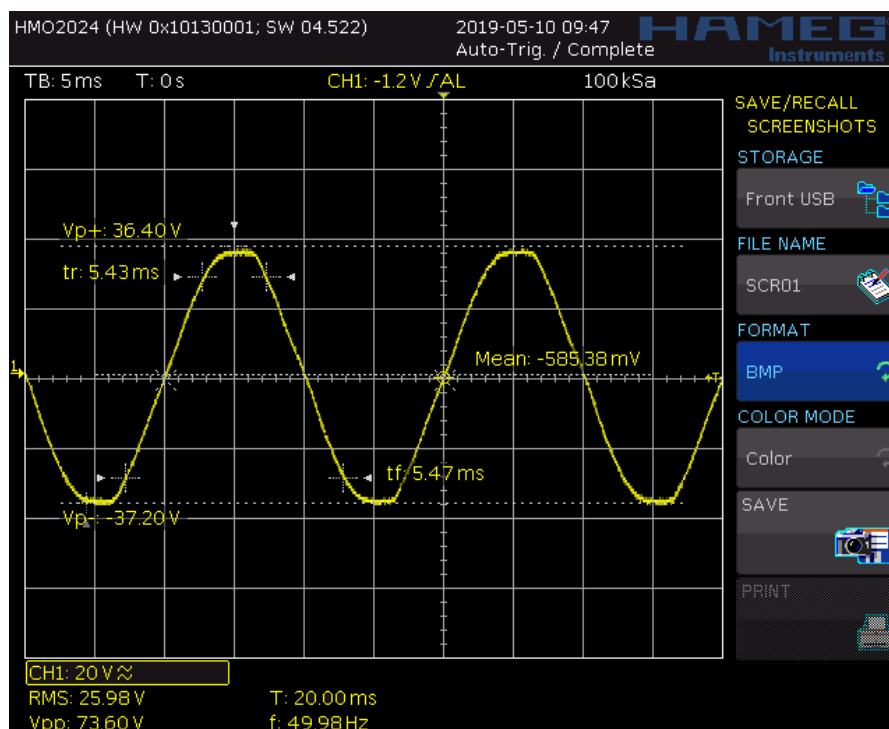
Obr. 7.18: Ověření sinusového průběhu výstupního napětí zdroje PSACH 04244

Cílem měření bylo zjistit harmonické zkreslení výstupního střídavého napětí zdroje a případnou souvislost s jeho zátěží. Předpokladem bylo, že rostoucí zátěž má negativní vliv na velikost amplitudy výstupního střídavého napětí, což také vyplývá z naměřených efektivních hodnot, viz příloha P5, Tab. P5.2 a ze zatěžovací charakteristiky zdroje, viz Obr. 7.17. Z těchto důvodů bylo provedeno měření pro tři zátěže zdroje, konkrétně 0, 0,6 a 1,03 A. Hodnota odebíraného

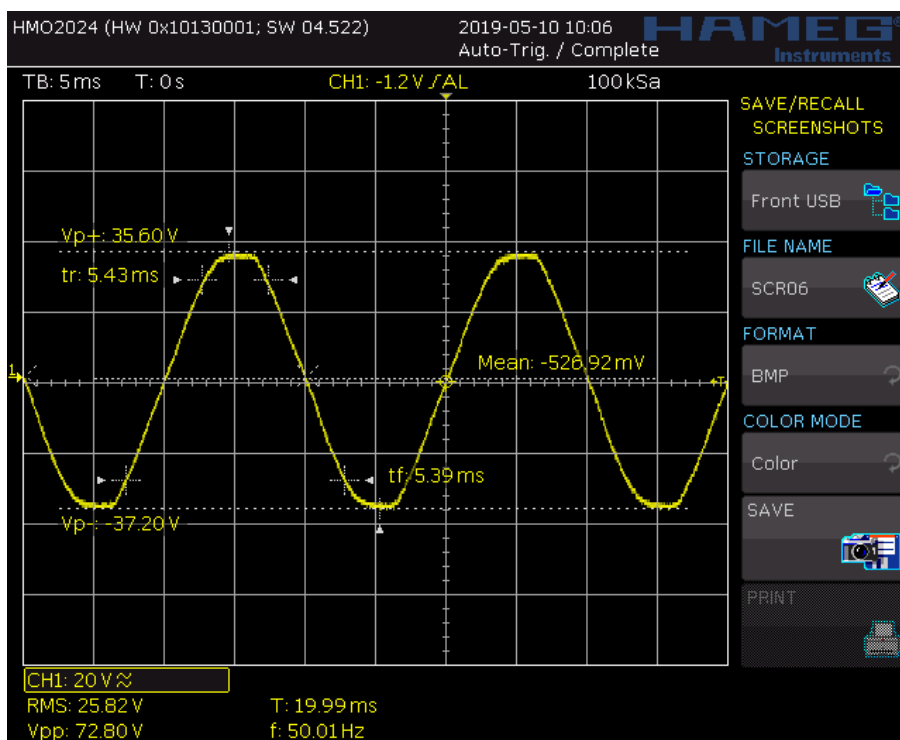
proudu zátěží 0,6 A představovala předpokládané provozní podmínky zdroje, tj. napájení kamery. Hodnota proudu 1,03 A představovala maximální výrobcem povolenou zátěž zdroje. Výsledné časové průběhy výstupního střídavého napětí zdroje pro jednotlivé zátěže jsou ukázány na následující sérii snímků.



Obr. 7.19: Průběh výstupního napětí zdroje bez zátěže



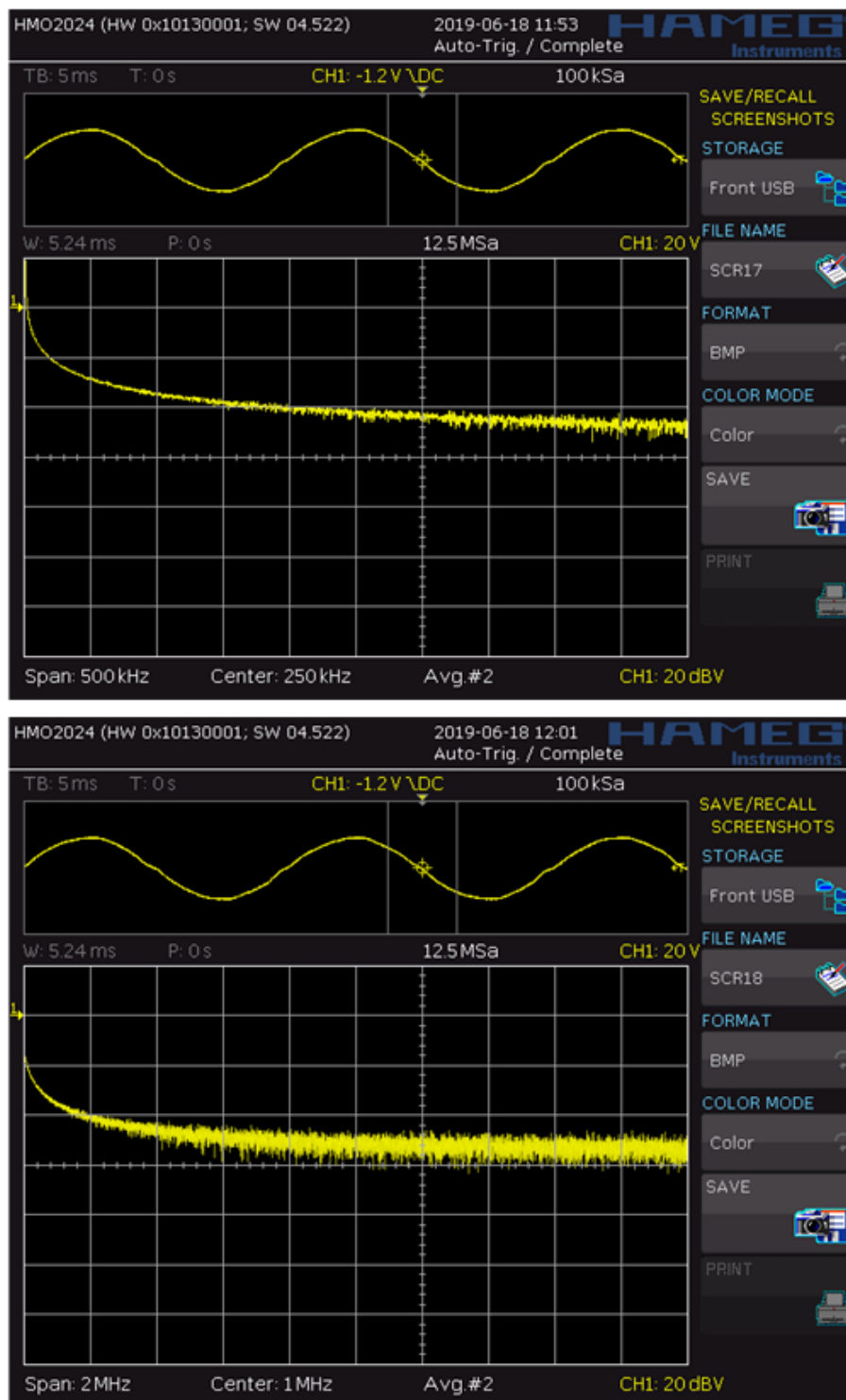
Obr. 7.20: Průběh výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 0,6 A



Obr. 7.21: Průběh výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 1 A

Na Obr. 7.19, Obr. 7.20 a Obr. 7.21 jsou zobrazeny okamžité hodnoty průběhu střídavého napětí v čase, které se periodicky opakují s frekvencí 50 Hz a mění podle funkce sinus. Série měření odhalila harmonické zkreslení v oblasti minima a maxima zobrazených průběhů. Zkreslení je v podobě zploštělé deformace vrcholových hodnot sinusového průběhu. Je zřejmé, že změna zátěže zdroje na zjištěné deformace nemá vliv. Lze předpokládat, že příčinou způsobených deformací nemusí být výhradně konstrukce zkoušeného zdroje, ale může se jednat o harmonické zkreslení pocházející z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, ze které byl zdroj napájen. Dále lze konstatovat, že změna zátěže má negativní vliv na velikost amplitudy výstupního střídavého napětí zdroje, což odpovídá jeho reálným vlastnostem.

Pro celkovou představu o průběhu výstupního napětí zdroje byla provedena jeho analýza i ve frekvenční oblasti. K tomu účelu byla použita funkce rychlé Fourierovy transformace (FFT - Fast Fourier Transform), kterou disponuje používaný osciloskop, viz Obr. 7.22. Fourierova transformace je matematická metoda vyjadřující vzájemný vztah mezi signálem v časové a frekvenční oblasti. Podstatou je analyzovaný signál rozložit na jednotlivé harmonické průběhy a zjistit jejich zastoupení v daném signálu. Nutno podotknout, že každý signál, který je periodický v čase má příslušné diskrétní spektrum [80]. Osciloskop pak pracuje se vzorkovaným signálem, proto využívá diskrétní Fourierovu transformaci a k ní adekvátní výpočtový algoritmus FFT.



Obr. 7.22: Frekvenční spektrum výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 0,6 A

Na Obr. 7.22 je zobrazeno spektrum výstupního napětí zdroje při odebraném proudu zátěží 0,6 A, tj. při zátěži, která odpovídá předpokládaným provozním podmínkám zdroje. Na horním obrázku se nachází detailnější užší část spektra viditelná pro frekvenční pásmo 0 až 500 kHz a na spodním jeho širší část zobrazená až do 2 MHz, která poskytuje bližší představu o chování sledovaného signálu v oblasti vysokých frekvencí. Z obou uvedených částí spektra výstupního

signálu zdroje je patrné, že není zatížen a ovlivněn žádným významným vysokofrekvenčním rušením. To je dáno konstrukcí zkoušeného zdroje, jedná se o toroidní transformátor, viz kap. 6.4.2, Obr. 6.18. Na rozdíl od spínané konstrukce zdroje, která vlivem spínání její výkonové části generuje široké spektrum vysokofrekvenčního rušení, viz kap. 7.1.1 a 7.1.2.

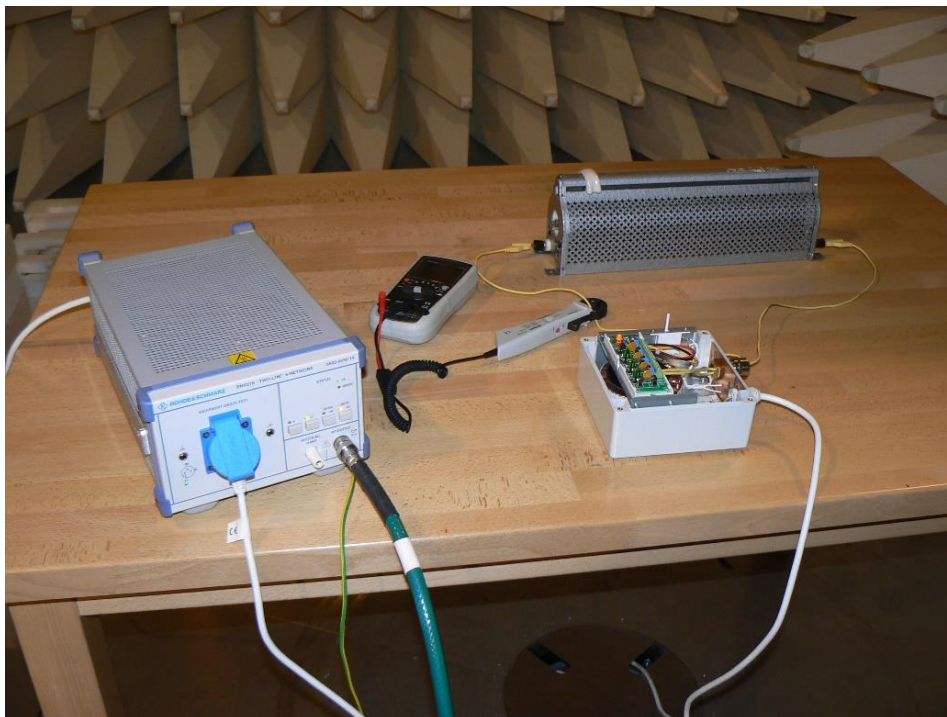
Na základě předběžné analýzy výstupního signálu zdroje PSACH 04244 provedené v časové i ve frekvenční oblasti bylo konstatováno, že stanovené parametry výstupních veličin zkoušeného zdroje splňují požadavky na napájení kamery MERIT LILIN - IPS5184S. Dále bylo zjištěno, že v rámci sledovaného frekvenčního pásma 0 až 2 MHz zdroj podle předpokladu negeneruje žádné významné vysokofrekvenční rušení. Vhodnost použití zdroje i v prostoru bezodrazové stíněné komory z pohledu normy ČSN EN 61000-6-3 je předmětem následujících měření.

7.2.2 Elektromagnetické rušení zdroje PSACH 04244 šířené po vedení

Měření elektromagnetického rušení šířeného po vedení zdroje PSACH 04244 vycházelo z poznatků a norem, konkrétně ČSN EN 55016, ČSN EN 61000-6-3, uvedených v kap. 7.1.2. Cílem bylo zjistit rušení na napájecích a výstupních svorkách zkoušeného zdroje, které se může šířit do okolí po příslušném napájecím i výstupním vedení.

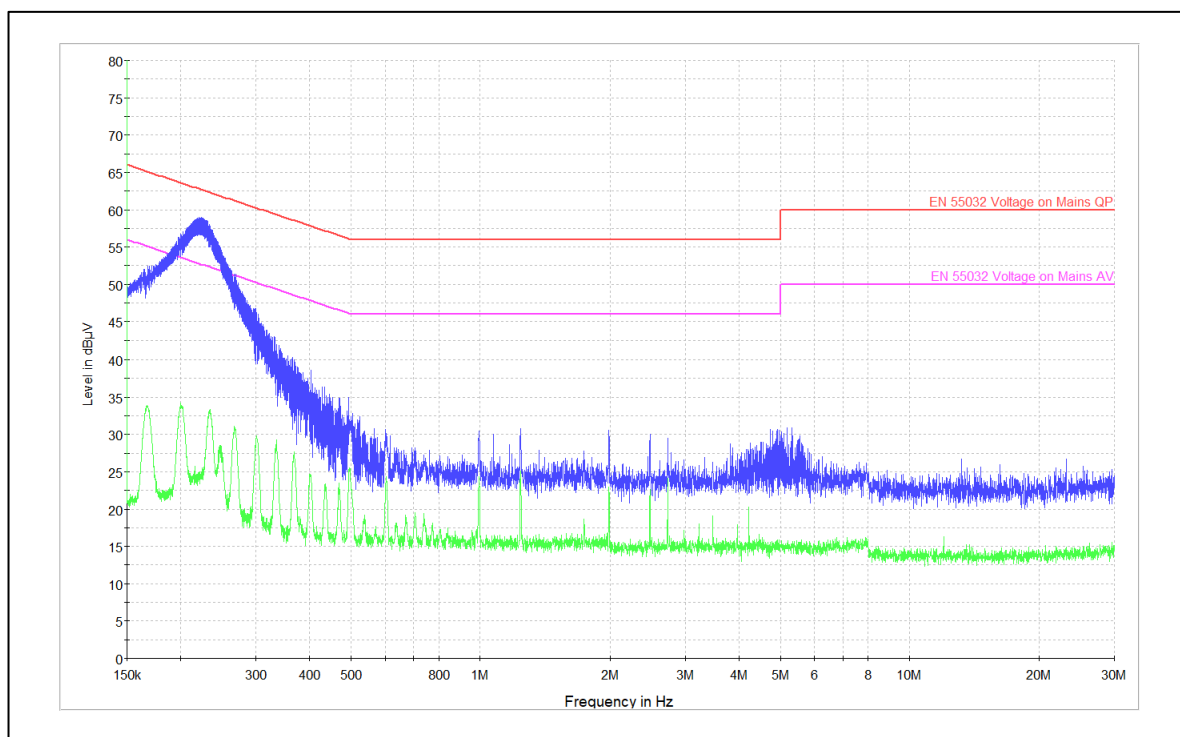
Měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného po napájecím vedení

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje generovaného na jeho vstupních, tj. napájecích svorkách. Předmětem bylo stanovit rušení šířené po napájecím vedení zdroje, tj. po jeho fázovém (L1) a nulovém (N) vodiči. Měřicí pracoviště je ukázáno na Obr. 7.23. Jedná o stejnou konfiguraci zapojení jako při odpovídajícím měření prováděném u napájecího zdroje LRS-35-12, viz kap. 7.1.2. Rozdíl je pouze v typu zátěže, viz kap. 7.2.1. Z důvodu sledování odebíraného proudu zátěží bylo přístrojové vybavení rozšířeno o ruční digitální multimetr Voltcraft VC-280 GREEN-LINE, včetně příslušných proudových kleští CLA-40, viz Obr. 7.23 uprostřed. Velikost zátěže zdroje byla zvolena s ohledem na jeho předpokládané provozní podmínky a maximální výrobcem povolenou zátěž, tj. odebíraný proud zátěží 0,6 a 1 A.

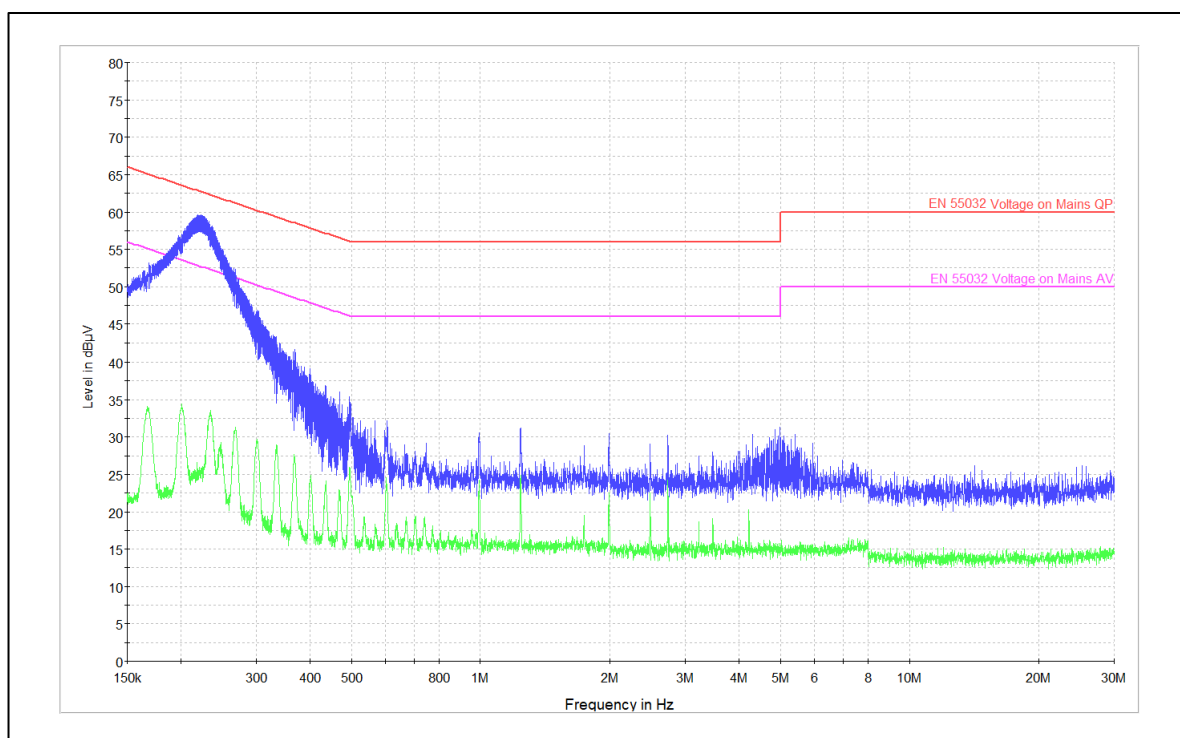


Obr. 7.23: Měření elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244 po napájecím vedení

Jak bylo uvedeno v kap. 7.1.2, nejprve bylo provedeno předběžné měření pomocí MP a AV detektoru. Na Obr. 7.24 a Obr. 7.25 jsou prezentovány výsledky z tohoto měření, tj. elektromagnetického rušení zdroje šířícího se po fázovém (L1) a nulovém (N) vodiči napájecího vedení zdroje při zatěžovacím proudu 0,6 A. Výstupy z MP detektoru jsou označeny modře a z AV detektoru zeleně. Z naměřených úrovní rušivého napětí je patrné, že hodnoty z obou měření jsou průběhem rušení srovnatelné a nepřekračují maximální normou přípustné meze pro QP i AV hodnoty rušení stanovené pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 30 MHz. Z dosažených výsledků lze konstatovat, že byly splněny požadavky kladené normou. Zpřesňující měření pomocí normou předepsaného QP detektoru nebylo nutné, protože dosažená úroveň MP hodnot se nepřibližuje k povolené limitní mezi pro QP hodnoty rušení.

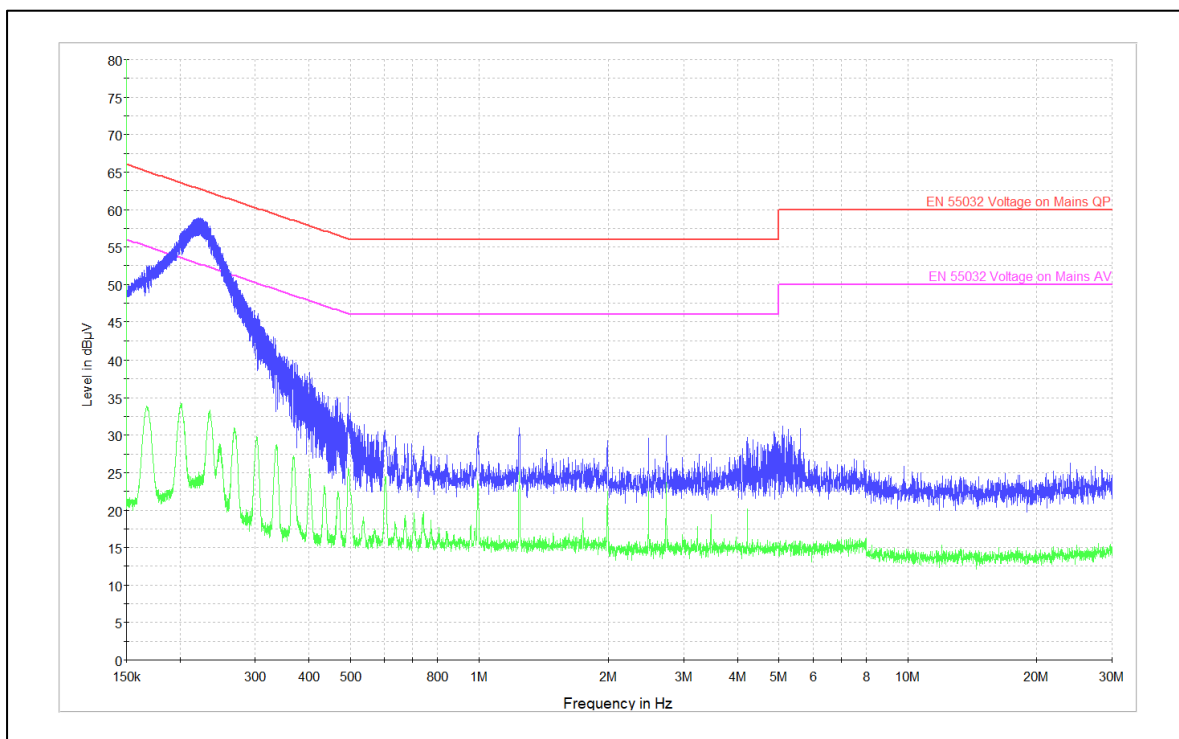


Obr. 7.24: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,6 A

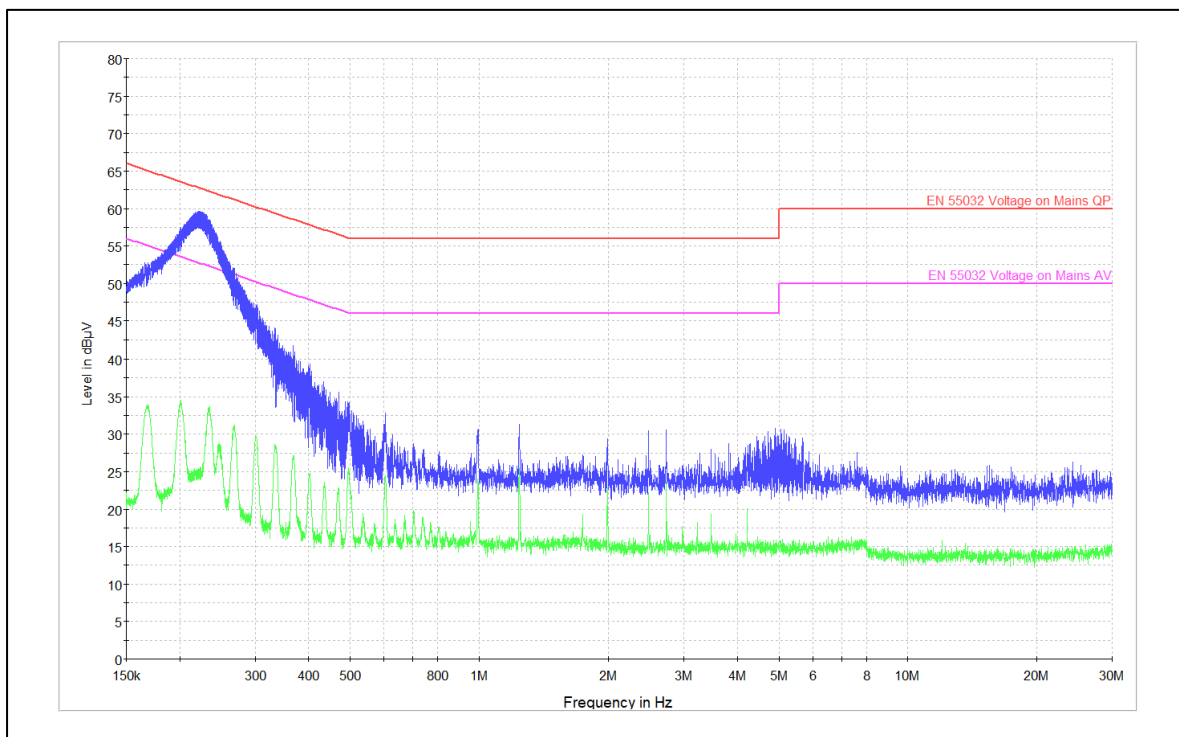


Obr. 7.25: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,6 A

Následující měření bylo provedeno při maximální výrobcem povolené zátěži zdroje, tj. při zatěžovacím proudu 1 A.



Obr. 7.26: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 1 A



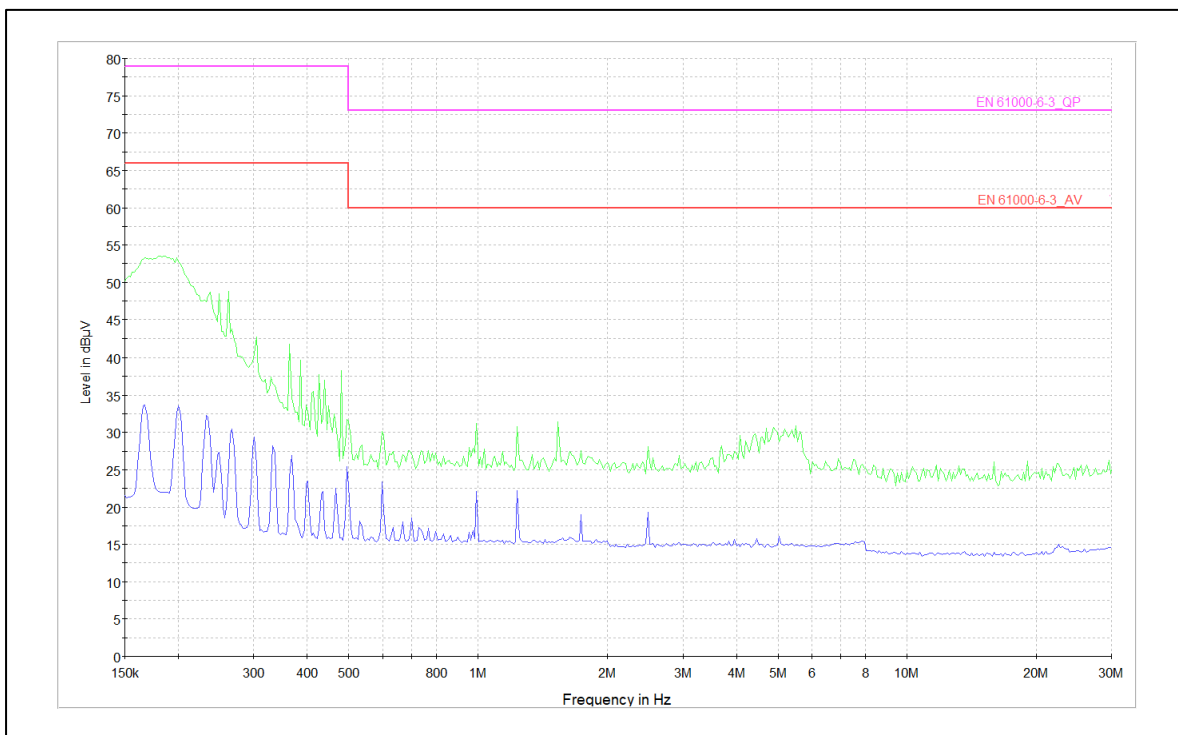
Obr. 7.27: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 1 A

Nejprve bylo provedeno opět předběžné měření elektromagnetického rušení, které se šíří po fázovém vodiči (L1), viz Obr. 7.26, a pak po nulovém vodiči (N), viz Obr. 7.27, napájecího vedení zdroje. Z dosažených výsledků lze vidět, že i v tomto případě měření byly splněny požadavky kladené normou. Dále bylo zjištěno, že průběh rušivého napětí je srovnatelný s průběhem z předchozího měření, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,6 A, viz Obr. 7.24 a Obr. 7.25. Z toho vyplývá, že změna zátěže zdroje nesouvisí s rušením generovaným na jeho napájecích svorkách, které se dále šíří po přívodním vedení zdroje.

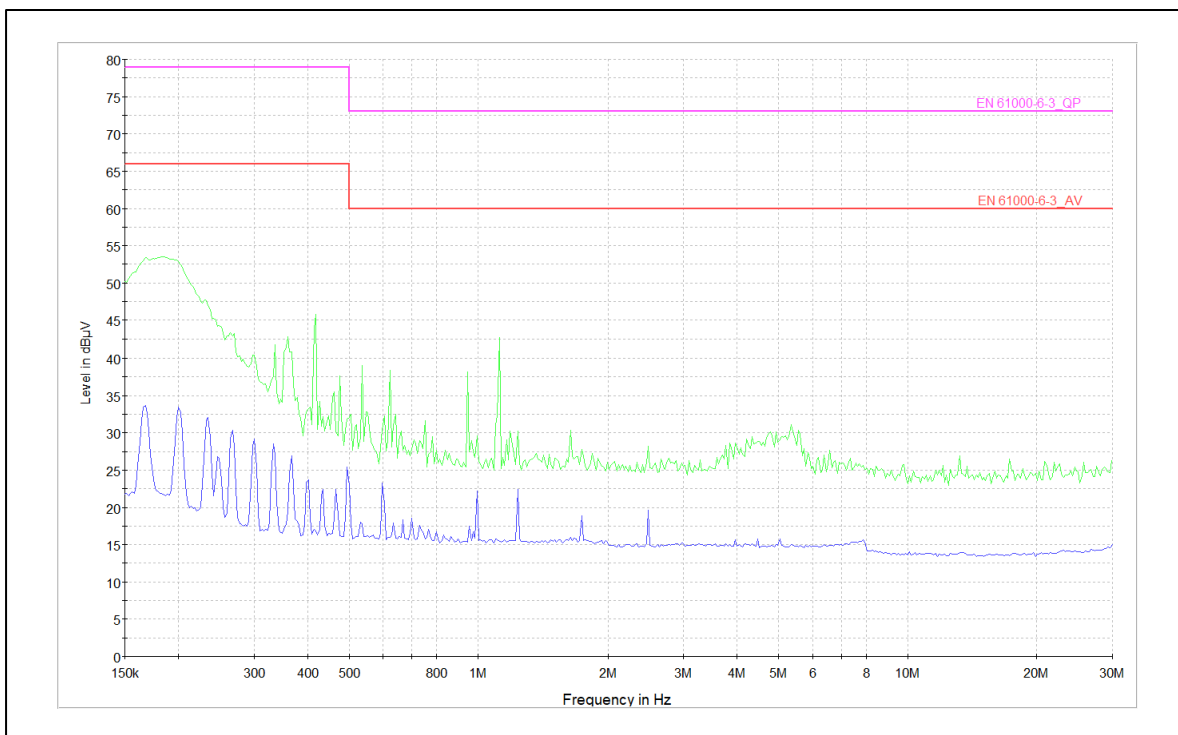
Cílem těchto měření bylo stanovit elektromagnetické rušení na vstupních, resp. napájecích svorkách zdroje PSACH 04244, které se dále šíří po příslušném napájecím vedení. Měření zdroje probíhalo při odebíraném proudu zátěží 0,6 a 1 A, tj. při předpokládaných provozních podmínkách i maximální výrobcem povolené zátěži zdroje. Na základě výsledků, které jsou součástí přílohy P14, bylo konstatováno, že dosažená úroveň rušivých emisí zkoušeného zdroje splňuje přípustné meze kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3. Dále bylo zjištěno, že změna velikosti zátěže zdroje nemá vliv na elektromagnetické rušení, které je generováno na jeho napájecích svorkách.

Měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného po výstupním vedení

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje, které je generováno na jeho výstupních, tj. střídavých svorkách. Cílem bylo zjistit rušení šířené po výstupním vedení zdroje, tj. po jeho fázovém (L2) a nulovém (N) vodiči. Měřicí pracoviště a přístrojové vybavení bylo stejné jako při měření rušení šířeného po napájecím vedení zdroje PSACH 04244. Změna byla pouze v konfiguraci zapojení. V tomto případě byl zdroj napájený z elektrického rozvodu nízkého napětí 230 V/50 Hz, který je součástí bezodrazové stíněné komory. Dále výstup zdroje, tj. 24 V AC, byl připojen na vstupní síťové svorky umělé sítě, tj. 0 až 240 V/50-60 Hz. Nutno poznamenat, že umělá síť ENV216 od R&S při provozu do 90 V/50-60 Hz vyžaduje napájení z externího zdroje s výstupními parametry 10 až 18 V DC a 250 mA, viz kap. 4.2.2. Vstupní i externí napájecí svorky umělé sítě jsou ukázány v kap. 7.1.2, na Obr. 7.10 vlevo. Externí napájecí zdroj MW9112GS lze vidět na témže obrázku vpravo. Pro daný účel byl nastaven na 12 V DC. Na výstupní síťové svorky umělé sítě byla připojena odporová zátěž a na přístrojové svorky pak měřicí přijímač ESU8. Výstup zkoušeného zdroje byl zatěžován přes umělou síť. Zátěž představovala předpokládané provozní podmínky zdroje i jeho maximální výrobcem povolené zatížení.



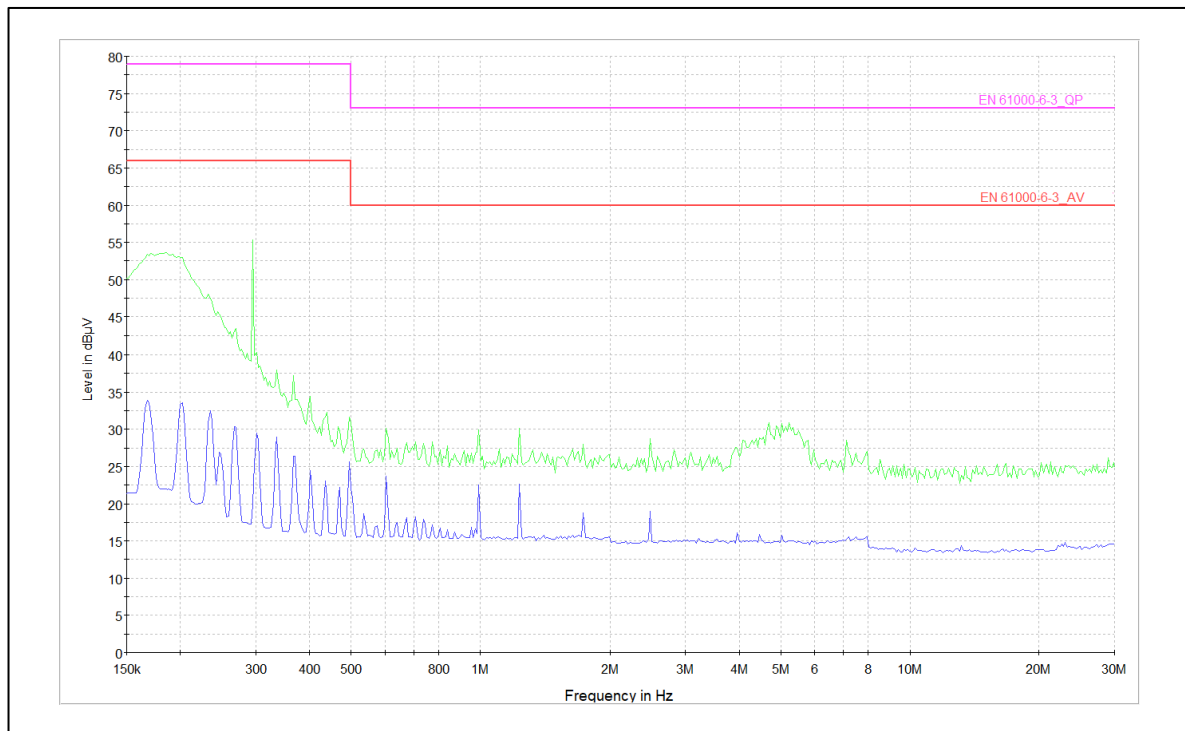
Obr. 7.28: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L2 při zatěžovacím proudu 0,6 A



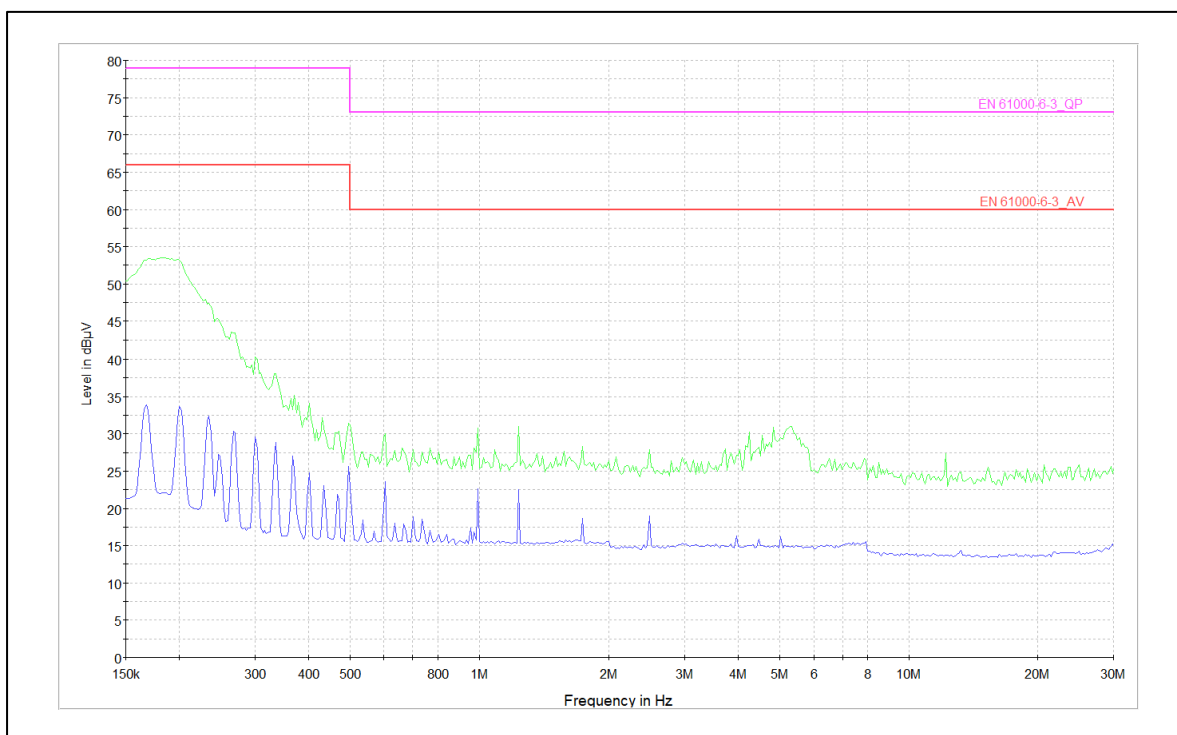
Obr. 7.29: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,6 A

Nejdříve bylo provedeno měření rušení, které se šíří po fázovém (L2) a nulovém (N) vodiči výstupního vedení zdroje při odebíraném proudu zátěži 0,6 A, tj. při předpokládaných provozních podmínkách zdroje. Na Obr. 7.28 a Obr. 7.29 jsou ukázány výsledky z předběžného měření, tj. místo QP detektoru byl nejdříve použit MP detektor. Hodnoty určené tímto detektorem jsou označeny zeleně a AV detektorem modře. Z dosažených hodnot rušivého napětí z obou měření, které jsou průběhem rušení srovnatelné, je patrné, že nedochází k překročení přípustných mezí stanovených pro QP a AV hodnoty rušení, které jsou kladeny normou pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 30 MHz. Vzhledem k tomu, že se MP hodnoty nepřibližují k dané limitě pro QP hodnoty rušení, zpřesňující měření pomocí normou předepsaným QP detektorem nebylo provedeno.

Následovalo měření zdroje při jeho maximální povolené zátěži, tj. při zatěžovacím proudu 1 A. Účelem bylo zjistit vliv zátěže zdroje na elektromagnetické rušení generované na jeho výstupních svorkách.



Obr. 7.30: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L2 při zatěžovacím proudu 1 A



Obr. 7.31: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 1 A

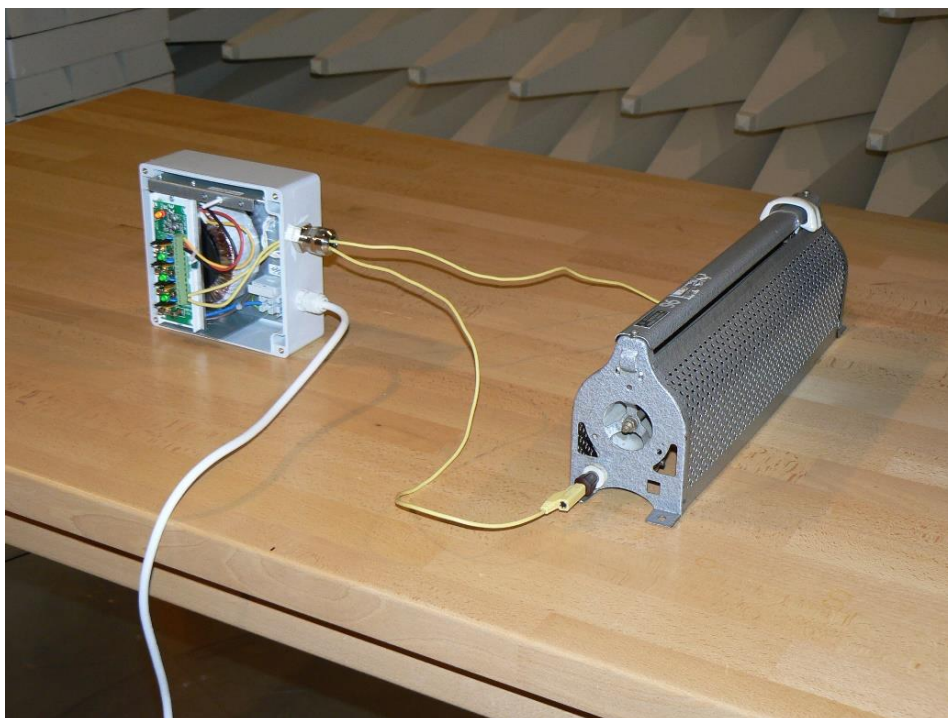
Z dosažených výsledků z předběžného měření elektromagnetického rušení zdroje, viz Obr. 7.30 a Obr. 7.31, je zřejmé, že i v tomto případě byly požadavky kladené normou splněny. Dále na základě porovnání výsledných hodnot rušivého napětí s hodnotami z předchozího měření, které bylo provedeno při odebíraném proudu zátěží 0,6 A, viz Obr. 7.28 a Obr. 7.29, bylo zjištěno, že změna zátěže zdroje nemá vliv na elektromagnetické rušení šířícího se po jeho výstupním vedení.

Cílem těchto měření bylo stanovit elektromagnetické rušení zdroje PSACH 04244 generované na jeho výstupních svorkách, které se dále šíří po vedení zdroje. Měření zdroje probíhalo při jeho předpokládaných provozních podmínkách a maximální výrobcem povolené zátěži, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,6 a 1 A. Z dosažených výsledků, které jsou součástí přílohy P14, bylo konstatováno, že naměřená úroveň elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje splňuje přípustné meze, resp. požadavky kladené normou ČSN EN 61000-6-3. Dále bylo zjištěno, že rušivé emise generované na výstupních svorkách zkoušeného zdroje nejsou závislé na jeho zátěži.

Stávající konstrukce zdroje PSACH 04244, viz kap. 6.4.2, splňuje povolené limity v rámci rušení šířeného po vedení. Vedením je myšleno napájecí i výstupní vedení zdroje. Zda-li zdroj vyhovuje i po stránce emisí elektromagnetického rušení, které se dále šíří vyzařováním krytem zdroje, se zabývá následující kapitola.

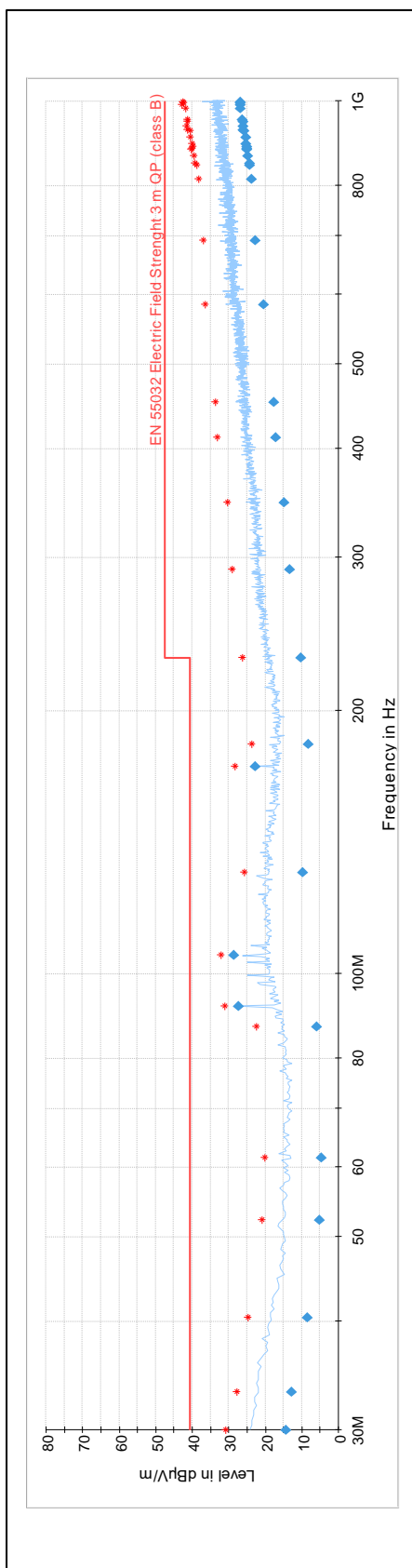
7.2.3 Elektromagnetické rušení vyzařováním zdroje PSACH 04244

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244, které se šíří prostřednictvím vyzařování, resp. jeho krytem. Cílem měření bylo stanovit intenzitu rušení způsobeného elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole zdrojem, a to podle kmenové normy ČSN EN 61000-6-3 a podružné předmětné normy ČSN EN 55032, viz kap. 7.1.3. Měřicí pracoviště, včetně konfigurace zapojení a přístrojového vybavení, je rovněž součástí uvedené kapitoly. Změna byla pouze u použité zátěže, viz Obr. 7.32.



Obr. 7.32: Měření elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244 šířeného vyzařováním

Jednalo se o odporovou zátěž, která je konstrukčně řešena jako proměnný výkonový rezistor, resp. tahový reostat, viz kap. 7.2.1. Odebíraný proud zátěží byl nastaven pomocí ručního digitálního multimetru Voltcraft VC-280 GREEN-LINE a proudových kleští CLA-40 na hodnotu 0,6 A. Cílem bylo zajistit předpokládaný běžný provozní režim zkoušeného zdroje, tj. napájení kamery MERIT LILIN - IPS5184S, viz kap. 5.1.



Obr. 7.33: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zdroje PSACH 04244 při zatěžovacím proudu 0,6 A

Na Obr. 7.33 jsou uvedeny výsledky z měření, které jsou součástí přílohy P14. K tomu účelu byl použit autotest, který je detailněji popsán v kap. 7.1.3, včetně způsobu měření. Průběh modré barvy zobrazuje rušivý signál zaznamenaný spektrálním analyzátozem za účelem stanovení kritických frekvencí. Nutné je poznamenat, že analyzátor je součástí funkcí měřiče rušení. Hvězdičky červené barvy znázorňují maximální hodnoty dosažené intenzity vyzařovaného rušivého elektrického pole, které byly naměřeny na určených kritických frekvencích pomocí MP detektoru měřicího přijímače. Následně bylo okolí těchto hodnot podrobena zpřesňujícímu měření QP detektorem, který předepisuje norma, včetně jeho šířky propustného pásma 120 kHz. Získané výsledné hodnoty jsou zobrazeny kosočtverci modré barvy a představují hledanou intenzitu rušivého elektrického pole vyzařovaného krytem zdroje. Z výstupů je patrné, že na měřeném frekvenčním pásmu od 30 MHz do 1 GHz nedochází k překročení normou stanovených maximálních přípustných mezí pro QP hodnoty rušivého elektrického pole. Zkoušený zdroj splňuje podmínky kladené normou. Nejvýznamnější úroveň rušení lze vidět na frekvencích 91,69 a 104,97 MHz. Jedná o vysílací frekvenci Rádía Zlín a Frekvence 1, viz kap. 7.1.3.

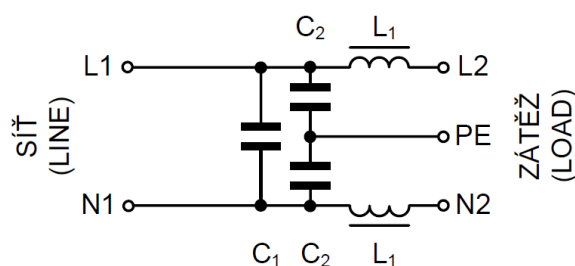
Na základě provedeného měření elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244, které se šíří do okolí jeho krytem, resp. vyzařováním bylo konstatováno, že zdroj splňuje požadavky kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3, konkrétně na maximální přípustné meze rušení způsobeného elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole. Zdroj byl měřen při odebraném proudu zátěží 0,6 A, což odpovídá jeho běžnému provoznímu režimu. Nutno podotknout, že zdroj vyhověl i po stránce elektromagnetického rušení generovaného na jeho napájecích i výstupních svorkách, viz kap. 7.2.2. Zkoušený zdroj je vhodný pro napájení bezpečnostní kamery MERIT LILIN - IPS5184S a způsobilý k provozu v bezodrazové stíněné komoře.

8. ÚPRAVA A OVĚŘENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE PRO PŘEVODNÍK AT-MC102XL

V kapitole 7.1.2 bylo zjištěno, že zkoušený zdroj LRS-35-12 určený pro napájení převodníku AT-MC102XL nesplňuje podle normy ČSN EN 61000-6-3 požadavky kladené na maximální přípustné meze rušení, které se dále může šířit do okolí po jeho napájecím i výstupním vedení. Po stránce emisí elektromagnetického rušení šířícího se vyzařováním, tj. krytem zdroje, nebyla tato norma rovněž splněna, viz kap. 7.1.3. Stávající konstrukce zdroje byla nevhodná pro použití v prostoru bezodrazové stíněné komory. Bylo nutné vstupní i výstupní svorky zdroje osadit adekvátními odrušovacími filtry, které uvedené rušení omezí. Popisované konstrukční úpravy zdroje jsou součástí této kapitoly včetně opakovaných měření za účelem ověření emisí elektromagnetického rušení zdroje šířeného po vedení i vyzařováním.

8.1 Úprava konstrukce zdroje LRS-35-12

Úprava stávající konstrukce napájecího zdroje LRS-35-12, viz kap. 6.4.1, spočívala v dodatečné instalaci odrušovacích filtrů na jeho napájecí i výstupní svorky. Na potlačení vysokofrekvenčních rušivých signálů šířících se po napájecím vedení byl použit univerzální a běžně dostupný jednofázový síťový filtr TSK 6415 od společnosti FILTANA. Jedná se o kombinovaný odrušovací kondenzátor a pasivní LC filtr určený pro jmenovité hodnoty napětí 250 V/50 Hz a proudu 2,5 A. Schéma vnitřního zapojení filtru je ukázáno na Obr. 8.1 a podrobnější technické parametry jsou uvedeny v příloze P13.



Obr. 8.1: Schéma zapojení odrušovacího filtru TSK 6415 [81]

Filtr, viz Obr. 8.1, se skládá z kombinace keramických odrušovacích kondenzátorů C_1 , C_2 a tlumivek s feritovými jádry L_1 . Kondenzátor C_1 třídy X2 má jmenovitou kapacitu 220 nF. Je vhodný pro použití na místech v obvodu, kde nehrozí úraz elektrickým proudem. V tomto případě je zapojen mezi fázový a střední vodič, takže v případě jeho závady zasáhne nadproudová ochrana. Kdežto kondenzátory C_2 (2x 2,2 nF) patří mezi bezpečnostní kondenzátory třídy Y2, jsou tedy určeny i pro zapojení mezi fázový vodič a kostru spotřebiče. Lze je použít na místech, kde při instalaci nevhodného typu kondenzátoru a jeho poruše hrozí i úraz elektrickým proudem. Tyto bezpečnostní kondenzátory mají samoopravnou funkci, tj. při jejich závadě se poškozené dielektrikum zataví, čímž se sníží kapacita kondenzátoru, ale nedochází k trvalému zkratu. Tlumivky, resp. cívky L_1 mají každá jmenovitou indukčnost 10 μH a tvoří dolní propust [81]. Celý obvod je instalován do hermeticky uzavřeného pouzdra z blíže nespecifikovaného plastového materiálu. Konstrukční provedení lze vidět na Obr. 8.2.



Obr. 8.2: Síťový odrušovací filtr TSK 6415

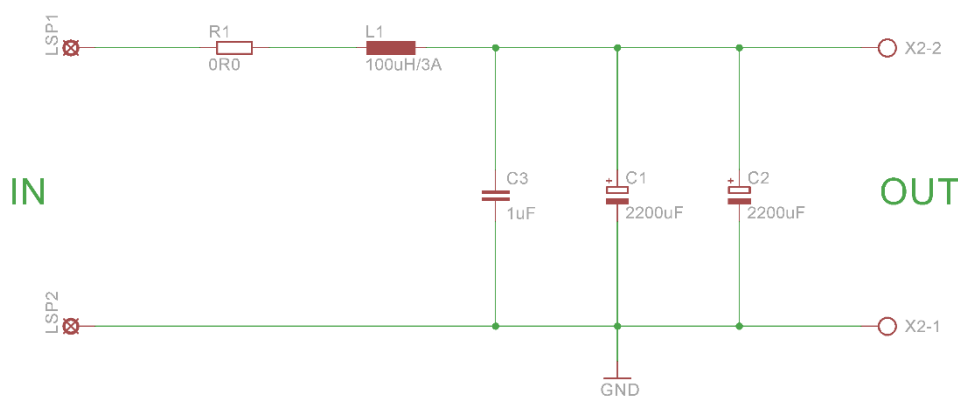
Z Obr. 8.2 je patrné, že filtr TSK 6415 byl konstrukčně navržen pro přímou instalaci. V tomto případě na vstupní čili napájecí svorky zdroje LRS-35-12. K tomu účelu slouží lankové vývody filtru. Kratší pár vodičů je určen pro připojení k elektrické síti nízkého napětí 230 V/50 Hz, viz Obr. 8.2 (L1 - černý, N1 - červený), a delší vodiče k připojení napájecích svorek zátěže, resp. daného zdroje (L2 - černý, N2 - červený a PE - transparentní). Instalace filtru je zřejmá z Obr. 8.6 uvedeného v kap. 8.1.1. Ověření správné funkčnosti filtru je součástí opakovaných měření elektromagnetického rušení zdroje šířícího se po napájecím vedení, viz kap. 8.2.1.

V případě omezení vysokofrekvenčních rušivých signálů šířících se po výstupním vedení zdroje byla situace podstatně složitější. Důvodem byla velmi omezená nabídka odrušovacích filtrů, které byly konstrukčně určeny pro stejnosměrné hodnoty napětí a proudu. Vzhledem k tomu, že nebyl nalezen vhodný filtr pro výstupní svorky zdroje, tj. pro jmenovitou hodnotu napětí 12 V DC a proudu 3 A, bylo nezbytné filtr navrhnout svépomocí. Návrhem tohoto filtru se zabývá příloha P6.

8.1.1 Realizace a instalace LC filtru

Realizace pasivního LC filtru určeného na výstupní svorky zdroje LRS-35-12 vycházela z jeho návrhové části, která je součástí přílohy P6. Realizace byla rozdělena do tří fází. První fáze se zabývala návrhem a výrobou desky plošného spoje filtru. Následovalo její osazení příslušnými součástkami a instalace výsledného filtru na výstupní svorky zdroje. Součástí instalace byla i dodatečná montáž síťového filtru FILTANA - TSK 6415 na vstupní, resp. napájecí svorky zdroje, viz kap. 8.1.

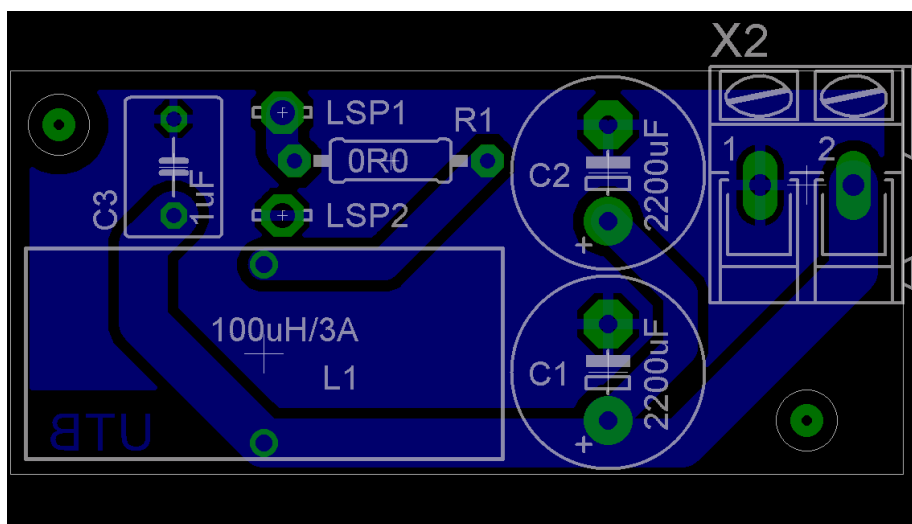
Návrh desky plošných spojů, dále jen DPS filtru, byl realizován prostřednictvím softwarového nástroje EAGLE 6.4.0, který je prioritně určen na tvorbu návrhů schémat zapojení obvodů a plošných spojů. Při návrhu DPS byla zvolena cesta postupné tvorby, včetně prvotního návrhu schématu zapojení filtru. Důvodem byla rychlejší a přehlednější orientace v obvodu, která vede k včasnému odhalení případných chyb v zapojení. Po dokončení schématu zapojení byla provedena i automatická kontrola správnosti plánovaných spojů a možných chyb u použitých elektronických součástek, např. absence jejich jmenovitých hodnot. Výsledný návrh schématu zapojení LC filtru, které bylo vytvořeno v editoru schémat, je ukázán na Obr. 8.3.



Obr. 8.3: Schéma zapojení LC filtru vytvořené v EAGLE

Ze schématu zapojení, viz Obr. 8.3, je patrné, že rezistor R_L byl navržen s nulovou hodnotou odporu. Důvodem byl uvažovaný vnitřní odpor cívky L_1 a reálného zdroje napětí, tj. LRS-35-12, viz příloha P6, Obr. P6.1. Rezistor R_L byl nahrazen rezistorem R_L s hodnotou odporu $0,2 \Omega$, proto byla při osazování DPS filtru použita na místo rezistoru R_L pouze vodič, resp. drátová propojka. Použitá cívka neboli tlumivka L_1 byla parametricky shodná s uvažovanou cívkou L z předchozího návrhu. To odpovídá jmenovité indukčnosti $100 \mu\text{H}$ a mezní hodnotě proudu 3 A . Paralelní kombinace zapojení elektrolytických kondenzátorů C_1 a C_2 nahradilo původně navrhovaný kondenzátor C s požadovanou kapacitou $4400 \mu\text{F}$. Použité kondenzátory mají jmenovitou kapacitu $2200 \mu\text{F}$ a mezní hodnotu napětí 16 V DC . Polyesterový fóliový, resp. svitkový kondenzátor C_3 byl do obvodu přidán kvůli jeho lepším vlastnostem při vysokých frekvencích oproti elektrolytickým kondenzátorům. Jeho jmenovitá kapacita je $1 \mu\text{F}$ a mezní napětí 63 V DC . Vstupní svorky, resp. piny LSP_1 a LSP_2 byly určeny na osazení lankovými vodiči pro přímou instalaci filtru na výstupní svorky napájecího zdroje LRS-35-12. Výstupní svorky filtru X_{2-1} a X_{2-2} byly projektovány na šroubovací svorkovnici pro možné připojení výstupní kabeláže určené pro napájení převodníku AT-MC102XL.

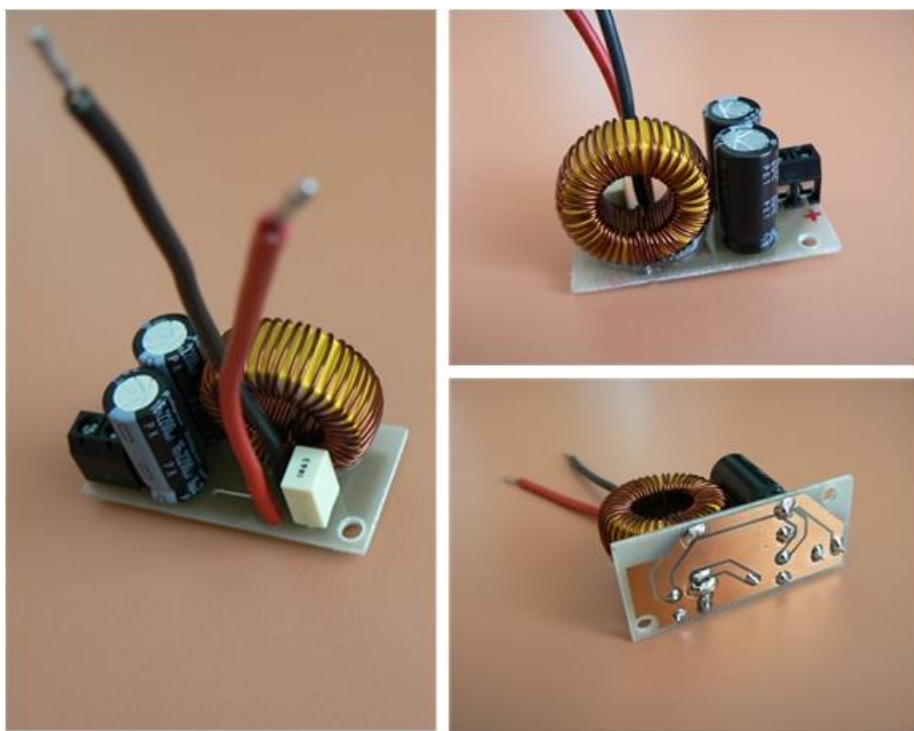
Po kontrole správnosti schématu zapojení následoval návrh DPS filtru v editoru plošných spojů. Cílem návrhu byla tvorba jednostranného plošného spoje s ohledem na prostorové, resp. instalační možnosti upravované konstrukce zdroje. Bylo nutné respektovat, že navrhovaný filtr musel být instalován co nejbližší k výstupním svorkám zdroje, aby nedocházelo k nežádoucímu rušení prostřednictvím instalační kabeláže mezi výše komentovaným zdrojem a filtrem. Rozměry DPS byly omezeny na 45 x 22 mm, tj. d x š. V tomto případě bylo vhodné volit rozložení součástek podle jejich velikosti, nikoliv podle vytvořeného schématu zapojení. Důvodem byla omezená velikost DPS filtru vůči velikosti použitých součástek, viz Obr. 8.4. Po rozmístění součástek a jejich odpovídajícímu označení následovalo vytvoření jejich spojovacích cest, včetně příslušných otvorů atd. V této fázi bylo vhodné provádět souběžnou kontrolu s vytvořeným schématem zapojení. Vzhledem k nízkému počtu součástek bylo jejich propojení realizováno manuálně. V poslední fázi bylo provedeno vylévání mědi, viz Obr. 8.4 plocha modré barvy.



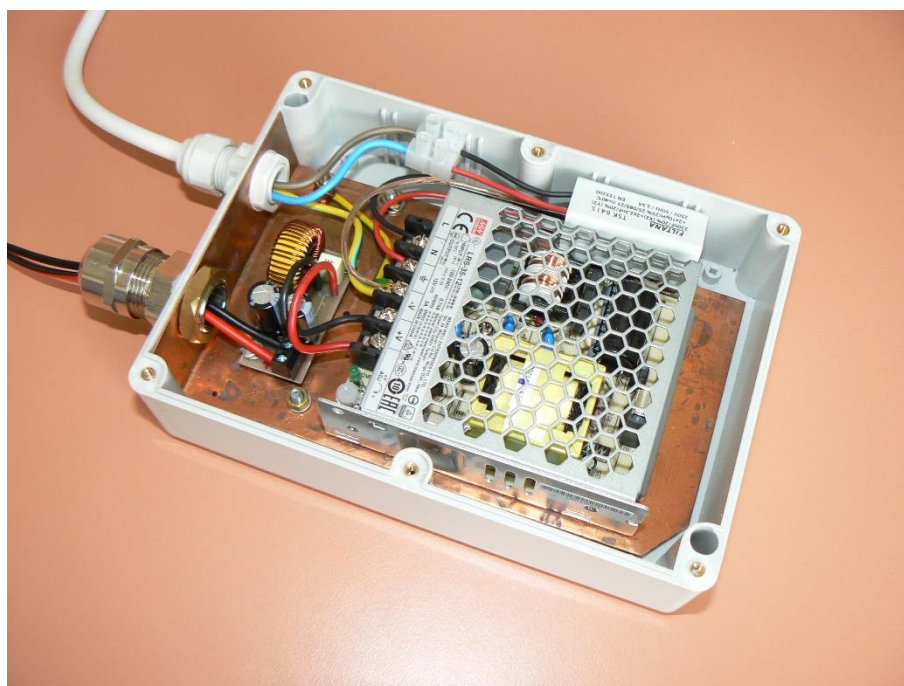
Obr. 8.4: Návrh desky plošných spojů LC filtru v EAGLE

Na Obr. 8.4 je ukázán pohled shora na výslednou DPS navrženého LC filtru, včetně všech vrstev, které byly předmětem návrhu. Na horní straně DPS lze vidět plánované osazení součástkami a na straně spodní jejich příslušné vývody, otvory a měděné spoje. Uvedený výstup návrhu DPS určené pro požadovaný LC filtr byl použit jako podklad pro její výrobu.

Výroba DPS byla provedena svépomocí. K tomu účelu byla použita subtraktivní technologie. Zhotovená DPS je ukázána na Obr. 8.5 vpravo dole. Vyrobená DPS byla dále mechanicky upravena na požadovanou velikost a předvrtána otvory pro plánované součástky i montáž na výstupní svorky zdroje. Nakonec byla DPS osazena součástkami prostřednictvím pájených spojů. Výsledný LC filtr typu dolní propust 2. řádu lze vidět na Obr. 8.5.



Obr. 8.5: Pasivní LC filtr typu dolní propust 2. řádu



Obr. 8.6: Upravená konstrukce napájecího zdroje pro převodník AT-MC102XL

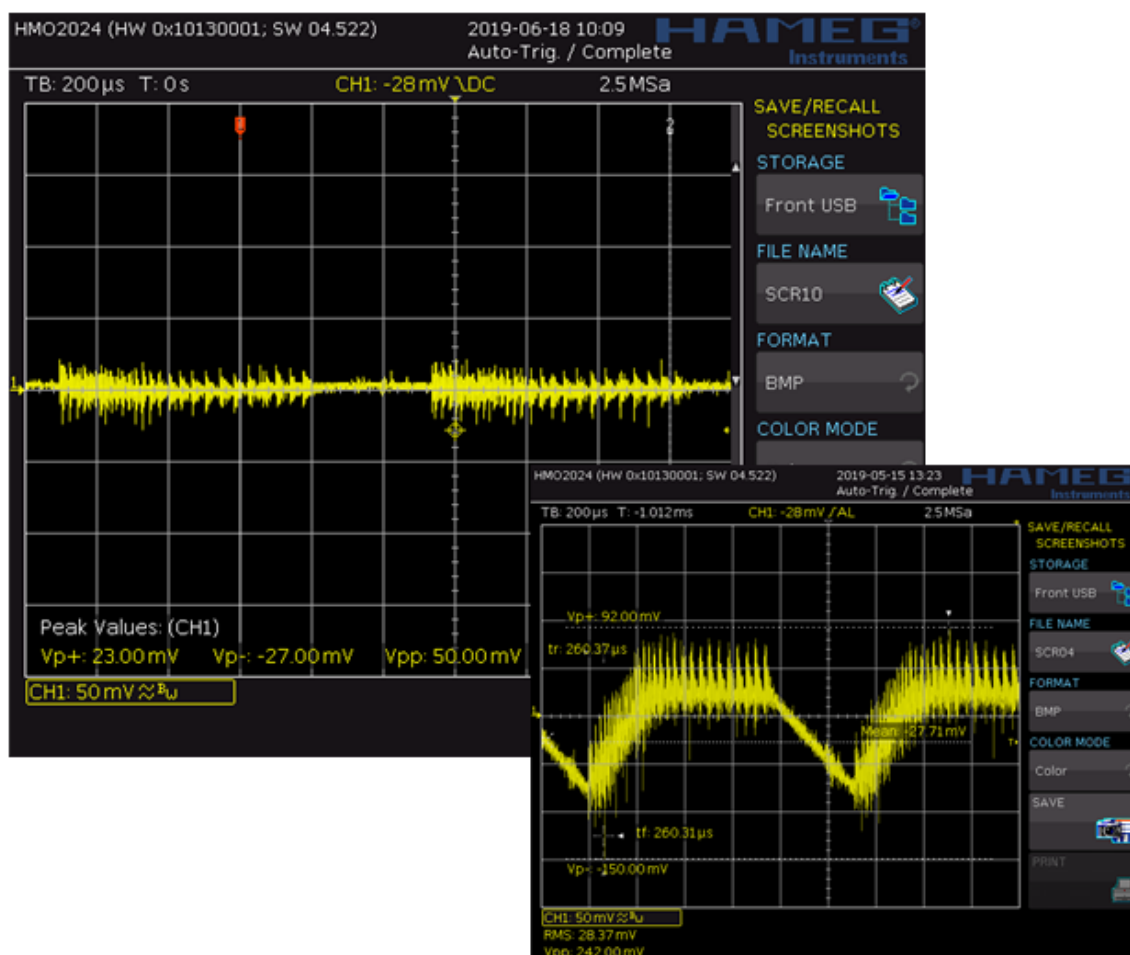
Na Obr. 8.6 je zobrazena upravená konstrukce zdroje LRS-35-12 určeného pro napájení převodníku AT-MC102XL. Úprava byla provedena v rozsahu dodatečné instalace síťového filtru FILTANA - TSK 6415 na vstupní, tj. napájecí svorky daného zdroje a zhotoveného LC filtru na jeho výstupní svorky. Filtry musely být

instalovány co nejbliže ke zdroji vstupního signálu, aby nedocházelo k nežádoucímu rušení prostřednictvím instalační kabeláže příslušných filtrů. To znamená, že vstupní filtr zdroje musel být umístěn co nejbliže k výstupním svorkám napájecího kabelu vedeného z rozvodů elektrické sítě 230 V/50 Hz a výstupní filtr zdroje k jeho 12 V DC výstupním svorkám.

8.1.2 Ověření funkčnosti LC filtru

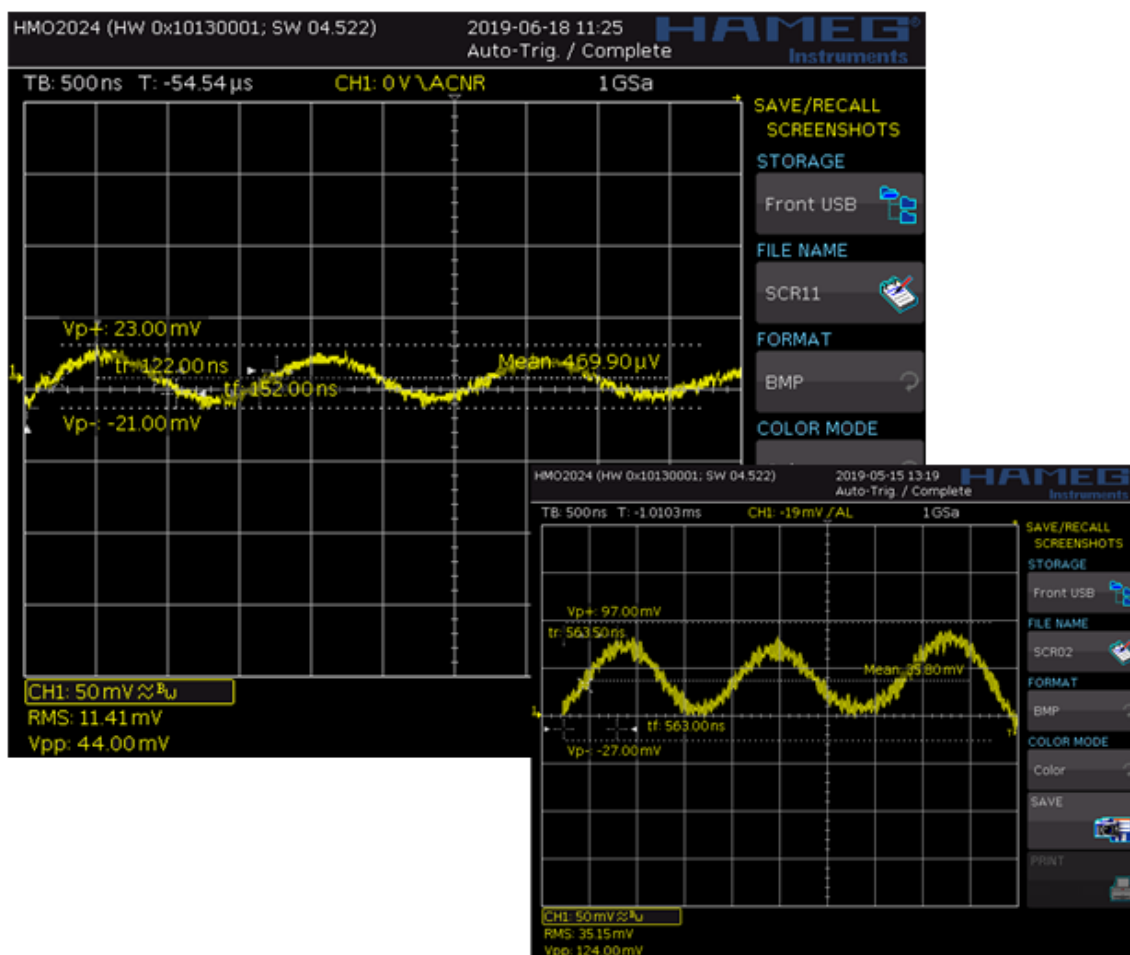
Cílem kapitoly bylo ověřit správnou funkci a vhodnost použití LC filtru určeného na výstupní svorky zdroje LRS-35-12, viz kap. 8. Návrhem a následnou realizací uvedeného filtru, tj. LC dolní propusti 2. řádu, se zabývá příloha P6 a kap. 8.1.1. Ověření bylo provedeno na základě srovnání vybraných výstupních parametrů zdroje LRS-35-12, které byly naměřeny s filtrem i bez filtru.

Nejprve bylo provedeno opakované měření zvlnění výstupního napětí zdroje, ze kterého se vycházelo i při návrhu filtru. Měření probíhalo s identickým přístrojovým vybavením, zapojením i nastavením jako při použití zdroje bez dodatečného výstupního filtru, viz kap. 7.1.1, Obr. 7.3.



Obr. 8.7: Zvlnění výstupního napětí zdroje s filtrem a bez při zatěžovacím proudu 0,5 A

Vlevo nahoře na Obr. 8.7 je výsledný průběh zvlnění výstupního napětí zdroje opatřeného filtrem a vpravo dole lze vidět průběh bez filtru. Jedná se pouze o jeho náhled (původní velikost je součástí kap. 7.1.1, Obr. 7.4). Z uvedeného je patrné, že původní zvlnění bylo filtrem odstraněno a vysokofrekvenční rušení vznikající ve fázi spínání zdroje bylo výrazně omezeno. Omezení rušivého signálu je více vypovídající z Obr. 8.8.

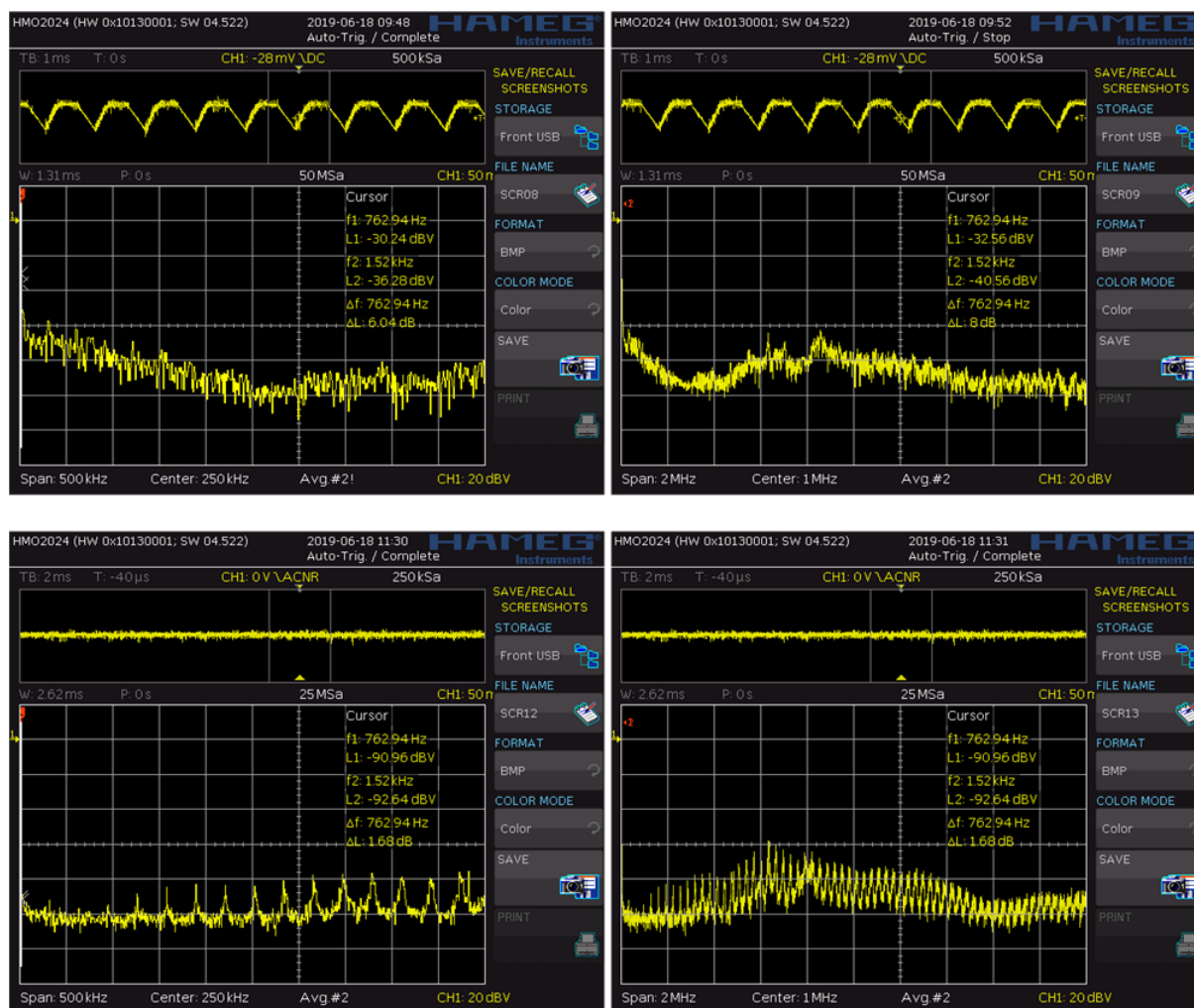


Obr. 8.8: Další významná harmonická složka výstupního napětí zdroje s filtrem a bez

Jak bylo uvedeno v kap. 7.1.1, na výstupním napětí vzniká vysokofrekvenční rušení harmonického průběhu, které souvisí se spínáním výkonové části zdroje, ale nikoliv s jeho zátěží, resp. s frekvencí spínání. Opětovné ověření této další významné harmonické složky výstupního napětí zdroje, tj. s filtrem, lze vidět na Obr. 8.8 vlevo nahoře. Vpravo dole se nachází náhled na daný průběh bez filtru, viz 7.1.1, Obr. 7.5. Z obrázků je patrné, že původní významná hodnota napětí U_{PP} , která dosáhla úrovně 124 mV, byla filtrem potlačena o téměř dvě třetiny, tj. omezena na hodnotu 44 mV. Frekvence uvedeného rušivého periodického signálu zůstala beze změny.

Pro vytvoření komplexní představy o účinnosti filtru byla dodatečně provedena analýza obou sledovaných signálů, viz Obr. 8.7, i ve frekvenční oblasti.

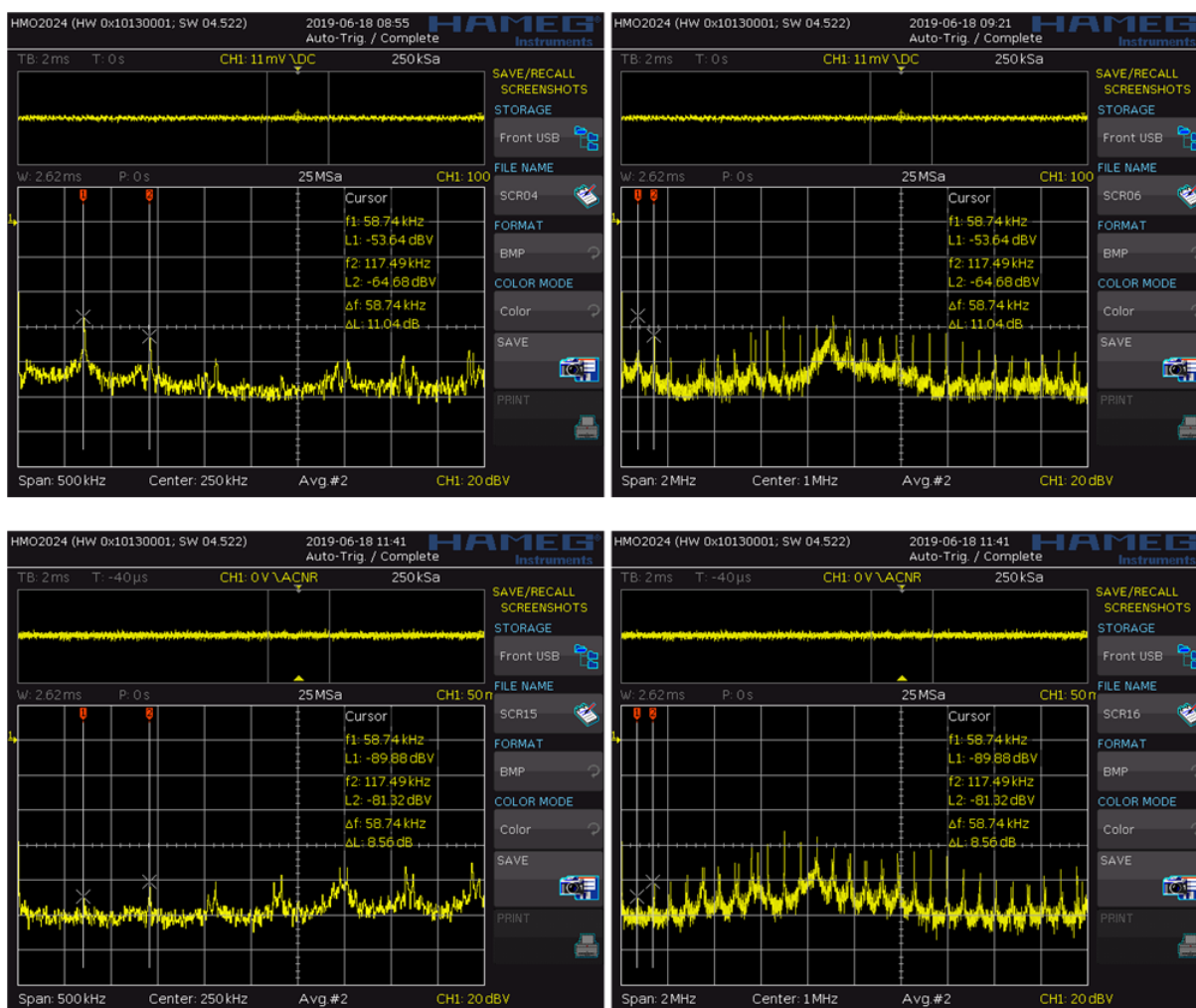
Přístrojová konfigurace a zapojení byly stejné jako při odpovídající frekvenční analýze výstupního napětí zdroje PSACH 04244, viz kap. 7.2.1.



Obr. 8.9: Spektrum výstupního napětí bez a s filtrem při zatěžovacím proudu 0,5 A

Nejprve bylo provedeno měření výstupního napětí zdroje bez dodatečného filtru při odebíraném proudu zátěží 0,5 A. Odpovídající spektrum signálu zdroje, tj. zobrazení ve frekvenční oblasti, je uvedeno na Obr. 8.9. Vlevo nahoře se nachází část jeho spektra zobrazená pro frekvenční pásmo 0 až 500 kHz a vpravo nahoře až do 2 MHz. Detailnější užší část spektra sloužila pro přesnější odečet frekvence spínání zdroje, která odpovídá jeho zátěži, respektive k určení jeho základní frekvence a její vyšších harmonických. Obsáhlejší širší část spektra poskytovala představu o chování výstupního signálu i v oblasti vysokých frekvencí. Následně bylo provedeno i měření s výstupním filtrem. Výsledné spektrum signálu se nachází v dolní polovině Obr. 8.9. Z obrázku je patrné, že spektrum výstupního signálu zdroje bez použití filtru je výrazně ovlivněno rušením. Naopak s filtrem jsou sníženy emise vyšších harmonických a jejich řády jsou podstatně čitelnější. Účinnost filtru je zřejmá i z naměřených parametrů základní a 2. harmonické, které jsou součástí hodnot zobrazených

u odpovídajících spekter obou signálů, viz Obr. 8.9 vlevo nahoře a dole. Odečet byl proveden prostřednictvím kurzorů osciloskopu s automatickým sledováním nastavené hodnoty. Nutno poznamenat, že osciloskop disponoval pouze dvěma kurzory. Základní harmonická byla zjištěna na frekvenci 763 Hz a dosahovala s filtrem útlum o 61 dBV, dále 2. vyšší harmonická určená na frekvenci 1526 Hz o 56 dBV. Na Obr. 8.10 se nachází spektrum výstupního napětí zdroje zatíženého proudem 1,2 A. Cílem bylo zjistit spektrum daného signálu i při vyšší frekvenci spínání zdroje, tj. při jeho větší zátěži.



Obr. 8.10: Spektrum výstupního napětí bez a s filtrem při zatěžovacím proudem 1,2 A

Stejně jako v předchozím případě bylo provedeno měření bez filtru i s filtrem. Spektra výstupních signálů z obou měření jsou zobrazena na Obr. 8.10. V horní části obrázku je uvedeno výsledné spektrum signálu bez filtru a ve spodní s filtrem. V tomto případě byl útlum výstupního signálu zdroje bez instalovaného filtru patrnější na nižších frekvencích zobrazovaného spektra, viz obrázek vlevo nahoře a dole. Základní harmonická zdroje byla stanovena na frekvenci 59 kHz a dosahovala s filtrem útlum o 36 dBV, dále 2. vyšší harmonická zjištěná na frekvenci 118 kHz o 17 dBV.

Na základě analýzy výstupního signálu zdroje LRS-35-12, tj. parametrů výstupního napětí s LC filtrem a bez filtru, která byla provedená v časové i frekvenční oblasti, bylo konstatováno, že navržený LC filtr plní svou funkci a je dostatečně účinný k potlačení rušení pro frekvenční pásmo 0 až 2 MHz. Ověření vhodnosti filtru i pro vyšší frekvence je dále předmětem opakovaných měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného prostřednictvím výstupního vedení.

8.2 Ověření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12

Jak bylo uvedeno v kap. 8, zdroj LRS-35-12 byl konstrukčně upraven. Úpravy spočívaly v dodatečné instalaci odrušovacích filtrů na jeho vstupní i výstupní svorky. Vstupní, tj. napájecí svorky zdroje byly osazeny síťovým filtrem FILTANA - TSK 6415, viz kap. 8.1, a výstupní svorky pasivním LC filtrem, viz kap. 8.1.1. Upravená konstrukce zdroje byla dále podrobena opakovaným měřením elektromagnetického rušení šířeného po vedení i vyzařováním. Účelem bylo ověřit vhodnost použití zdroje pro napájení převodníku AT-MC102XL v prostoru bezodrazové stíněné komory. Měření elektromagnetického rušení původní konstrukce zdroje bylo předmětem kap. 7.1.2 a 7.1.3.

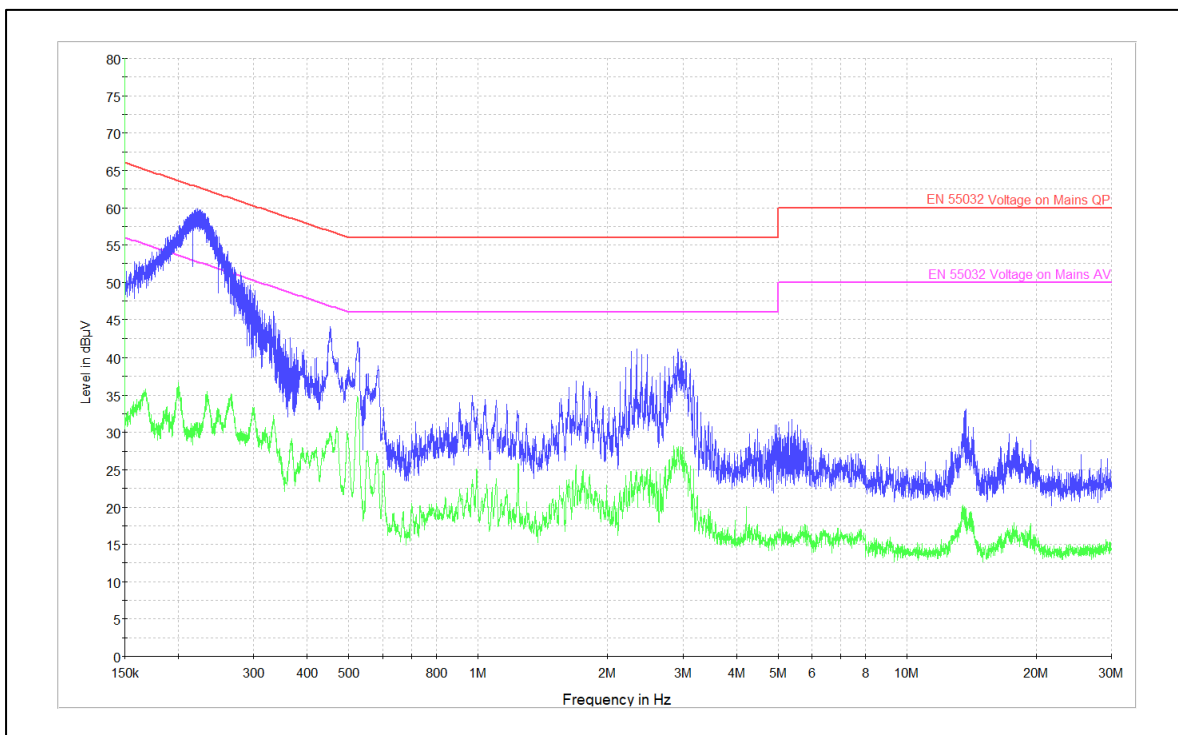
8.2.1 Elektromagnetické rušení zdroje šířené po vedení

Cílem bylo opětovně posoudit elektromagnetické rušení zdroje generované na jeho napájecích a výstupních svorkách, resp. zjistit rušení šířené po napájecím i výstupním vedení zdroje. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle normy ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3, viz kap. 7.1.2.

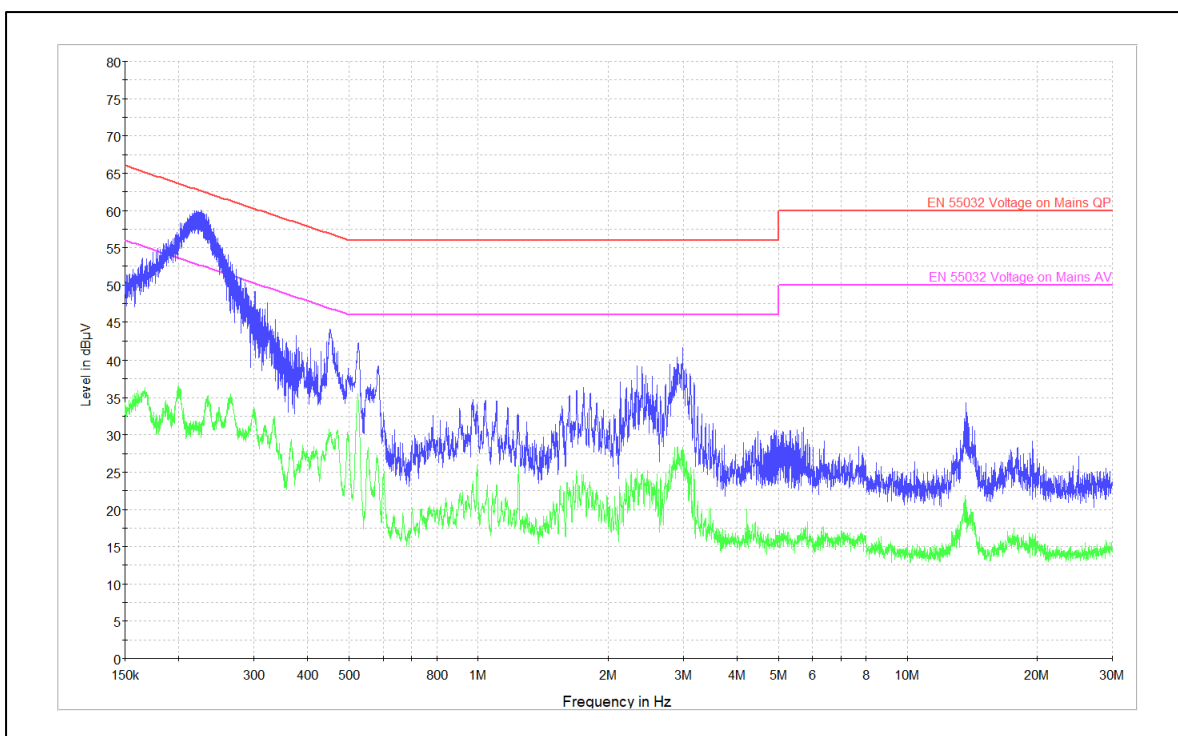
Elektromagnetické rušení zdroje po napájecím vedení

Kapitola je zaměřena na opakované měření elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje, které se šíří po napájecím vedení, tj. po fázovém (L1) a nulovém (N) vodiči. Součástí kapitoly je i ověření funkce a účinnosti filtru FILTANA - TSK 6415, viz kap. 8.1.

Nejprve bylo provedeno měření rušení zdroje při jeho předpokládaných provozních podmínkách, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,5 A. Na Obr. 8.11 a Obr. 8.12 jsou ukázány výsledky z předběžného měření, tj. místo QP detektoru byl nejdříve použit MP detektor. Výsledné hodnoty stanovené MP detektorem jsou označeny modře a AV detektorem zeleně. Z dosažených úrovní rušivého napětí je patrné, že hodnoty z obou měření jsou průběhem rušení srovnatelné a nepřekračují maximální normou přípustné meze pro QP i AV hodnoty rušení stanovené pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 30 MHz. V tomto případě měření byly splněny požadavky kladené normou. Vzhledem k tomu, že ve sledovaném frekvenčním pásmu se úroveň rušivého napětí určená MP detektorem významně nepřibližuje k limitě pro QP hodnoty rušení, zpřesňující měření pomocí normou předepsaným QP detektorem nebylo provedeno.



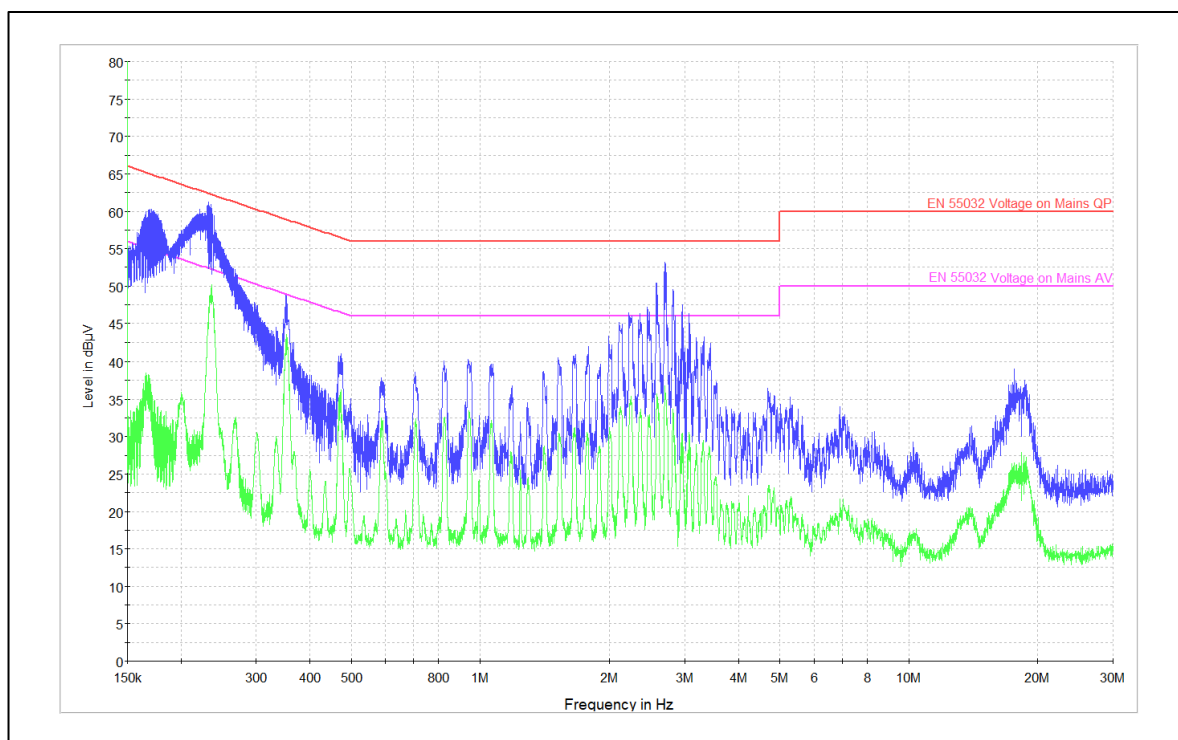
Obr. 8.11: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry



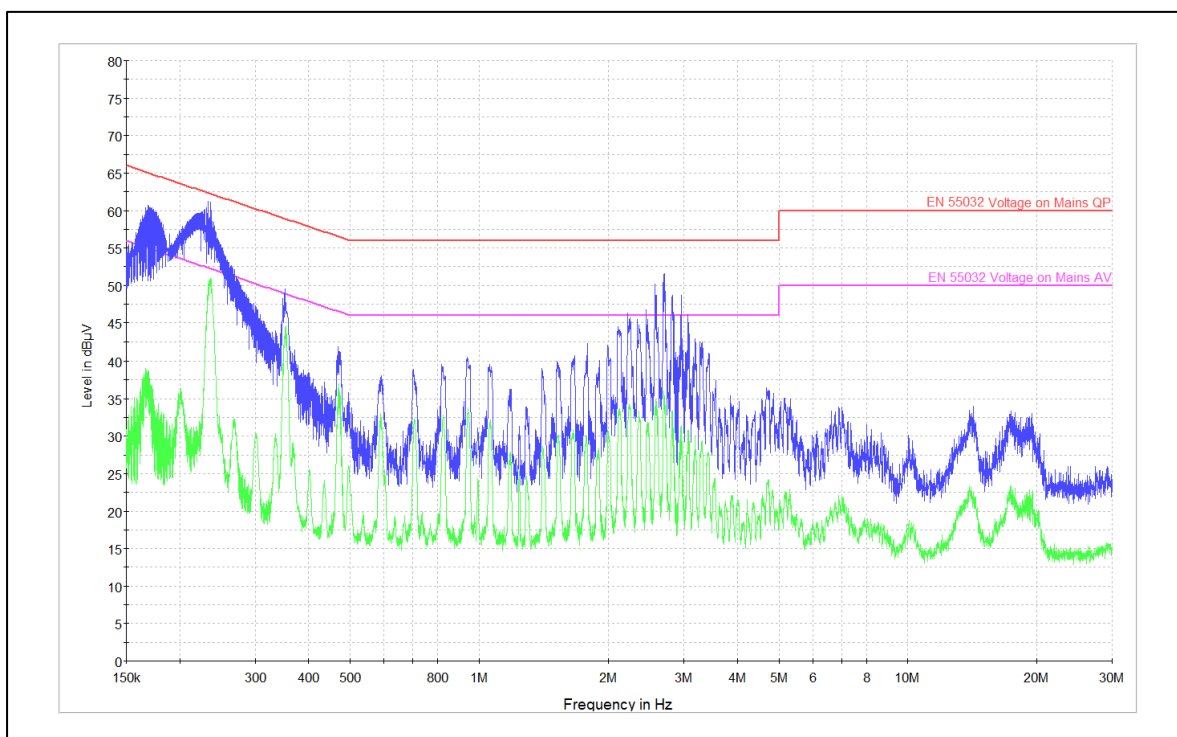
Obr. 8.12: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry

Dále účinnost použitého síťového filtru je zřejmá z kritických oblastí, které byly zjištěny při měření původní konstrukce zdroje, viz kap. 7.1.2, Obr. 7.7 a Obr. 7.8. Nadlimitní emise elektromagnetického rušení původně stanovené na frekvenčním pásmu 500 až 600 kHz byly výrazně omezeny, tj. až o 20 dB μ V a na frekvenci 4 MHz o 10 dB μ V.

Za účelem ověření funkce filtru i při nejvyšší frekvenci spínání zkoušeného zdroje, během které dochází k nárůstu úrovně generovaného vysokofrekvenčního rušení, viz kap. 7.1.2, následovalo měření při jeho maximální povolené zátěži, tj. odebíraném proudu zátěží 3 A a frekvenci spínání zdroje 110 kHz. Z výsledků získaných z předběžného měření elektromagnetického rušení zdroje, viz Obr. 8.13 a Obr. 8.14, lze vidět, že i v tomto případě byly požadavky kladené normou splněny. Na základě porovnání výsledných hodnot rušivého napětí s hodnotami naměřenými s původním zdrojem, viz kap. 7.1.2, Obr. 7.9, je zřejmá i funkce filtru. Uvedené je nejvíce patrné na frekvenčním pásmu 150 kHz až 5 MHz.



Obr. 8.13: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 3 A – měření s dodatečnými filtry

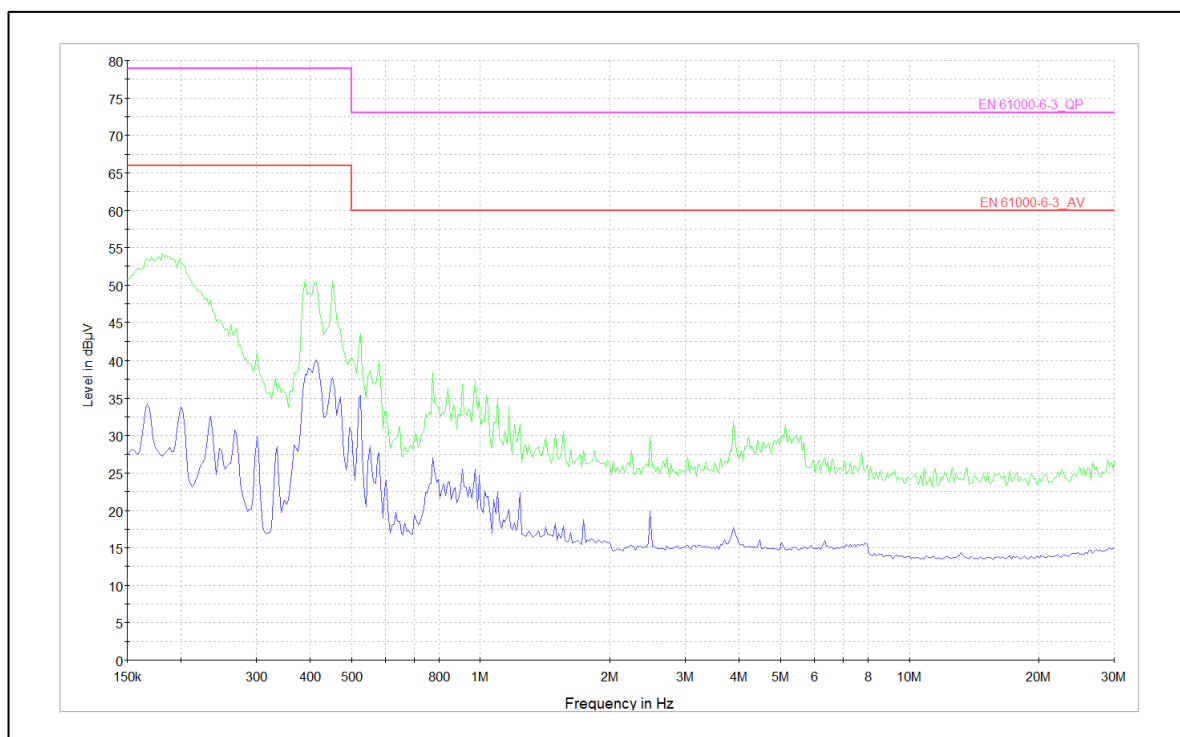


Obr. 8.14: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 3 A – opakované měření s dodatečnými filtry

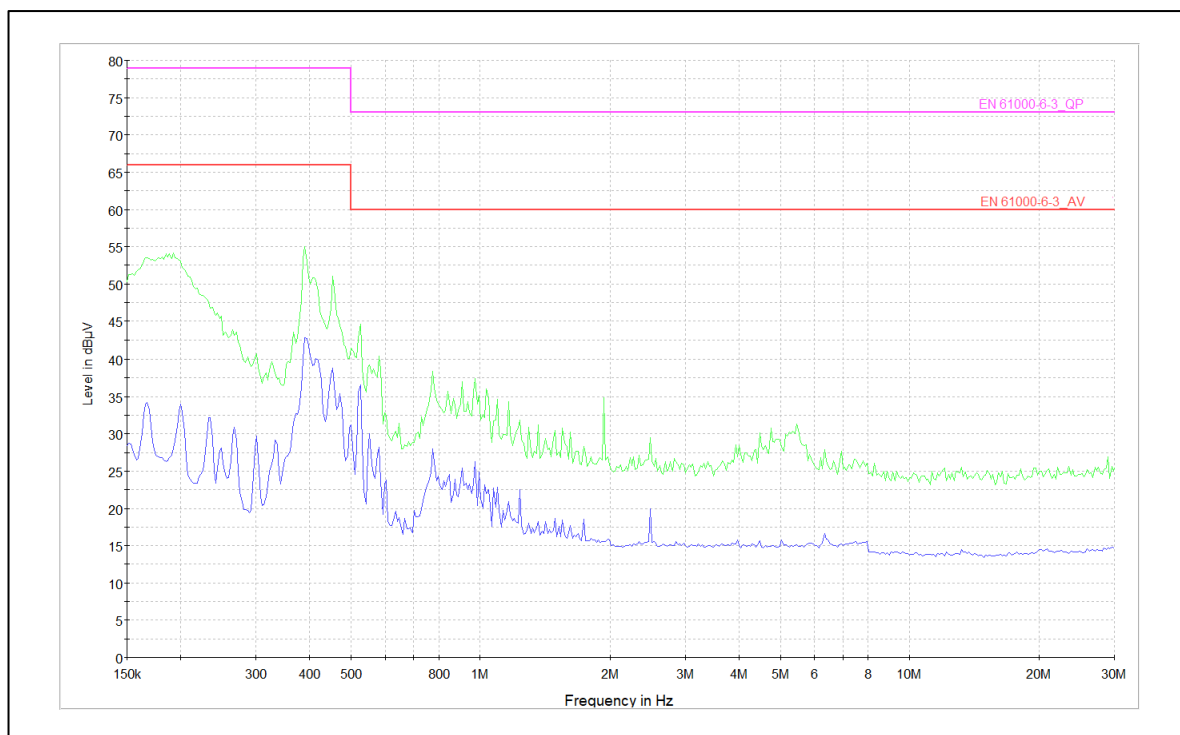
Cílem kapitoly bylo posouzení upravené vstupní části konstrukce zdroje LRS-35-12. Úprava spočívala v dodatečné instalaci odrušovacího síťového filtru FILTANA - TSK 6415 na vstupní, resp. napájecí svorky zkoušeného zdroje. Na základě opakovaných měření elektromagnetického rušení zdroje šířeného po napájecím vedení, jejichž výsledné hodnoty jsou součástí přílohy P13, bylo konstatováno, že byly splněny maximální přípustné meze kladené kmenovou normou ČSN EN 61000-6-3. Měření zdroje probíhalo při odebíraném proudu zátěží 0,5 a 3 A, tj. při předpokládaných provozních podmínkách i maximální výrobcem povolené zátěži zdroje. V obou případech měření se ukázalo použití síťového filtru jako vhodné a dostatečně účinné řešení.

Elektromagnetické rušení zdroje po výstupním vedení

Kapitola je zaměřena na opakované měření elektromagnetického rušení zkoušeného zdroje, které se šíří po výstupním vedení, tj. po vodiči plus (+) a mínus (-). Součástí kapitoly je i ověření funkce LC filtru pro vysoké frekvence, viz kap. 8.1.2. Nejprve bylo provedeno měření rušení zdroje při jeho předpokládaných provozních podmínkách, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,5 A.



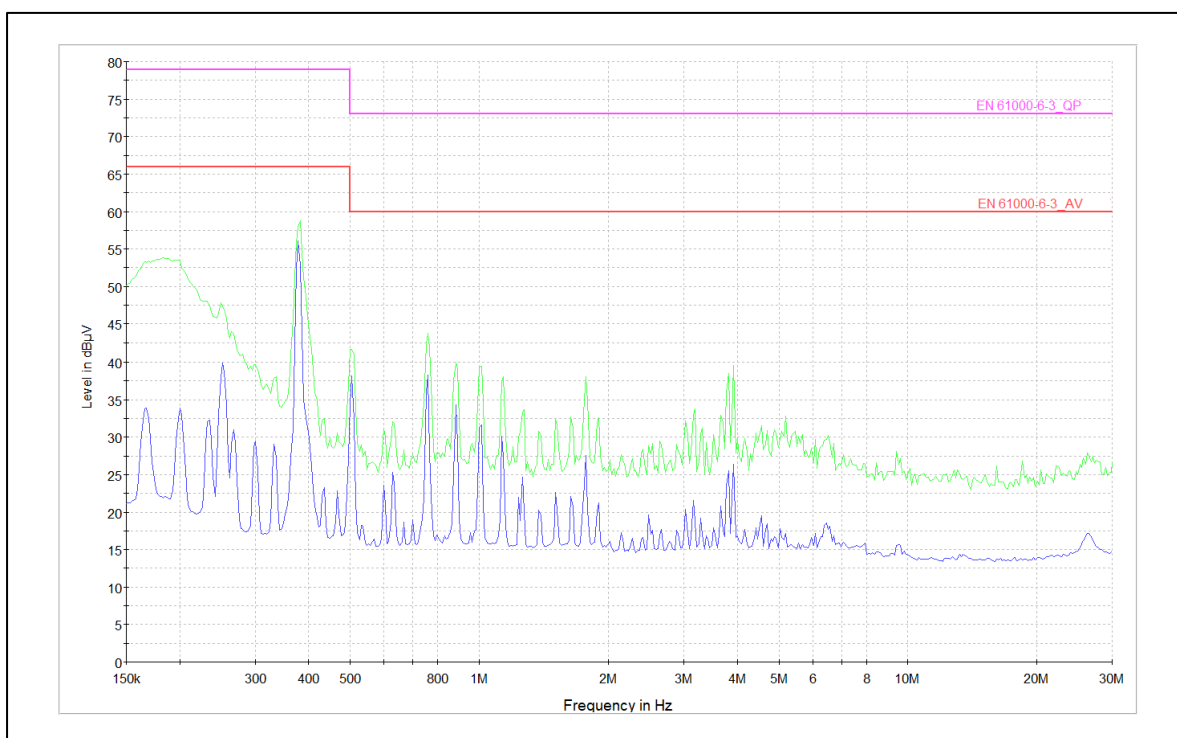
Obr. 8.15: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry



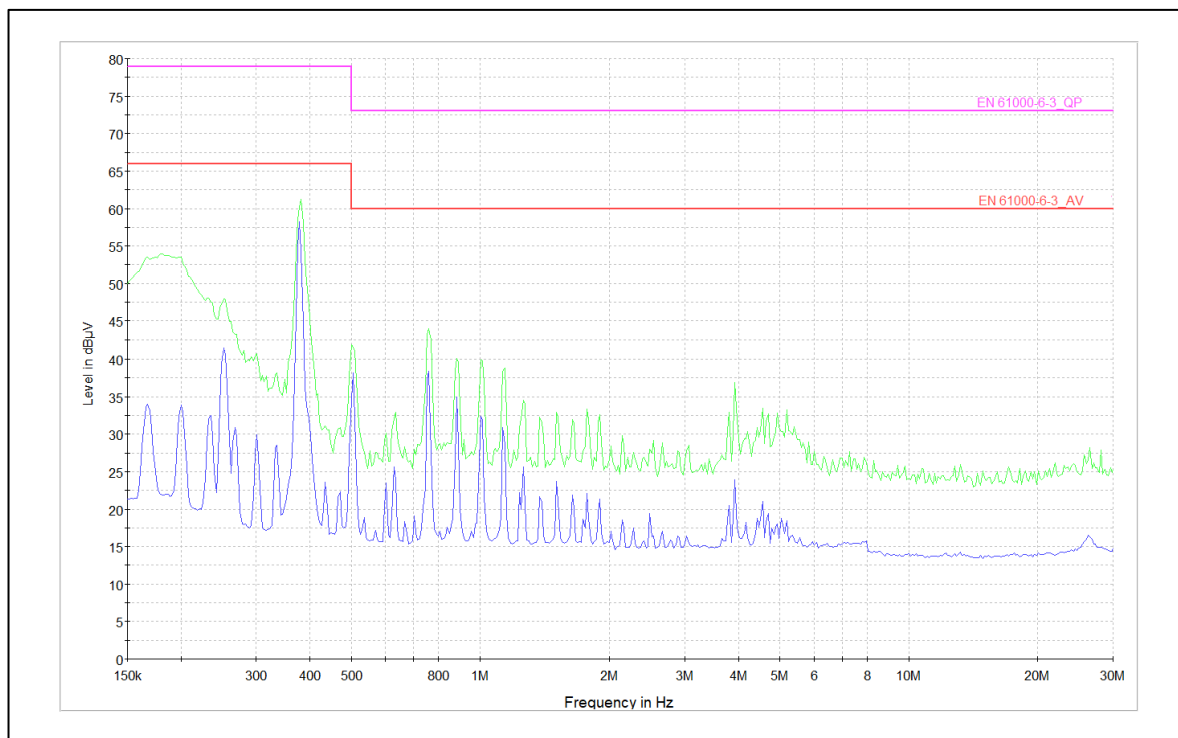
Obr. 8.16: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry

Na Obr. 8.15 a Obr. 8.16 jsou ukázány výsledky opět z předběžného měření. Hodnoty rušivého napětí stanovené MP detektorem jsou zobrazeny zelenou barvou a AV detektorem modrou. Z naměřených úrovní rušivého napětí je viditelné, že hodnoty z obou měření jsou průběhem rušení srovnatelné a nepřekračují maximální povolené meze, které jsou určeny pro QP i AV hodnoty rušení, a splňují tedy požadavky kladené normou pro frekvenční pásmo od 150 kHz do 30 MHz. Vzhledem k tomu, že v tomto frekvenčním pásmu se hodnoty rušivého napětí zjištěné MP detektorem nepřibližují k limitě pro QP hodnoty rušení, zpřesňující měření pomocí QP detektoru předepsané normou nebylo nutné.

Výsledky z měření původní konstrukce zdroje jsou uvedeny v kap. 7.1.2, viz Obr. 7.11 a Obr. 7.12. Z porovnání výsledků z obou sérií měření je patrná i účinnost dodatečně instalovaného LC filtru, která je dostatečná pro celé měřené frekvenční pásmo. Za účelem ověření funkce filtru i při vyšší frekvenci spínání zkoušeného zdroje, se kterou souvisí i vyšší úroveň generovaného vysokofrekvenčního rušení, následovalo jeho měření při zatěžovacím proudu 2,5 A a odpovídající frekvenci spínání zdroje 104 kHz, viz kap. 7.1.2.



Obr. 8.17: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 2,5 A – měření s dodatečnými filtry



Obr. 8.18: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 2,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry

Z výsledků získaných z předběžného měření, viz Obr. 8.17 a Obr. 8.18, lze vidět, že byly opět splněny požadavky kladené normou. Na základě porovnání průběhů rušivého napětí s průběhem naměřeným s původním zdrojem, viz kap. 7.1.2, Obr. 7.13, je zřejmé, že i v tomto případě je LC filtr dostatečně účinný, a to na celém frekvenčním pásmu od 150 kHz do 30 MHz.

Cílem opakovaných měření, jejichž výsledné hodnoty jsou součástí přílohy P13, byla upravená výstupní část konstrukce zdroje LRS-35-12, která spočívala v návrhu a dodatečné instalaci pasivního LC filtru typu dolní propust 2. řádu na výstupní, tj. stejnosměrné svorky zdroje. Opětovným posouzením elektromagnetického rušení upraveného zdroje, které se šíří po jeho výstupním vedení, bylo konstatováno, že splňuje maximální přípustné meze kladené normou ČSN EN 61000-6-3. Měření zdroje probíhalo při odebíraném proudu zátěží 0,5 a 2,5 A, tj. při předpokládaných provozních podmínkách zdroje i provozu, který se blížil k maximální povolené zátěži zdroje. V obou případech měření se ukázalo použití LC filtru jako vhodné a dostatečně účinné řešení.

Dále bylo konstatováno, že upravená konstrukce zdroje LRS-35-12, viz kap. 8.1, splňuje v rámci rušení šířeného po vedení povolené limity požadované výše uvedenou normou. Vedením je myšleno napájecí i výstupní vedení zdroje. Zdali zdroj vyhovuje i po stránce elektromagnetického rušení, které se dále šíří vyzařováním krytem zdroje, se zabývá následující kapitola.

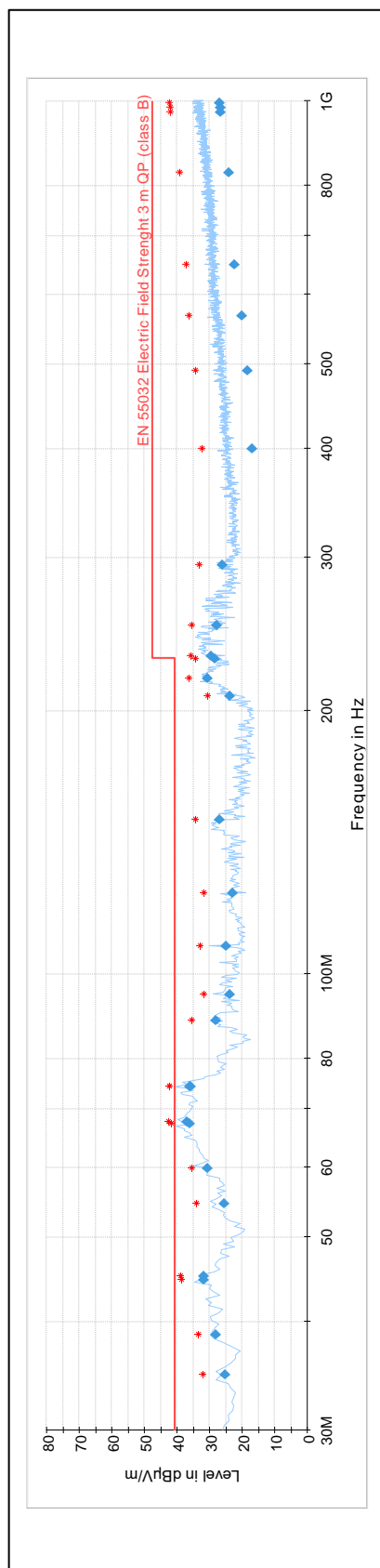
8.2.2 Elektromagnetické rušení zdroje šířené vyzařováním

Jak bylo uvedeno v kap. 8.2, kapitola je zaměřena na opětovné měření elektromagnetického rušení upravené konstrukce zdroje LRS-35-12, které se šíří jeho krytem čili vyzařováním. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle normy ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3, viz kap. 7.1.3. Zdroj byl měřen při jeho předpokládaných provozních podmínkách, tj. při odebíraném proudu zátěží 0,5 A.

Na Obr. 8.19 jsou uvedeny výsledky z měření, které jsou součástí přílohy P13. 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 výsledných hodnot je patrné, že na měřeném frekvenčním pásmu od 30 MHz do 1 GHz byly splněny požadavky kladené normou na maximální přípustné meze stanovené pro QP hodnoty, které představují intenzitu rušení způsobeného elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole zkoušeným zdrojem.

Výsledky z měření původní konstrukce zdroje jsou uvedeny v kap. 7.1.3, Obr. 7.15. Z porovnání průběhů rušení z obou měření je zřejmé, že rušení ze strany rádiových pozemních vysílačů bylo podstatně omezeno. Stejně jako úroveň rušení stanovená původně na frekvenčním pásmu od 45 do 50 MHz. Nutno poznamenat, že se jedná o zdroj, který je určen především pro průmyslové účely. Z tohoto důvodu mohl být navržen a konstruován podle benevolentnějších norem (ČSN EN 61000-6-4).

Na základě provedeného opakovaného měření elektromagnetického rušení upravené konstrukce zdroje LRS-35-12, viz kap. 8.1, které se šíří do okolí jeho krytem, resp. vyzařováním bylo konstatováno, že zdroj splňuje požadavky kladené kmenovou normu ČSN EN 61000-6-3. Jedná se o maximální přípustné meze rušení způsobeného elektrickou složkou vyzařovaného elektromagnetického pole. Zdroj byl měřen při odebíraném proudu zátěží 0,5 A, tj. v předpokládaném běžném provozním režimu. Nutno podotknout, že zdroj vyhověl i po stránce elektromagnetického rušení generovaného na jeho napájecích i výstupních svorkách, viz kap. 8.2.1. Zkoušený zdroj je vhodný pro napájení převodníku AT-MC102XL v prostoru bezodrazové stíněné komory.



Obr. 8.19: Intenzita vyzářovaného rušivého elektrického pole zdroje LRS-35-12 při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry

9. PŘIPOJENÍ KAMEROVÉHO SYSTÉMU DO POČÍTAČOVÉ SÍTĚ

Kapitola se zabývá připojením kamery MERIT LILIN - IPS5184S do lokální počítačové sítě (LAN) Vědeckotechnického parku Informační a komunikační technologie při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně (VTP - ICT), a to za účelem monitorování vnitřního prostoru bezodrazové stíněné komory FRANKONIA SAC - 3 Plus S. Způsob řešení je patrný z kap. 5.1 a kap. 6, Obr. 6.1. Připojení bylo provedeno pomocí optického kabelu a UTP kabeláže s využitím převodníků AT-MC102XL od společnosti ALLIED TELESIS, které zajišťují změnu signálu mezi uvedenými typy přenosových médií, tj. převod optického signálu na elektrický a naopak. Realizace optické trasy a její ověření je součástí přílohy P7, dále realizace a ověření UTP kabeláže jsou uvedeny v příloze P8.



Obr. 9.1: Připojení optické trasy do lokální počítačové sítě VTP - ICT

Strukturovaná kabeláž budovy VTP - ICT je realizována pomocí UTP kabelu Cat6. V jednotlivých místnostech budovy je ukončena zásuvkou RJ45 pro možné připojení koncových zařízení do LAN. Nutno poznamenat, že kamera je rovněž vybavena zásuvkou RJ45. Část trasy pro připojení kamery k LAN, konkrétně

vzájemné propojení převodníků, byla realizována pomocí sestavené optické trasy, viz příloha P7.

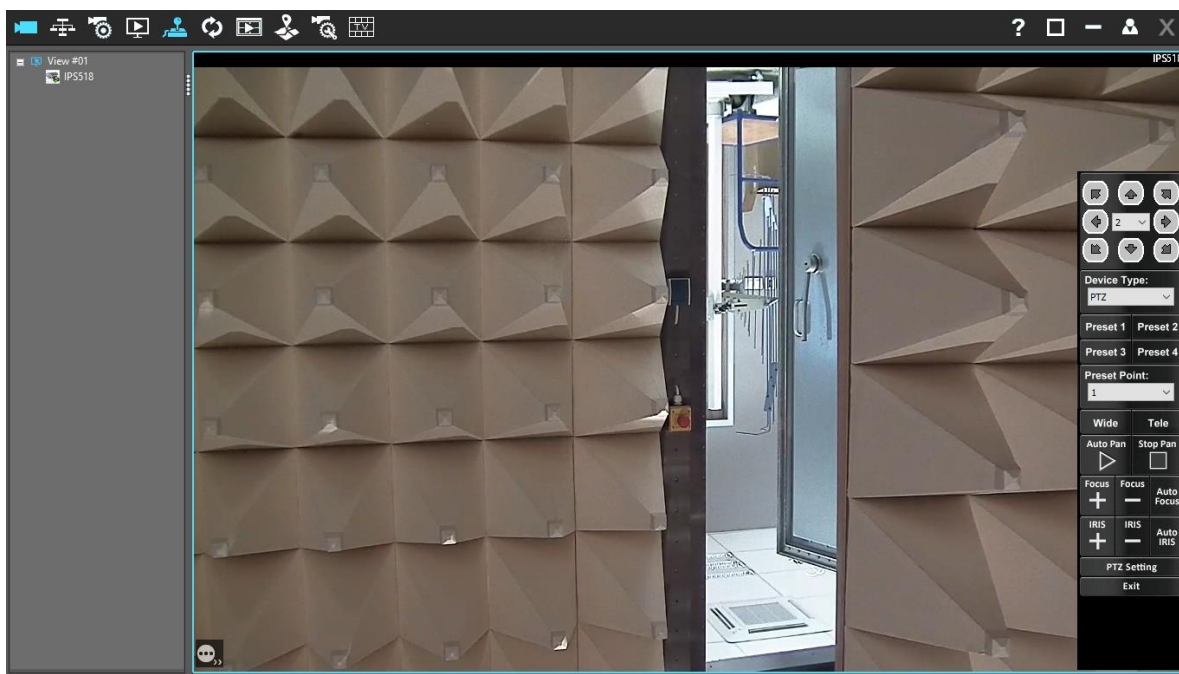
Při propojování převodníků bylo nutné dbát na správné připojení optických vláken. Vysílací konektor (Tx) jednoho z převodníků, viz detail na Obr. 9.1, musel být spojen s přijímacím konektorem (Rx) druhého převodníku, viz detail na Obr. 9.2 a naopak. Dále převodník umístěný mimo komoru, viz Obr. 9.1, byl připojen do LAN pomocí UTP kabelu v přímém zapojení, viz příloha P8. Uvedené rovněž platí pro připojení kamery k převodníku nacházejícího se uvnitř komory, viz Obr. 9.2. Při zapojení bylo nejprve vhodné sestavit celou přenosovou trasu a pak připojit převodníky k napájení, které je řešeno v kap. 8.1.1, Obr. 8.6. Po správném propojení bylo možné provést konfiguraci kamery. Napájení kamery je součástí kap. 6.4.2, Obr. 6.19. Sestava zařízení pro zkušební provoz v bezodrazové stíněné komoře je patrná z Obr. 9.1 a Obr. 9.2.



Obr. 9.2: Zkušební provoz kamery uvnitř bezodrazové stíněné komory

Konfigurace kamery a instalace příslušného softwaru LILIN Navigator Control Center 2.0 do PC obsluhy komory probíhaly podle postupu uvedeného v příloze P1. Rozdíl byl pouze v nastavené IP adrese kamery, která musela být použita z platného rozsahu pro danou LAN. Rovněž bylo vhodné adresu kamery nastavit jako statickou. V případě, že by byla nastavena automatická konfigurace

z DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) serveru, IP adresa kamery by se mohla změnit. V tomto případě by bylo nutné kameru znovu vyhledat prostřednictvím nainstalovaného softwaru. Vzhledem k tomu, že v LAN jsou použity neveřejné IP adresy, kamera není dostupná pro sledování z Internetu. Veřejnou IP adresu lze získat na základě žádosti, kterou schvaluje Centrum výpočetní techniky (CVT), jakožto součást Rektorátu UTB ve Zlíně.



Obr. 9.3: Test obrazu kamery v bezodrazové stíněné komoře

Na Obr. 9.3 lze vidět ukázkou obrazu ze zkušebního provozu kamery uvnitř bezodrazové stíněné komory. Test kamery probíhal za zhoršených světelných podmínek, konkrétně ze šesti halogenových světel instalovaných v komoře byly funkční pouze dvě, viz kap. 4.1, Obr. 4.3.

10. ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ A ODOLNOST KAMEROVÉHO SYSTÉMU

Kamerový systém, viz kap. 5.1, byl podroben měření za účelem stanovení elektromagnetického rušení (EMI) šířeného vyzařováním a následně zkouškám na elektromagnetickou odolnost (EMS). V rámci odolnosti kamerového systému byl uvažován pouze jediný vstup pro nežádoucí rušivé signály, konkrétně jeho kryt, a proto byly zkoušky zaměřeny na vnější zdroje rušivých elektromagnetických polí. Další možné vstupy, tj. napájecí svorky a datové konektory, nebyly uvažovány, protože napájecí zdroje pro kamerový systém byly napájeny z elektrické sítě nízkého napětí 230 V/50 Hz, která je součástí elektrických rozvodů komory, viz kap. 4.1, Obr. 4.3. Zdroje rovněž splňovaly emise elektromagnetického rušení podle normy ČSN EN 61000-6-3, viz kap. 7.2

a 8.2. Z pohledu datové komunikace byla část trasy pro připojení kamery do lokální počítačové sítě řešena po optických vláknech, viz kap. 9.

Kamerový systém byl měřen a zkoušen bez stínícího krytu SK – V1, který je popsán v kap. 6.2, a následně i s krytem, viz kap. 12. Cílem bylo ověřit elektromagnetickou stínící účinnost krytu a posoudit vhodnost jeho použití v bezodrazové stíněné komoře.

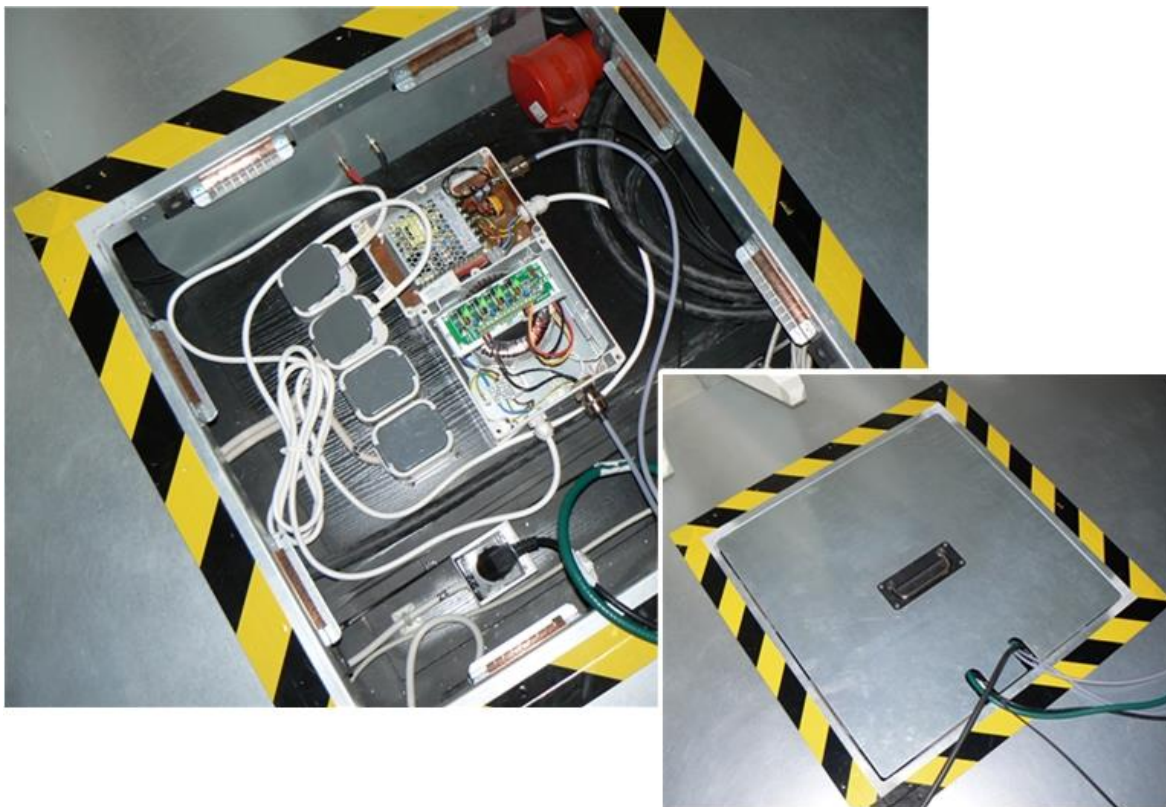
10.1 Elektromagnetické rušení kamerového systému šířené vyzařováním

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetického rušení šířícího se krytem kamerového systému čili vyzařováním. Zkoušený kamerový systém, viz Obr. 10.1, se skládá z kamery MERIT LILIN - IPS5184S a převodníku AT-MC102XL. 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, viz kap. 7.1.3.



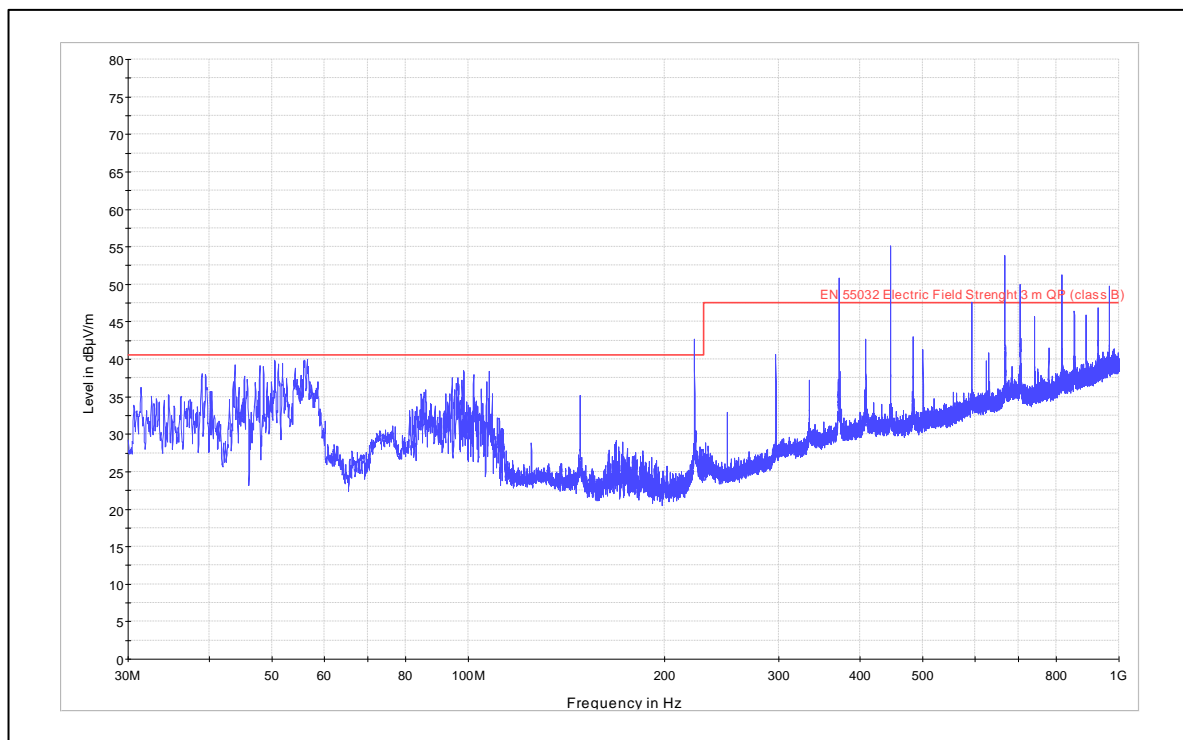
Obr. 10.1: Měření elektromagnetického rušení kamerového systému šířeného vyzařováním

Napájecí zdroje, konkrétně PSACH 04244 a LRS-35-12, určené pro kameru a převodník byly nainstalovány do rozvaděče, který se nachází pod stíněnou podlahou komory, viz Obr. 10.2. Jedná se o přístupový panel umístěný za anténním systémem, viz kap. 4.1.4, Obr. 4.8. Součástí této instalace bylo i napájecí vedení pro kameru a převodník, viz kap. 6.4.2 a 6.4.1.



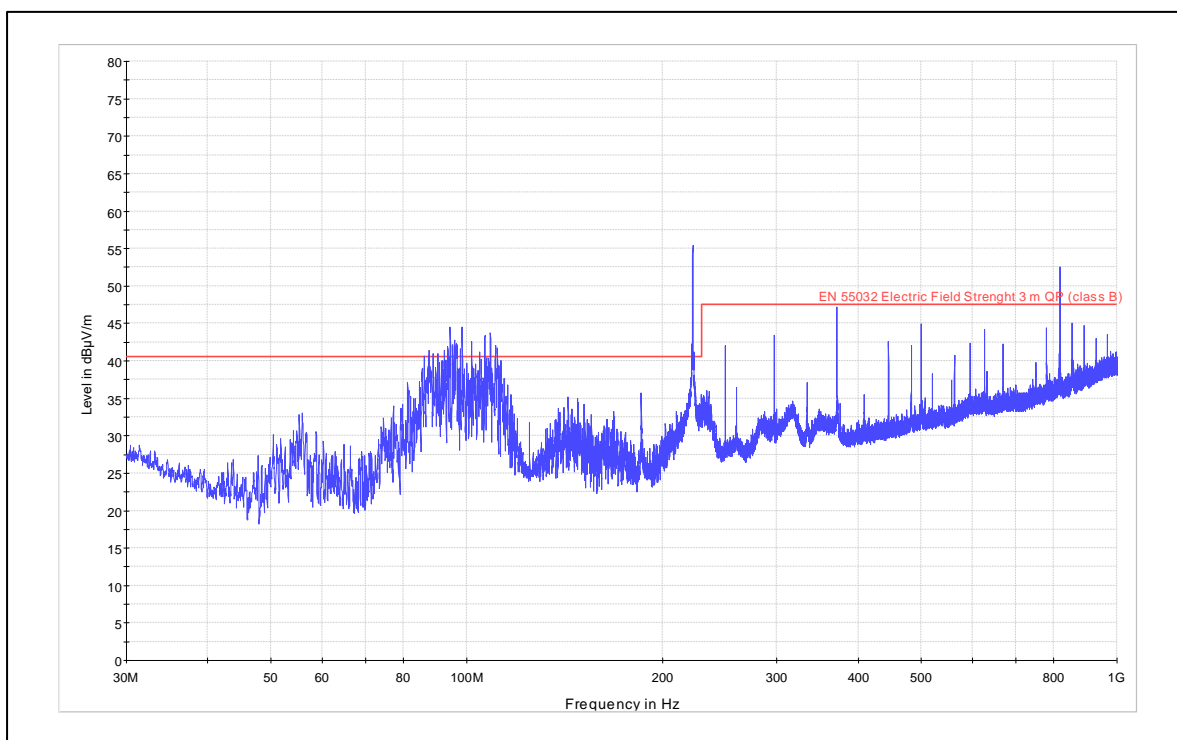
Obr. 10.2: Přístupový panel rozvaděče k elektrickým, signálovým a datovým rozvodům

Při měření nebyl v tomto případě použit plnohodnotný autotest, viz kap. 7.1.3, ale pouze omezený předběžný test. Při změně úhlu měřeného kamerového systému, který se během autotestu mění v rozsahu od -180° do $+180^\circ$, může nastat situace, že se jeho přívodní kabeláž omotá kolem nohou pracovního stolu a následným stržením kamerového systému může dojít i 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. Vzdálenost pro měření mezi zkoušeným kamerovým systémem a anténou zůstala stejná, a to 3 m, přičemž anténa 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. Uvedené omezené měření bylo provedeno za účelem vytvoření představy o úrovni rušení kamerového systému způsobeného elektrickou složkou elektromagnetického pole, které je vyzařováno jeho krytem a současně odráženo od zemní roviny komory. Výsledky z měření jsou ukázány na Obr. 10.3 a Obr. 10.4.



Obr. 10.3: 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. 10.3. Zobrazené hodnoty byly vyhodnoceny pomocí MP detektoru, a tudíž odpovídají maximální intenzitě vyzařovaného rušivého elektrického pole. Dále je z průběhu patrné, že na frekvenčním pásmu od 225 MHz do 1 GHz dosažená intenzita elektrického pole místy překračuje přípustné meze stanovené pro QP hodnoty rušení. Požadavky kladené příslušnou normou pro frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz nebyly splněny. Vzhledem k tomu, že se jedná o hodnotově významné intenzity rušení, tak jejich okolí nebylo dále podrobeno 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, viz Obr. 10.4. Významnou úroveň rušení lze vidět na frekvenčním pásmu od 85 do 115 MHz a na frekvencích 225 a 815 MHz.



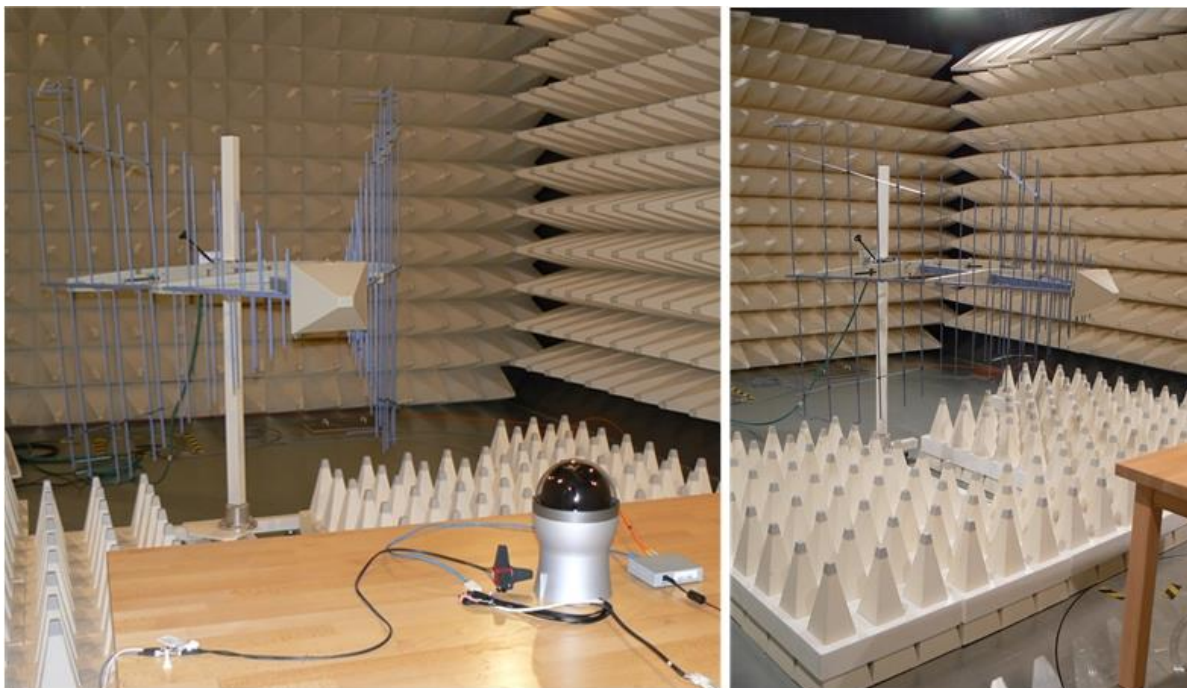
Obr. 10.4: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s horizontální polarizací antény a MP detektorem

Na základě předběžného měření, jehož výsledné hodnoty jsou součástí přílohy P15, 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 SK – V1, viz kap. 11. Předpokladem bylo, že se tím omezí i intenzita rušivého elektrického pole vyzařovaného do prostoru komory. Opakované měření je uvedeno v kap. 12.

10.2 Elektromagnetická odolnost kamerového systému

Cílem kapitoly bylo stanovit elektromagnetickou odolnost zkoušeného kamerového systému vůči rušivým vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Zkoušky byly prováděny podle normy ČSN EN 61000-4-3 [90], konkrétně pro dosaženou úroveň elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole o intenzitě 1, 3, 10 a 30 V/m. Nutno poznamenat, že normou požadované pole muselo být homogenní. Dále zkouška vyžadovala funkční kritérium A, a proto během zkoušky nesmělo docházet k patrnému omezení funkce testovaného systému [90], např. k rušení nebo ztrátě obrazu. Mez odolnosti byla stanovena kvalitativním posouzením funkčnosti kamerového systému. Měřicí pracoviště, viz Obr. 10.5, se nachází v plně bezodrazové stíněné komoře, která vznikla

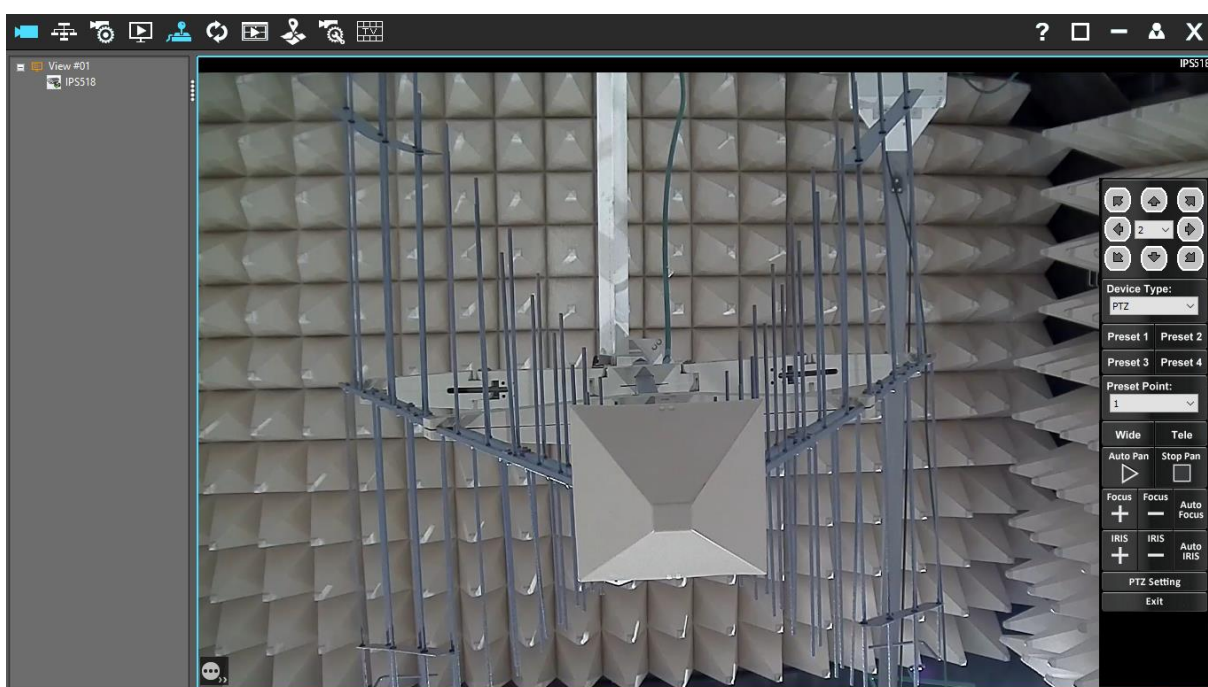
dodatečnou instalací absorbérů, viz kap. 4.1, na podlahu komory mezi zkušební anténu a dřevěný stůl. Důvodem bylo ochránit obsluhu komory, včetně citlivého elektronického zařízení před zkušebním vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem, které dosahovalo vysoké úrovně intenzit, a zabránit vnějším rušivým polím, tj. generovaným mimo komoru, ovlivňovat zkoušený kamerový systém. Nutno zmínit, že měřicí pracoviště je současně i prostorem, kde bude kamerový systém provozován.



Obr. 10.5: Zkouška EMS kamerového systému při intenzitě elektrického pole 30 V/m

Kamerový systém bez stínícího krytu SK – V1, tj. kamera MERIT LILIN - IPS5184S a převodník AT-MC102XL, byl testován v homogenním elektrickém poli, na nevodivém dřevěném stole ve výšce 80 cm nad podlahou komory, dále v zapojení odpovídající jeho běžné provozní konfiguraci. V průběhu měření bylo postupně generováno elektromagnetické pole o výše uvedených intenzitách a vyzařováno vůči zkoušenému systému na frekvenčním pásmu od 80 MHz do 3 GHz. K tomu účelu byl použit generátor vysokofrekvenčních signálů SMB100A od R&S, viz kap. 4.2.3, který umožňoval i nastavení normou požadované amplitudové modulace zkušebního signálu, konkrétně do úrovně 80 %, a to pomocí sinusového průběhu o frekvenci 1 kHz. Tento signál byl následně zesílen na odpovídající výkon širokopásmovými výkonovými zesilovači od AR, viz kap. 4.2.3. Zesílený signál, resp. elektromagnetická vlna byla dále vyzařována prostřednictvím vysílací, tj. logaritmicke-periodické směrové antény HL046E od R&S, viz kap. 4.2.3. Dosažená intenzita elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole v oblasti zkoušeného kamerového systému byla měřena zpětnovazební sondou HI-6105 od ETS – LINDGREN,

viz kap. 4.2.3. Zkoušky byly prováděny pro obě polarizace vysílací antény, tj. horizontální i vertikální, která byla umístěna ve vzdálenosti 3 m od zkoušeného systému. Ten byl postupně testován ze všech čtyř stran. Pouze zkouška odolnosti systému vůči elektromagnetickému poli s požadovanou úrovní intenzity elektrické složky 30 V/m probíhala individuálně. Zkouška byla specifická v pozici vysílací antény, která byla instalována blíže ke zkoušenému systému, a to na vzdálenost 1,5 m. Cílem bylo dosáhnout výše uvedené intenzity elektrického pole. Stávající konfigurace širokopásmových zesilovačů je výkonově omezená a v kombinaci s použitou anténou dokáže na vzdálenost 3 m vybudit intenzitu elektrického pole maximálně 10 V/m. Popisovaná specifická konfigurace měřicího pracoviště, a to s vertikální polarizací vysílací antény, je ukázána na Obr. 10.5. Související ukázka obrazu pořízeného během tohoto měření, konkrétně při frekvenci 815 MHz, je vidět na Obr. 10.6.



Obr. 10.6: Obraz kamery při intenzitě elektrického pole 30 V/m a frekvenci 815 MHz

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 sledovaného online 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. 10.1. Na těchto frekvencích byla předpokládána i jeho nižší odolnost vůči generovaným rušivým elektromagnetickým polím. Tento předpoklad nebyl prokázán, viz Obr. 10.6, 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. 10.1.

11. INSTALACE KAMEROVÉHO SYSTÉMU DO STÍNICÍHO KRYTU

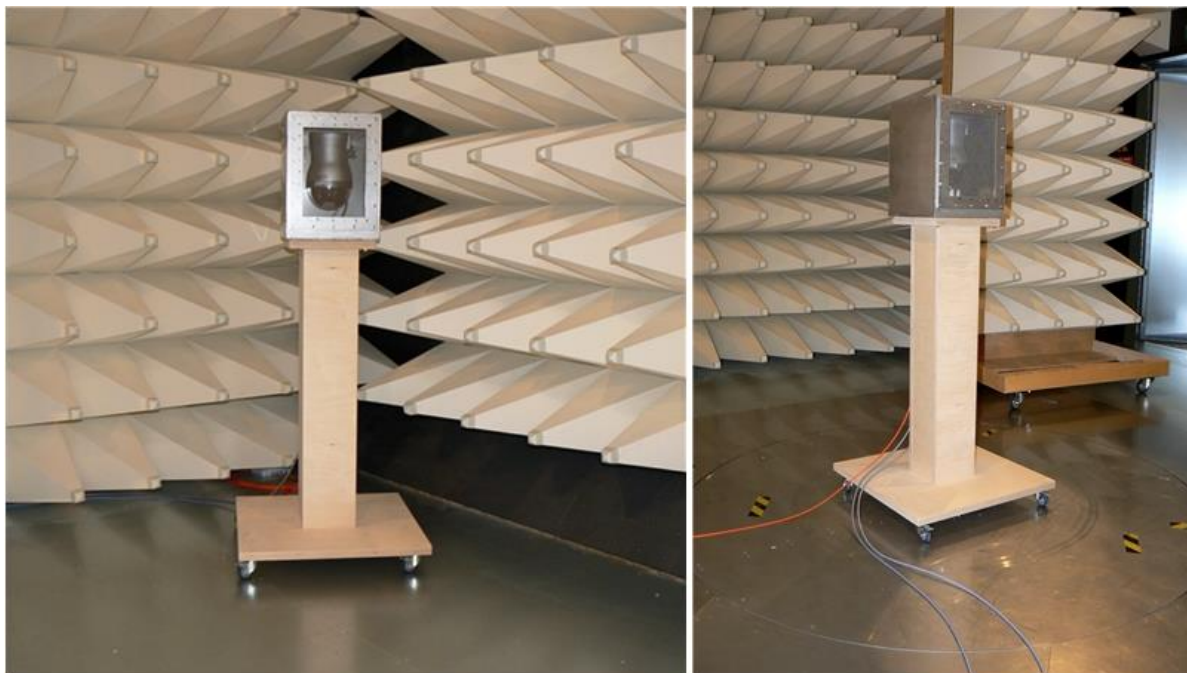
Kapitola je zaměřena na instalaci kamerového systému, konkrétně kamery MERIT LILIN - IPS5184S a převodníku AT-MC102XL, viz kap. 5.1, do stínícího krytu SK – V1, viz kap. 6.2. Účelem bylo zajistit provoz systému v bezodrazové stíněné komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S, tj. v prostředí silných elektromagnetických polí, která jsou generována během testování zařízení na elektromagnetickou odolnost nebo samotnými zkoušenými zařízeními při měření jejich elektromagnetického rušení. Cílem bylo také omezit zjištěné emise elektromagnetického rušení kamerového systému, viz kap. 10.1, které nesplňovaly požadované limity a dále se šířily krytem systému prostřednictvím vyzařování do prostoru komory. To by mohlo mít zásadní vliv na probíhající měření uvnitř komory. Kamerový systém instalovaný ve stínícím krytu SK – V1 je ukázán na Obr. 11.1.



Obr. 11.1: Instalace kamerového systému do stínícího krytu SK – V1

Způsob instalace kamery je patrný z přílohy P2, Obr. P2.4 a Obr. P2.5. Montáž kamery na nosnou konstrukci, resp. podstavu byla provedena šroubovými spoji z nerezové oceli a následně byl tento komponent zasunut prostřednictvím Z profilů do stínícího krytu SK – V1. Tím bylo zajištěno i elektricky vodivé spojení kamery s konstrukcí SK – V1. Nutno poznamenat, že celý systém je uzemněn vůči společné zemi. Cílem byla minimalizace vzniku uzavřených zemních smyček a s tím souvisejících zemních proudů. Vlivem těchto proudů vzniká mezi dvěma zařízeními, která jsou samostatně zemněná ve dvou různých bodech, i nežádoucí rušivé zemní napětí [5]. Převodník byl opatřen protiskluzovou úpravou a umístěn do spodní části krytu, viz Obr. 11.1 vlevo. Dále přední stěna SK – V1, včetně průhledového rámečku, byla osazena těsněním LAIRD – FOF 4522-AB-51K-01910, viz kap. 6.1.3. Účelem bylo zajistit elektromagnetickou těsnost mezi těmito díly. Těsnění bylo použito před i za šroubové spoje. Během instalace průhledového rámečku na přední stěnu SK – V1 byla zvolena komprese těsnění na hodnotu 1,6 mm, tj. 40 % z původní výšky těsnění.

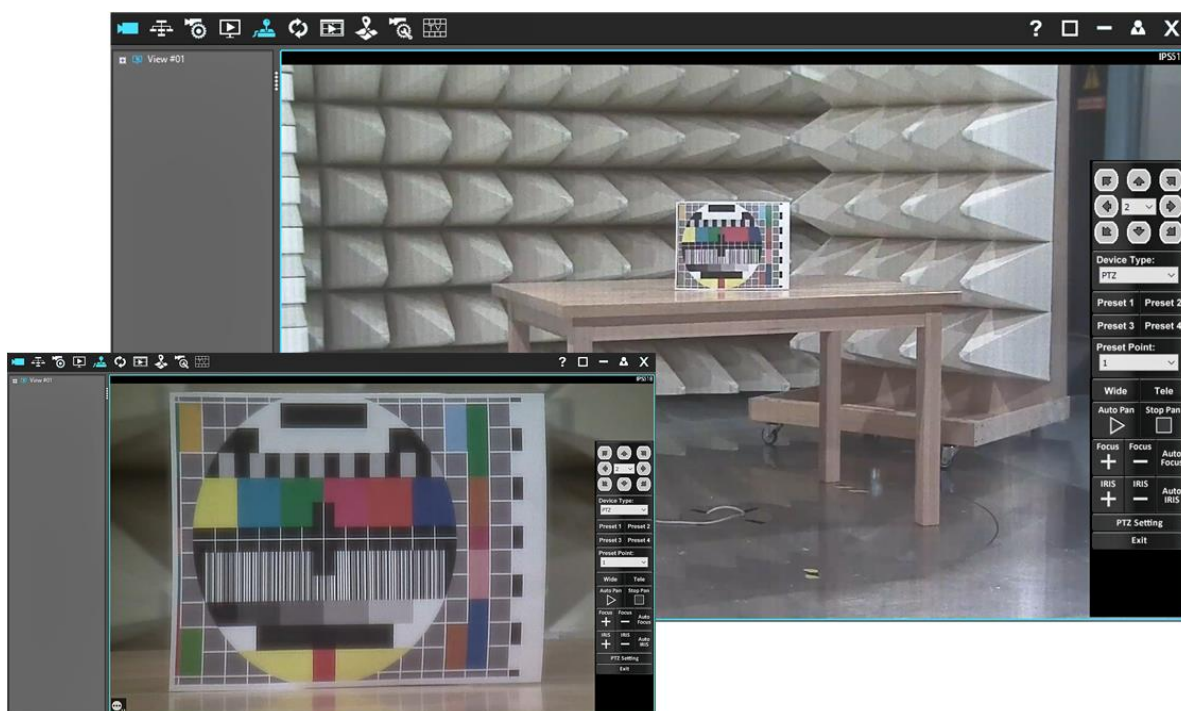
Součástí instalace bylo napájecí i datové vedení kamerového systému, viz Obr. 11.1 vpravo dole. Montáž vývodek WISKA - MMSKV 18 EMV-Z je zjevná z přílohy P2, Obr. P2.7 a jejich aplikace z kap. 6.4.1, Obr. 6.16. Napájecí zdroje PSACH 04244 a LRS-35-12 byly nainstalovány do rozvaděče, který se nachází pod stíněnou podlahou komory, viz kap. 10.1, Obr. 10.2. Připojení kamerového systému do lokální počítačové sítě VTP – ICT je patrné z kap. 9.



Obr. 11.2: Zodolněný kamerový systém pro bezodrazovou stíněnou komoru

Vlevo na Obr. 11.2 je ukázán výsledný zodolněný kamerový systém určený pro provoz v bezodrazové stíněné komoře. Systém je umístěn v pravém rohu komory za anténním stojanem, viz kap. 4.1.4, Obr. 4.8.

Ověření funkce stínicího krytu SK – V1, tj. zda omezí zjištěné elektromagnetické rušení kamerového systému, viz kap. 10.1, je předmětem kap. 12. Pro účely polohování během opakovaných měření elektromagnetického rušení šířeného vyzařováním byl zodolněný kamerový systém umístěn na otočný systém, tj. na místo pozice pracovního stolu, viz Obr. 11.2 vpravo.

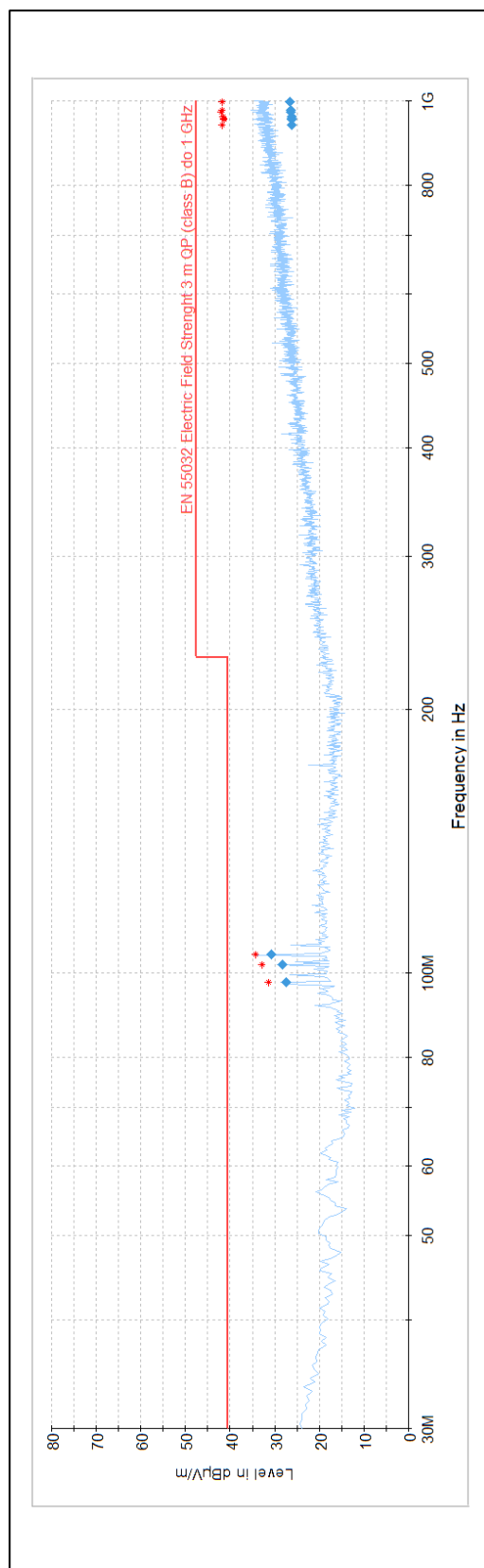


Obr. 11.3: Ukázka obrazu z kamery instalované ve stínícím krytu SK – V1

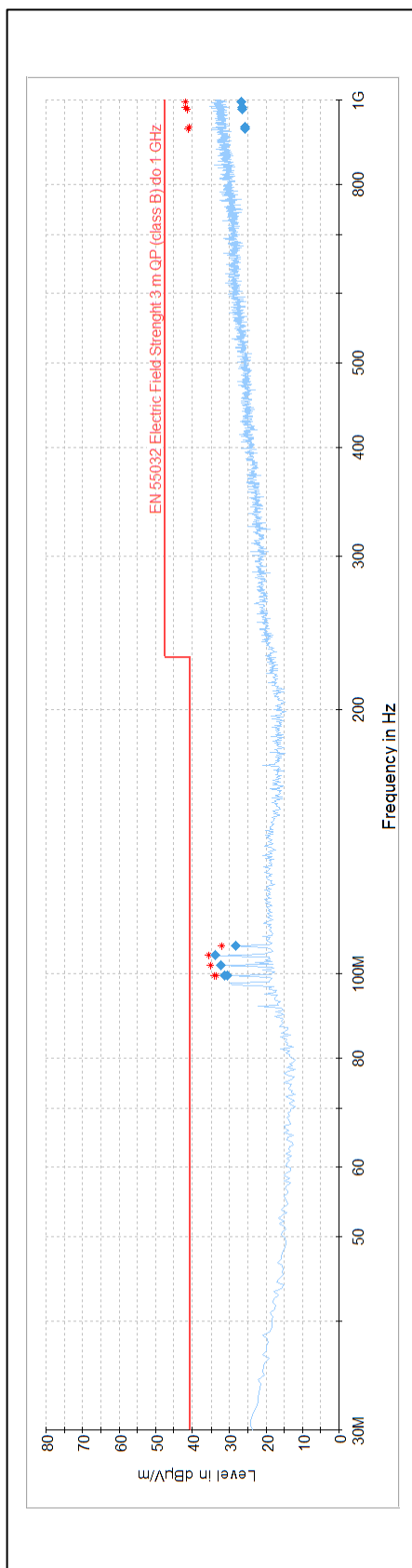
Na Obr. 11.3 lze vidět ukázkou obrazu z kamery instalované ve stínícím krytu SK – V1, resp. pořízeného zodolněným kamerovým systémem monitorujícím měřicí pracoviště v bezodrazové stíněné komoře.

12. ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ ZODOLNĚNÉHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU ŠÍŘENÉ VYZAŘOVÁNÍM

Předmětem kapitoly je opakované měření elektromagnetického rušení šířícího se vyzářováním čili krytem kamerového systému, viz kap. 10.1, který byl v tomto případě nainstalován do stínícího krytu SK – V1. Účelem bylo ověřit elektromagnetickou stínící účinnost krytu a následně i vhodnost použití zodolněného kamerového systému, viz kap. 11, Obr. 11.2 vpravo, v prostoru bezodrazové stíněné komory. Měřicí zařízení bylo nakonfigurováno podle normy ČSN EN 55016 a ČSN EN 61000-6-3, viz kap. 7.1.3. Zkoušené zařízení bylo měřeno v provozním režimu a v zapojení s odpovídající konfigurací. Bráno z pohledu jeho běžného použití a instalace, viz kap. 11.



Obr. 12.1: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zodolněného kamerového systému



Obr. 12.2: Elektromagnetické pozadí bezodrazové stíněné komory
FRANKONIA - SAC-3 Plus S

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, který je podrobněji popsán v kap. 7.1.3, jsou uvedeny na Obr. 12.1 a v příloze P15. 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 stínicího krytu SK – V1 jsou uvedeny v kap. 10.1 na Obr. 10.3 a Obr. 10.4. Z průběhů intenzit rušivých elektrických polí z obou provedených měření je zřejmé, že stínicí kryt SK – V1 byl z pohledu elektromagnetické stínicí účinnosti dostatečný a nevyžadoval dodatečnou instalaci odpovídajícího absorpčního materiálu na vnitřní stěny krytu, viz kap. 6.1.

Dále bylo provedeno měření elektromagnetického pozadí bezodrazové stíněné komory, tj. bez zkoušeného zařízení. Výsledný průběh je ukázán na Obr. 12.2 a naměřené hodnoty jsou součástí přílohy P15. Z porovnání průběhů, viz Obr. 12.1 a Obr. 12.2, je patrné, že z odolněný 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, viz kap. 7.1.3, které se nachází v blízkosti komory.

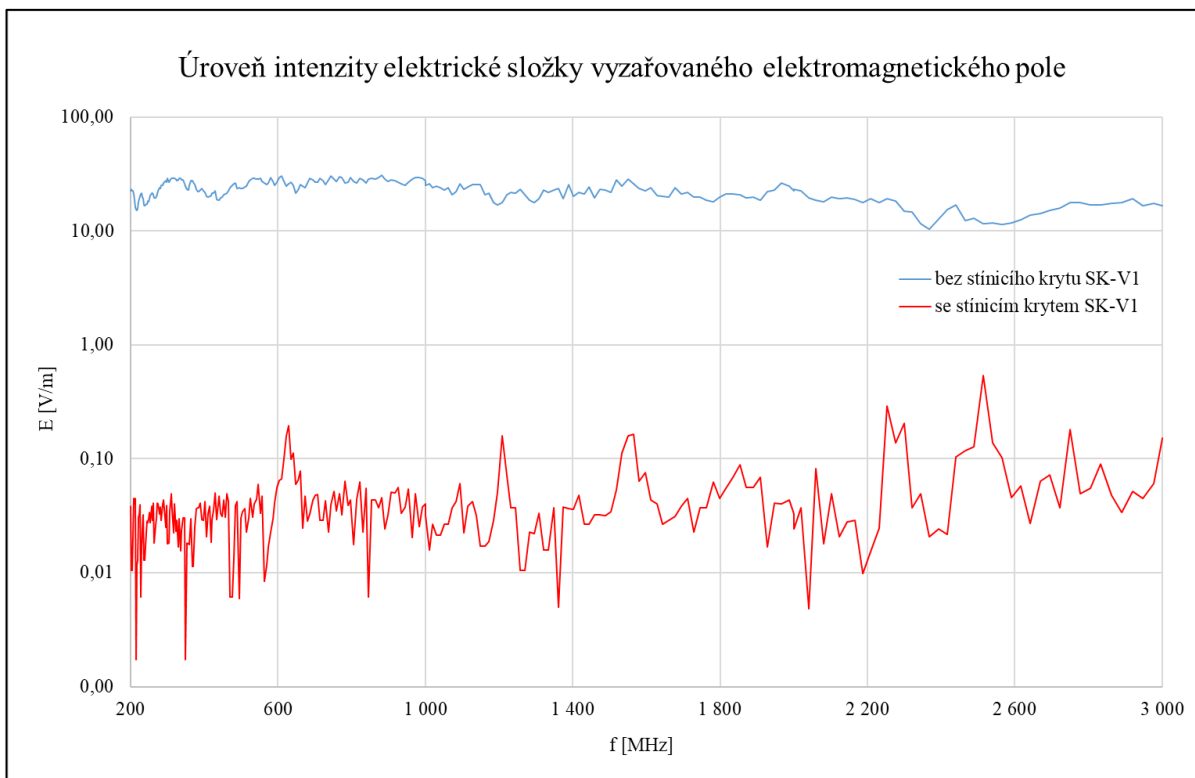
13. STÍNICÍ ÚČINNOST KRYTU SK – V1

Kapitola se zabývá měřením elektromagnetické stínicí účinnosti krytu SK – V1. K tomu účelu bylo využito vybavení pracoviště komory, které je přednostně určeno k provádění zkoušek zaměřených na elektromagnetickou odolnost elektronických zařízení podle normy ČSN EN 61000-4-3, viz kap. 10.2. Důvodem byly vnitřní rozměry krytu a především průchodných vlnovodů určených pro přívod datového a napájecího vedení kamerového systému. Vlnovody neumožňují do stínicího krytu zavést libovolné kabelové připojení, resp. jakoukoliv měřicí sondu, proto byla vybrána zpětnovazební sonda elektrického pole HI-6105 od ETS – LINDGREN, viz kap. 4.2.3, která je s měřicím systémem propojena pomocí tenkých optických vláken, viz Obr. 13.1 detail vlevo dole. Cílem měření bylo stanovit intenzitu elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole v ozařovaném prostoru komory, tj. bez stínicího krytu, a následně uvnitř krytu.



Obr. 13.1: Měření elektromagnetické stínící účinnosti krytu SK – V1

Uspořádání měřicího pracoviště, včetně použitého přístrojového vybavení, bylo stejné jako v případě měření elektromagnetické odolnosti kamerového systému, viz kap. 10.2. Do bezodrazové stíněné komory byla umístěna s horizontální polarizací vysílací směrová anténa HL046E od R&S a podlaha mezi anténou a místem měření byla pokryta absorbéry. Horizontální polarizace antény umístěné v této komoře vede k nižšímu výskytu odrazů ve srovnání s vertikální polarizací [91]. Na místo zkoušeného zařízení, tj. ve vzdálenosti 3 m od antény, byla do ozařovaného prostoru komory instalována sonda HI-6105, viz Obr. 13.1 vlevo. Sonda i anténa byly nastaveny do výšky 130 cm od podlahy komory. Výška byla dána rozměry zodolněné 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. 13.2 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, viz Obr. 13.1 vpravo. V tomto případě byla dosažená úroveň intenzity elektrického pole uvnitř stínicího krytu tak nízká, viz Obr. 13.2 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 AR - 150W1000 byl limitován maximálním výkonem 150 W ve frekvenčním pásmu od 200 MHz do 1 GHz a AR - 80S1G4 výkonem 80 W v pásmu od 1 GHz do 3 GHz. Získaná data z obou měření byla exportována řídicím softwarem EMC 32 do souboru „SE krytu SK – V1.xlsx“, viz příloha P16.



Obr. 13.2: Úroveň intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole

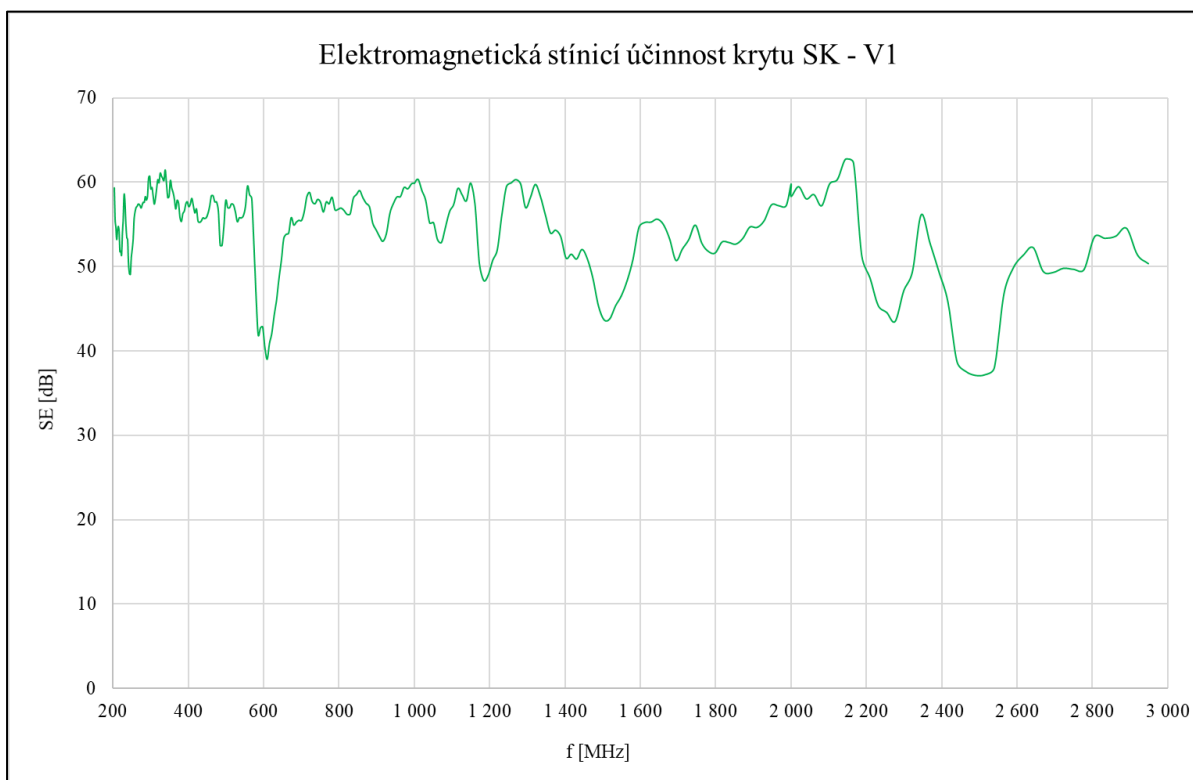
Vzhledem k tomu, že se v prvním případě měření podařilo v systému nastavit konstantní výkon vysílací antény, ale v druhém případě nikoliv, protože to nedovolily ochranné mechanismy řídicího softwaru, bylo nutné naměřená data normalizovat. K tomuto účelu byl použit tabulkový editor MS EXCEL. Naměřená úroveň intenzity elektrické složky elektromagnetického pole bez stínícího 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 stínícího krytu (z korigovaných hodnot) a s krytem. Pak byla vypočítána elektromagnetická stínící účinnost SE krytu SK – V1 z tohoto poměru podle vztahu [2]:

$$SE = 20 \log \frac{|E_{1K}|}{|E_2|} \quad [dB] \quad (13.1)$$

$$E_{1K} = E_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad [V/m] \quad (13.2)$$

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. 13.3, výpočet vycházel vždy z průměrovaných hodnot intenzit naměřených na pěti po sobě jdoucích frekvencích.



Obr. 13.3: Elektromagnetická stínící účinnost krytu SK – V1

Na Obr. 13.3 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, viz kap. 4.2.3. Z důvodu nízké citlivosti této sondy nebyla výsledná hodnota stínící účinnosti krytu stanovena. Z průběhu, viz Obr. 13.3, 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.

14. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU A REALIZACE ZODOLNĚNÉHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU

Jak bylo uvedeno v úvodu práce, řešení kamerového systému na zakázku přímo od dodavatele bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S nebylo z finančních důvodů akceptováno. Předpokládaná cena tohoto systému, včetně instalace, byla stanovena na 290 000 Kč s DPH. Jedná se o velmi specifické řešení, které muselo respektovat probíhající citlivá měření elektromagnetického rušení šířícího se po vedení i vyzařováním nebo testování zkoušených zařízení na elektromagnetickou odolnost vůči rušivým vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. S neustálým rozvojem mobilních sítí a bezdrátového internetu jsou v rámci komory prováděna i měření za účelem ověření vyzařovacích charakteristik antén. Nutno poznamenat, že uvedená měření a zkoušky jsou prováděny podle často přísných doporučení a norem určených pro komerční, bezdrátovou, automobilovou i vojenskou aplikační oblast. Kamerový systém musel být tedy schopen provozu i v těchto silných elektromagnetických polích, viz kap. 6. Danou problematikou a obecně elektromagnetickým stíněním se zabývá pouze několik světových výrobců. Mnohdy se jedná o kusovou zakázkovou výrobu a velmi složitou výrobní technologii, která je spojena s neustálým výzkumem v dané oblasti, a proto jsou obdobná řešení finančně náročná. Důkazem je i elektromagneticky stíněné sklo, resp. okno určené pro průhled kamery, viz kap. 6.1.3. V tomto případě se jednalo o částku 240 000 Kč s DPH. Finančně nákladné jsou i kamery umožňující přímou datovou komunikaci po optických vláknech, která je pro účely bezodrazové stíněné komory nezbytná, viz kap. 5. Z těchto důvodů byl zvolen vlastní návrh a realizace zodolněného kamerového systému určeného pro provoz v bezodrazové stíněné komoře.

Tab. 14.1*: Cenový rozpočet na zodolněný kamerový systém

Specifikace	Množství	Cena za jednotku s DPH	Cena celkem s DPH
	ks/m	Kč	Kč
Kamera MERIT LILIN - IPS5184S	1	39 996	39 996
Převodník AT - MC102XL	2	2 950	5 900
Zdroj PULSAR - PSACH 04244	1	1 500	1 500
Zdroj MEAN WELL - LRS-35-12	1	257	257
Krabička CP-11-5	1	191	191
Krabička Z74JH TM	1	120	120
Stíněný kabel LiYCY - JZ	8 m	21	168

Stíněný kabel LiYCY - OZ	8 m	17	136
Napájecí kabel EMOS - S14312	2	69	138
Vývodka WISKA - MMSKV 18 EMV-Z	4	165	660
Síťový filtr FILTANA - TSK 6415	1	165	165
Výstupní LC filtr **	1	180	180
Stínicí kryt SK - V1 ***	1	10 890	10 890
Mobilní nosná konstrukce pro SK - V1 ****	1	5 100	5 100
Těsnění LAIRD - FOF 4522-AB-51K-01910 (1ks – 485 mm)	8	190	1 520
Optický kabel CTnet - 4x50/125 OM2 LSZH	15 m	12	180
Optický box pro 4 vlákna	2	160	320
Optická spojka SC OM2	8	10	80
Pigtail SC 50/125 OM2 - 2 m	4	37	148
Optická ochrana sváru 1/60 mm	4	4	16
PatchCord SC-SC 2x50/125 OM2 LSOH - 2 m	1	119	119
PatchCord SC-SC 2x50/125 OM2 LSOH - 5 m	1	168	168
Datový kabel BELDEN - 7965E, UTP, Cat6	12 m	9	108
Konektory RJ45	4	3	12
Ostatní konstrukční a spojovací materiál	1	200	200
Náklady na dopravu a balné	1	1 000	1 000
Cena celkem			69 270

Poznámky k Tab. 14.1:

* Ceny jsou zaokrouhleny na celé koruny směrem nahoru.

** Uvedená cena je pouze za použité součástky a materiál.

*** Zakázková výroba.

V Tab. 14.1 je uveden přehled finančních nákladů, včetně DPH vynaložených na realizaci zodolněného kamerového systému, viz kap. 11, Obr. 11.2. Celkové náklady činily 69 270 Kč. Do nákladů nebyl zahrnut návrh popisovaného systému a práce řešitele. Jedná se o kvalifikační práci, která je určena pouze pro akademické účely, a nikoliv o projekt s komerčním využitím.

15. 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 stínící účinnosti krytu a jeho reálném využití. Celkovou stínící 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 stínící účinnost krytu, která byla měřena v omezeném frekvenčním pásmu od 30 do 500 MHz. V rámci tohoto příspěvku byl použit univerzální stínící kryt vyrobený pro laboratorní účely. Předmětem práce nebyl návrh ani realizace krytu. Bylo zjištěno, že je prakticky nemožné uvažovat všechny vlivy působící na stínící účinnost krytu [8].

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 měřením. Navíc oblast se příliš nezabývá problematikou související se stínící 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 experimentálními měřeními a s tím spojenou postupnou realizací. V tomto případě nebyl nalezen jediný publikační výstup, který by sloužil pro konstruktéry elektromagneticky stínících 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 pracovníčně 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 korozivzdorná 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 bezdrazové 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 bezdrazové 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 zodolněný kamerový systém je vhodný pro provoz v komoře FRANKONIA - SAC-3 Plus S. Dále je stínící 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.

16. 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 obsluhu 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 vlnodů, 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 měřícího 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 popsitelné 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] Frankonia SAC-3 Plus. In: *Frankonia Group* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://frankonia-solutions.com/portfolio/sac-3-plus/>
- [26] Frankonia Anechoic Chambers. In: *Frankonia Group* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://frankonia-solutions.com/wp-content/uploads/2019/05/Frankonia-Anechoic-Chambers-2019.pdf>
- [27] Semi-Anechoic Chamber for 3/5m Test. In: *Euro MC* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://www.euromc.fr/en/industrie/semi-anechoic-chamber-for-3-5m-test/>
- [28] Laboratoř elektromagnetické kompatibility. In: *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Regionální výzkumné centrum CEBIA-Tech* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://fai.utb.cz/o-fakulte/zakladni-informace/struktura/ustavy/regionalni-vyzkumne-centrum-cebia-tech/pristrojove-vybaveni/>
- [29] Filters for shielded rooms - EPCOS B84299. In: *TDK Electronics* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://www.tdk-electronics.tdk.com/inf/30/db/emc_sr/B84299_X2.pdf
- [30] Frankonia Accessories. In: *Frankonia Group* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://frankonia-solutions.com/anechoic-chambers/accessories/>
- [31] R&S OSP - Open Switch and Control Unit - Operating Manual. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/o/osp_1/OSP_OperatingManual_en_17.pdf
- [32] R&S EMC32 - EMC Measurement Software - Specifications. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/EMC32_dat-sw_en_5214-6580-22_v1200.pdf

- [33] R&S ESU - EMI Test Receiver - Operating Manual. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/e/esu_1/ESU_OperatingManual_en_FW574.pdf
- [34] R&S ENV216 - Two-Line V-Network - For disturbance voltage measurements on single-phase EUTs. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/ENV216_dat_en_5214-0299-32_v0500.pdf
- [35] Array 372x - User Manual. In: *Array Electronic Co., Ltd.* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://www.array.sh/download/372x%20User%20Manual%20.pdf>
- [36] FCC F-52 - Current Probe - Data Sheet. In: *Fischer Custom Communications, Inc.* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.fischercc.com/wp-content/uploads/2016/07/F-52.pdf>
- [37] FCC F-120-9A - Bulk Current Injection Probe - Data Sheet. In: *Fischer Custom Communications, Inc.* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.fischercc.com/products/f-120-9a/>
- [38] R&S HFH2-Z2E - Active Loop Antenna - Data Sheets. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/HFH2-Z2E.pdf
- [39] Teseq CBL 6112 - BiLog Antenna - Data Sheets. In: *Teseq Group* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.teseq.com/products/CBL-6112.php>
- [40] A.H. Systems SAS-571- Double Ridge Guide Horn Antenna - Data Sheets. In: *A.H. Systems, Inc.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://www.ahsystems.com/datasheets/SAS-571_Horn_Antenna_Datasheet.pdf
- [41] R&S SMA100A - Signal Generator - Operating Manual. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/s/sma/SMA100A_OperatingManual_en_14.pdf
- [42] AR 80S1G4 - Microwave Solid State Amplifiers - Data Sheets. In: *Amplifier Research* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.arworld.us/post/80S1G4.pdf>
- [43] AR 150W1000A - RF Power Amplifiers - Data Sheets. In: *Amplifier Research* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.arworld.us/post/150W1000A.pdf>

- [44] AR 150A250 - Microwave Amplifiers - Data Sheets. In: *Amplifier Research* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.arworld.us/post/150A250.pdf>
- [45] R&S HK116E - Biconical Antenna - Data Sheets. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/HK116E.pdf
- [46] A.H. Systems SAS-510-2 - Log Periodic Antenna - Data Sheets. In: *A.H. Systems, Inc.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://www.ahsystems.com/datasheets/SAS-510-2_Log_Periodic_Antenna_Datasheet.pdf
- [47] R&S HL046E - High Gain Log-Periodic Antenna - Data Sheets. In: *Rohde & Schwarz* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/HL046E.pdf
- [48] ETS-Lindgren HI-6105 - Electric Field Probe - Data Sheets. In: *ETS-Lindgren* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.ets-lindgren.com/datasheet/probes-monitors/emc-probes/electric-field-probes/9003/900304>
- [49] Frankonia GTEM Cells. In: *Frankonia Group* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://frankonia-solutions.com/wp-content/uploads/2017/10/GTEM.pdf>
- [50] Haefely AXOS 5 - Immunity Test System - Specifications. In: *Haefely Test AG* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: http://www.haefely.com/specsheet/HAEFELY_%20axos-SERIES_LQ_11.2014_SPEC.pdf
- [51] Haefely MSURGE-A - Antenna for Pulse Magnetic Field Test - Specifications. In: *Haefely Test AG* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.haefely.com/2133748.html>
- [52] Haefely ONYX 16 - Electrostatic Discharge Simulator- Specifications. In: *Haefely Test AG* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: http://www.haefely.com/specsheet/HAEFELY_ONYX_Broschuere_16-04_WEB_SPEC.pdf
- [53] Merit LILIN-IPS5184 - IP camera - Specifications. In: *LILIN* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.meritlilin.com/en/product/pdf/136/159>

- [54] TSAI, C. F. a M. S. YOUNG. Pyroelectric infrared sensor-based thermometer for monitoring indoor objects. *Review of Scientific Instruments* [online]. 2003, **74**(12), 5267-5273 [cit. 2019-12-14]. DOI: 10.1063/1.1626005. ISSN 0034-6748. Dostupné z: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1626005>
- [55] ALLIED TELESIS - AT-MC102XL - Media Converter - Data Sheets. In: *ALLIED TELESIS* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://www.alliedtelesis.com/documents/datasheet-mc100-series>
- [56] ČSN 33 2000-5-51 ed.3, *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [57] SCHWEITZER, Philip A. *Metallic materials: physical, mechanical, and corrosion properties*. New York: M. Dekker, 2003. Corrosion technology (New York, N.Y.), 19. ISBN 0-8247-0878-4.
- [58] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [59] SOLIANI Shielding Windows - Technical Specification. In: *SOLIANI EMC s.r.l.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.solianiemc.com/wp-content/uploads/2018/06/SOL-09-Windows-Specification-r1.pdf>
- [60] SCREEN Technické tkaniny - Katalog a specifikace. In: *SCREEN servis, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://screenservis.cz/wp-content/uploads/2017/01/katalog-technické-tkaniny.pdf>
- [61] LAIRD FOF 4522-AB-51K-01910 - Electromagnetic Shielding - EMI Catalog. In: *ATD Elektronik s.r.o.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.atd-shop.com/www/prilohy/laird%20-%20emi-catalog-fof.pdf>
- [62] *ASTM D4935 - 18, Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*. West Conshohocken: ASTM International, 2018.
- [63] WIECKOWSKI, T., W. & JANUKIEWICZ, J., M. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern*. 2006, Vol. 14, No. 5, s. 18-22. ISSN 1230-3666.
- [64] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [65] Tente 1475PAO050P40 - Swivel Castor - Product Information. In: *RS Components Sp. z o.o.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://docs.rs-online.com/0034/0900766b8162a529.pdf>

- [66] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I – Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-86056-02-3.
- [67] Mean Well LRS-35-12 - Switching Power Supply - Data Sheet. In: *CZECH-MEANWELL* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.czech-meanwell.cz/fotky10575/fotov/LRS-35-spec.pdf>
- [68] ČSN EN 60529, *Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód)*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
- [69] LiYCY OZ - Flexibilní stíněný kabel - Technická specifikace. In: *DDA spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/pdf/liycy.pdf>
- [70] WISKA MMSKV 18 EMV-Z - EMC Cable Gland - Product Data Sheet. In: *WISKA Hoppmann GmbH* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.wiska.com/en/pdf/10065123/MMSKV-18-EMV-Z.pdf>
- [71] MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektrotechnické materiály I*. [online]. Praha: Publi.cz, 2016 [cit. 2019-12-13]. ISBN 978-80-88058-90-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/Cover.html>
- [72] Pulsar PSACH 04244 - AC Power Supply for CCTV - Data Sheets. In: *PULSAR* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.pulsar.pl/de/wycofane/PSACH04244%20-%20v1.1%20-%20Edition%205%20-%20instruction%20-%202015-02-23.pdf>
- [73] LiYCY JZ - Flexibilní stíněný kabel - Technická specifikace. In: *DDA spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/pdf/liycy-jz_f-cy-jz.pdf
- [74] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Lineární napájecí zdroje*. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-002-4.
- [75] LÁNÍČEK, Robert. *Elektronika: obvody, součástky, děje*. Praha: BEN - technická literatura, 1998, 478 s. ISBN 8086056252.
- [76] Rádio Zlín - Základní informace. In: *RADIO TV* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.radiotv.cz/radio/radio-zlin/>
- [77] ČSN EN 61000-6-3 ed.2, *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-3: Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [78] ČSN EN 55032 ed.2, *Elektromagnetická kompatibilita multimediálních zařízení – Požadavky na emisi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

- [79] Vysílače ve Zlínském kraji - Základní informace. In: *RADIO TV* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: http://www.radiotv.cz/p_radio/r_obecne/mapujeme-regiony-viii-zlinsky-kraj/
- [80] RAO, K. Ramamohan, D. N. KIM a J. J. HWANG. *Fast Fourier transform: algorithms and applications*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4020-6628-3.
- [81] Filtana TSK 6415 - Odrušovací filtr - Technická specifikace. In: *GES-Electronics, a.s.* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/t/tsk6415.pdf>
- [82] WARIER, Sudhir. *The ABCs of fiber optic communication*. Boston: Artech House, [2017]. Artech House applied photonics series. ISBN 9781630814144.
- [83] NELLIST, John G. *Understanding telecommunications and lightwave systems: an entry-level guide*. 3rd ed. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2002, xi, 269 s. IEEE Press understanding science & technology series. ISBN 0471150320. Dostupné také z: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/0471722855>
- [84] CTnet 600004 - Optical Cable 4 x 50/125 OM2 LSZH - Technical Specifications. In: *CTnet* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://ctnetcable.com/>
- [85] FITEL S179 - Fusion Splicer - Product Data Sheet. In: *Furukawa Electric Group* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://www.furukawa.co.jp/en/product/catalogue/pdf/s179_j449.pdf
- [86] FITEL S326 - Optical Fiber Cleaver - Product Data Sheet. In: *Furukawa Electric Group* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://www.furukawa.co.jp/en/product/catalogue/pdf/s326_j429.pdf
- [87] EXFO FTB-1 Platform - OTDR FTB-720 - Data Sheets. In: *PROFiber Networking*. [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: https://www.profiber.eu/files/produkty/meracie_platformy/Platform_FTB_1/Platform_FTB_1/EXFO_spec_sheet_FTB_1_v16_en.pdf
- [88] Belden 7965E - UTP Cable Cat 6 - Technical Specifications. In: *BELDEN, Inc* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: https://catalog.belden.com/techdata/EN/7965E_techdata.pdf
- [89] *TIA/EIA-568-B.1, Commercial Building, Telecommunications Cabling Standard, Part 1: General Requirements*. Arlington: Telecommunications Industry Association, Standards and Technology Department, 2001.

- [90] ČSN EN 61000-4-3 ed.3, *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [91] POSPÍŠILÍK, Martin, Milan ADÁMEK a Petr NEUMANN. Influence of the antenna's height to the standing waves ratio when performing the electromagnetic susceptibility tests in anechoic chambers. In: *Lecture Notes in Electrical Engineering* [online]. Dubrovnik: Springer Verlag, 2018, s. 161-167. [cit. 2020-07-27]. ISSN 1876-1100. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-53934-8_19.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1: Bezodrazová stíněná komora Frankonia SAC – 3 Plus [25]	13
Obr. 4.2: Náhled na VTP - ICT a vnější plášť komory Frankonia SAC - 3 Plus S	14
Obr. 4.3: EMC filtr EPCOS – B84299 a halogenové osvětlení v komoře	17
Obr. 4.4: Dveřní systém komory Frankonia SAC – 3 Plus S	18
Obr. 4.5: Mobilní absorpční stěna a vzduchový kompresor Scheppach – HC 24	19
Obr. 4.6: Penetrační panely komory Frankonia SAC – 3 Plus S.....	20
Obr. 4.7: Odvětrávací otvor komory Frankonia SAC – 3 Plus S	21
Obr. 4.8: Stojan pro anténní měření a ovládací panel stojanu	22
Obr. 4.9: Pracovní stůl a otočná základna komory	23
Obr. 4.10: Řídicí systém Frankonia - FC02	24
Obr. 4.11: Měřicí a řídicí pracoviště obsluhy komory	25
Obr. 4.12: Měřicí software R&S EMC32	27
Obr. 4.13: Měřicí přijímač EMI - R&S ESU8 a generátor signálu - R&S SMB100A.....	28
Obr. 4.14: Umělá síť - R&S ENV216	30
Obr. 4.15: Elektronická zátěž – ARRAY 3721A	31
Obr. 4.16: Proudové sondy – FCC F-52 a F120-9A	32
Obr. 4.17: Rámová anténa - R&S HFH2-Z2	33
Obr. 4.18: BiLog anténa – TESEQ CBL 6112D	34
Obr. 4.19: Trychtýřová anténa - A.H. SYSTEMS SAS-571	35
Obr. 4.20: Sada vysokofrekvenčních výkonových zesilovačů	37
Obr. 4.21: Bikónická anténa - R&S HK116E.....	38
Obr. 4.22: Logaritnicko-periodická anténa - A.H. SYSTEMS SAS-510-2 a R&S HL046E	39
Obr. 4.23: Měřicí sonda intenzity elektrického pole HI-6105	39
Obr. 4.24: GTEM komora – FRANKONIA 250 a skříň s přístrojovým vybavením	41
Obr. 4.25: Kombinovaný testovací systém – Haefely AXOS 5 a anténa MSURGE-A	43
Obr. 4.26: Simulátor ESD – Haefely ONYX 16	44

Obr. 5.1: IP kamera MERIT LILIN - IPS5184S	46
Obr. 5.2: Převodníky AT-MC102XL od ALLIED TELESIS	47
Obr. 6.1: Návrh kamerového systému pro bezodrazovou stíněnou komoru	48
Obr. 6.2: Návrh konstrukce stínicího krytu pro kamerový systém	49
Obr. 6.3: Stereomikroskop a struktura vybraných technických tkanin zvětšená 10x	56
Obr. 6.4: Těsnění FOF 4522-AB-51K-0191 a 50x zvětšená struktura jeho povrchu	58
Obr. 6.5: Testovací pracoviště na ověření vlivu technických tkanin na kvalitu obrazu	59
Obr. 6.6: Obraz z kamery bez technické tkaniny	60
Obr. 6.7: Obraz z kamery přes technickou tkaninu TT-0,400-0,22-1.4301-1000	61
Obr. 6.8: Obraz z kamery přes technickou tkaninu TT-0,630-0,25-1.4401-1000	61
Obr. 6.9: Obraz z kamery přes technickou tkaninu TT-1,250-0,40-1.4301-1000	62
Obr. 6.10: Měření elektromagnetické stínicí účinnosti	63
Obr. 6.11: Elektromagnetická stínicí účinnost vybraných materiálů	64
Obr. 6.12: Stínicí kryt SK – V1	66
Obr. 6.13: Konstrukční úprava průchodných vlnodů	67
Obr. 6.14: Nosná konstrukce pro SK – V1	68
Obr. 6.15: Kompletní konstrukce pro kamerový systém	68
Obr. 6.16: Detail konstrukce kabelové vývodky WISKA – MMSKV 18 EMV-Z	73
Obr. 6.17: Napájecí zdroj pro převodník AT-MC102XL	74
Obr. 6.18: Blokové schéma vnitřního zapojení zdroje PSACH 04244 [72]	76
Obr. 6.19: Napájecí zdroj pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S	77
Obr. 7.1: Měření zatěžovací charakteristiky zdroje LRS-35-12	79
Obr. 7.2: Zatěžovací charakteristika zdroje LRS-35-12	80
Obr. 7.3: Ověření zvlnění výstupního napětí zdroje LRS-35-12	81
Obr. 7.4: Průběh zvlnění výstupního napětí zkoušeného zdroje LRS-35-12	82
Obr. 7.5: Další významná harmonická složka výstupního napětí zdroje	84
Obr. 7.6: Měření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12 po napájecím vedení	86
Obr. 7.7: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,5 A	87
Obr. 7.8: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,5 A	89
Obr. 7.9: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 3 A	90
Obr. 7.10: Vstupní svorky umělé sítě R&S - ENV216 a napájecí zdroj MW9112GS	91
Obr. 7.11: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 0,5 A	91
Obr. 7.12: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 0,5 A	92
Obr. 7.13: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 2,5 A	93
Obr. 7.14: Měření elektromagnetického rušení zdroje LRS-35-12 šířeného vyzařováním	94
Obr. 7.15: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zdroje LRS-35-12 při zatěžovacím proudu 0,5 A	96
Obr. 7.16: Měření zatěžovací charakteristiky zdroje PSACH 04244	98
Obr. 7.17: Zatěžovací charakteristika zdroje PSACH 04244	99
Obr. 7.18: Ověření sinusového průběhu výstupního napětí zdroje PSACH 04244	100
Obr. 7.19: Průběh výstupního napětí zdroje bez zátěže	101

Obr. 7.20: Průběh výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 0,6 A	101
Obr. 7.21: Průběh výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 1 A	102
Obr. 7.22: Frekvenční spektrum výstupního napětí zdroje při zatěžovacím proudu 0,6 A ...	103
Obr. 7.23: Měření elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244 po napájecím vedení	105
Obr. 7.24: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,6 A	106
Obr. 7.25: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,6 A	106
Obr. 7.26: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 1 A	107
Obr. 7.27: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 1 A	107
Obr. 7.28: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L2 při zatěžovacím proudu 0,6 A	109
Obr. 7.29: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,6 A	109
Obr. 7.30: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L2 při zatěžovacím proudu 1 A	110
Obr. 7.31: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 1 A	111
Obr. 7.32: Měření elektromagnetického rušení zdroje PSACH 04244 šířeného vyzařováním	112
Obr. 7.33: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zdroje PSACH 04244 při zatěžovacím proudu 0,6 A.....	113
Obr. 8.1: Schéma zapojení odrušovacího filtru TSK 6415 [81]	115
Obr. 8.2: Síťový odrušovací filtr TSK 6415	116
Obr. 8.3: Schéma zapojení LC filtru vytvořené v EAGLE	117
Obr. 8.4: Návrh desky plošných spojů LC filtru v EAGLE	118
Obr. 8.5: Pasivní LC filtr typu dolní propust 2. řádu	119
Obr. 8.6: Upravená konstrukce napájecího zdroje pro převodník AT-MC102XL	119
Obr. 8.7: Zvlnění výstupního napětí zdroje s filtrem a bez při zatěžovacím proudu 0,5 A ..	120
Obr. 8.8: Další významná harmonická složka výstupního napětí zdroje s filtrem a bez.....	121
Obr. 8.9: Spektrum výstupního napětí bez a s filtrem při zatěžovacím proudu 0,5 A.....	122
Obr. 8.10: Spektrum výstupního napětí bez a s filtrem při zatěžovacím proudu 1,2 A.....	123
Obr. 8.11: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	125
Obr. 8.12: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	125
Obr. 8.13: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči L1 při zatěžovacím proudu 3 A – měření s dodatečnými filtry	126
Obr. 8.14: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči N při zatěžovacím proudu 3 A – opakované měření s dodatečnými filtry	127
Obr. 8.15: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	128
Obr. 8.16: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	128
Obr. 8.17: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (-) při zatěžovacím proudu 2,5 A – měření s dodatečnými filtry	129

Obr. 8.18: Úroveň rušivého napětí šířeného po vodiči (+) při zatěžovacím proudu 2,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	130
Obr. 8.19: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole zdroje LRS-35-12 při zatěžovacím proudu 0,5 A – opakované měření s dodatečnými filtry	132
Obr. 9.1: Připojení optické trasy do lokální počítačové sítě VTP - ICT	133
Obr. 9.2: Zkušební provoz kamery uvnitř bezodrazové stíněné komory	134
Obr. 9.3: Test obrazu kamery v bezodrazové stíněné komoře	135
Obr. 10.1: Měření elektromagnetického rušení kamerového systému šířeného vyzařováním	136
Obr. 10.2: Přístupový panel rozvaděče k elektrickým, signálovým a datovým rozvodům ...	137
Obr. 10.3: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s vertikální polarizací antény a MP detektorem	138
Obr. 10.4: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole kamerového systému měřená s horizontální polarizací antény a MP detektorem	139
Obr. 10.5: Zkouška EMS kamerového systému při intenzitě elektrického pole 30 V/m	140
Obr. 10.6: Obraz kamery při intenzitě elektrického pole 30 V/m a frekvenci 815 MHz	141
Obr. 11.1: Instalace kamerového systému do stínicího krytu SK – V1	143
Obr. 11.2: Z odolněný kamerový systém pro bezodrazovou stíněnou komoru	144
Obr. 11.3: Ukázka obrazu z kamery instalované ve stínicím krytu SK – V1	145
Obr. 12.1: Intenzita vyzařovaného rušivého elektrického pole odolněného kamerového systému	146
Obr. 12.2: Elektromagnetické pozadí bezodrazové stíněné komory FRANKONIA - SAC-3 Plus S	147
Obr. 13.1: Měření elektromagnetické stínicí účinnosti krytu SK – V1	149
Obr. 13.2: Úroveň intenzity elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole	150
Obr. 13.3: Elektromagnetická stínicí účinnost krytu SK – V1	151

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1: Rozměrové parametry technických tkanin podle [60]	57
Tab. 6.2: Přehled vybraných parametrů zdroje LRS-35-12 [67].....	72
Tab. 6.3: Přehled vybraných parametrů zdroje PSACH 04244 [72].....	75
Tab. 7.1: Přehled chování vybraných parametrů zdroje při změně zátěže.....	84
Tab. 14.1*: Cenový rozpočet na odolněný kamerový systém.....	152

SEZNAM ZKRATEK A JEJICH VÝZNAM

ZKRATKA	VÝZNAM
AC	Střídavý proud (Alternate Current)
AISI	Americký institut pro železa a oceli (American Iron and Steel Institute)
AM	Amplitudová modulace (Amplitude Modulation)
ANSI	Americký národní normalizační institut (American National Standards Institute)
APC	Ferule úhlově sféricky zabroušená (Angled Physical Contact)
AR	Název společnosti (Amplifier Research)
ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály (American Society for Testing and Materials)
AV	Střední hodnota (Average)
CC	Konstantní proud (Constant Current)
CCL	Malý rozsah konstantního proudu (Constant Current Low)
CD	Kompaktní disk (Compact Disk)
CDN	Jednofázová vazební a oddělovací síť (Coupling - Decoupling Network)
CEBIA-Tech	Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií
CCH	Velký rozsah konstantního proudu (Constant Current High)
CISPR	Mezinárodní zvláštní výbor pro rádiové rušení (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectrique)
CP	Konstantní výkon (Constant Power)
CPC	Konstantní výkon a proud (Constant Power and Current)
CPV	Konstantní výkon a napětí (Constant Power and Voltage)
CR	Konstantní odpor (Constant Resistance)

CRH	Velký rozsah konstantního odporu (Constant Resistance High)
CRL	Malý rozsah konstantního odporu (Constant Resistance Low)
CRM	Střední rozsah konstantního odporu (Constant Resistance Medium)
CV	Konstantní napětí (Constant Voltage)
CVT	Centrum výpočetní techniky
CW	Vlna sinusového průběhu s konstantní amplitudou i frekvencí (Continuous Wave)
CWG	Generátor kombinovaných vln (Combination Wave Generator)
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnsměrný proud (Direct Current)
DHCP	Dynamická konfigurace koncových zařízení (Dynamic Host Configuration Protocol)
DNS	Hierarchický systém doménových jmen (Domain Name System)
DPS	Deska plošného spoje
EFT	Rychlé elektrické přechodové jevy (Electrical Fast Transients)
EIA	Aliance výrobců elektroniky (Electronic Industries Alliance)
EMC	Elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility)
EMI	Elektromagnetické rušení (Electromagnetic Interference)
EMS	Elektromagnetická odolnost (Electromagnetic Susceptibility)
EN	Evropská norma (European Standard)
ESD	Elektrostatický výboj (Electrostatic Discharge)
EUT	Zkoušené zařízení (Equipment Under Test)
FCC	Název společnosti (Fischer Custom Communications)
FFT	Rychlá Fourierova transformace (Fast Fourier Transform)

FM	Frekvenční modulace (Frequency Modulation)
FO	Optické vlákno (Fiber Optic)
FOF	Těsnění z pěnového materiálu potažené pokovenou textilií (Fabric over Foam)
FU	Homogenní pole (Field Uniformity)
GPIB	Typ datového rozhraní (General Purpose Interface Bus)
GTEM	Zkušební komora (Gigahertz Transversal Electromagnetic Cell)
HCP	Vodorovná kovová vazební deska (Horizontal Coupling Plane)
HD	Vysoké rozlišení (High Definition)
HTML	Hypertextový značkovací jazyk (Hypertext Markup Language)
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise (International Electrotechnical Commission)
IP	Základní protokol používaný v počítačových sítích a Internetu (Internet Protocol)
IR	Infračervený (Infrared)
LAN	Lokální počítačová síť (Local Area Network)
LDI	Typ datového rozhraní (Laser Data Interface)
LED	Svítivá dioda (Light - Emitting Diode)
LINS	Jednofázová umělá síť (Line Impedance Stabilization Network)
LSZH	Označení materiálu, který při hoření neprodukuje toxické zplodiny (Low Smoke Zero Halogen)
MM	Mnohovid (MultiMode)
MP	Maximální hodnota (Max-Peak)
NSA	Normovaný útlum pracoviště (Normalised Site Attenuation)

OTDR	Metoda optické reflektometrie v časové oblasti (Optical Time Domain Reflectometry)
PC	Osobní počítač (Personal Computer)
PDF	Typ datového formátu (Portable Document Format)
PIR	Pasivní infračervený detektor (Passive Infrared Detector)
PM	Fázová modulace (Phase Modulation)
PP	Mezivrcholová hodnota (Peak - to - Peak)
PTZ	Ovládací panel kamery (Pan, Tilt and Zoom)
PVC	Plastový materiál (Polyvinylchlorid)
QP	Kvazivrcholová hodnota (Quasi-Peak)
R&S	Název společnosti (Rohde & Schwarz)
RF	Rádiová frekvence (Radio Frequency)
RMS	Efektivní hodnota (Root Mean Square)
RTF	Typ datového formátu (Rich Text Format)
Rx	Přijímač
SK – V1	Stínicí kryt – verze 1
SM	Jednovid (SingleMode)
SSB	Jedno postranní pásmo (Single Side Band)
STP	Stíněná kroucená dvojlinka (Shielded Twisted Pair)
SVSWR	Poměr napětí stojatých vln (Site Voltage of Standing Wave Ratio)
TD	Analýza časové oblasti (Time-domain)
TEM	Příčně elektromagnetická vlna (Transverse electromagnetic mode)
TIA	Sdružení telekomunikačního průmyslu (Telecommunications Industry Association)

TP	Kroucená dvojlinka (Twisted Pair)
Tx	Vysílač
UPC	Ferule sféricky zabroušená (Ultra Physical Contact)
USB	Typ datového rozhraní (Universal Serial Bus)
UTB	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
UTP	Nestíněná kroucená dvojlinka (Unshielded Twisted Pair)
UV	Ultrafialový (Ultraviolet)
VCP	Svislá kovová vazební deska (Vertical Coupling Plane)
VF	Vysoká frekvence
VTP-ICT	Vědeckotechnický park Informační a komunikační technologie při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P1: Hardwarové a softwarové oživení kamery
- Příloha P2: Návrh konstrukce šasí SK – V1
- Příloha P3: Návrh konstrukce průhledového rámečku
- Příloha P4: Návrh nosné konstrukce pro SK – V1
- Příloha P5: Výsledky měření zatěžovacích charakteristik zdrojů
- Příloha P6: Návrh výstupního filtru zdroje LRS-35-12
- Příloha P7: Realizace a ověření optické trasy
- Příloha P8: Realizace a ověření UTP kabeláže
- Příloha P9*: Kamera MERIT LILIN – IPS5184S
- Příloha P10*: Převodník ALLIED TELESIS – AT-MC102XL
- Příloha P11*: Stínicí účinnost vybraných materiálů na SK – V1
- Příloha P12*: Výkresová dokumentace SK – V1 a NK
- Příloha P13*: Napájecí zdroj LRS-35-12
- Příloha P14*: Napájecí zdroj PSACH 04244
- Příloha P15*: EMI kamerového systému šířené vyzařováním
- Příloha P16*: Stínicí účinnost krytu SK – V1

Poznámka k seznamu příloh:

* Přílohy P9 až P16 jsou z důvodu velkého objemu dat pouze součástí přiloženého CD nosiče a nikoliv tištěných příloh práce.

PŘÍLOHA P1: Hardwarové a softwarové oživení kamery

Kamera byla dodána bez napájecího zdroje. Pro prvotní ověření správné funkčnosti kamery a následující testovací účely bylo využito stávajících rozvodů bezpečného malého napětí 24 V AC, které se standardně nachází v každé výukové laboratoři Fakulty aplikované informatiky. Náhled na testovací pracoviště je ukázán na Obr. P1.1. Kamera byla aktivována připojením k napájecí síti a automaticky nastavena do výchozí polohy stanovené výrobcem. Od tohoto okamžiku se kamera nacházela v pohotovostním režimu a byla připravena pro nepřetržitý provoz. Vzhledem k jejímu primárnímu použití v bezpečnostním průmyslu a způsobu instalace není vybavena systémem ON/OFF. Nastavení kamery, které se provádí během instalace, bylo realizováno přímým propojením notebooku a kamery.



Obr. P1.1: Hardwarové a softwarové oživení kamery

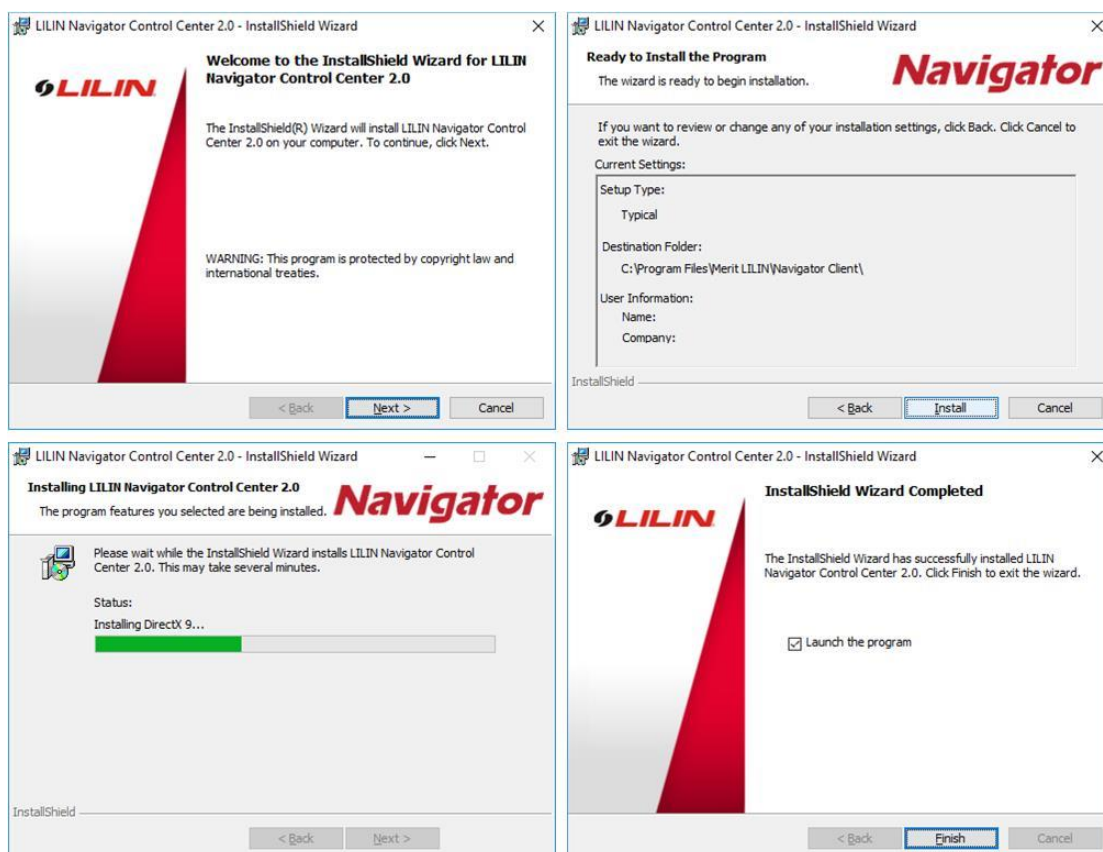
Součástí dodávky kamery byl CD (Compact Disc) nosič, který obsahoval potřebné ovladače pro instalaci kamery a software určený k jejímu ovládání, konkrétně CMX Software HD 3.6, viz Obr. P1.2. Podmínkou bylo síťové rozhraní s konektorem RJ45, které bylo nutné pro počáteční nastavení kamery.



Obr. P1.2: Původní software dodaný ke kameře

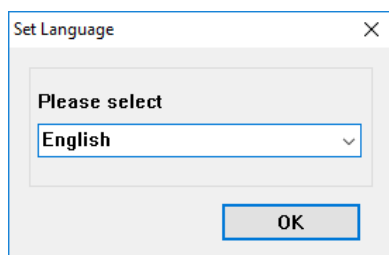
Po instalaci softwaru a nastavení potřebných parametrů kamery bylo zjištěno, že se nelze ke kameře připojit přes vytvořené rozhraní. Přitom instalátor hlásil úspěšné dokončení instalace. Chyba se opakovaně projevovala černou obrazovkou a následovalo neplánované ukončení programu, včetně restartu operačního systému. Kamera umožňuje sledovat obraz i v online režimu přes webové rozhraní. Do webového prohlížeče bylo nutné zadat IP adresu zařízení a potvrdit přihlášení uživatelským jménem „admin“ a heslem „pass“. Nicméně ani v tomto případě kamera neplnila svou funkci. Umožňovala pouze pořizování statických snímků obrazu, a nikoliv sledování video záznamu. V prvním případě byl neúspěch způsoben nekompatibilitou softwaru s použitým operačním systémem Windows 10 a v případě druhém s webovým prohlížečem.

Z těchto důvodů byl využit nejnovější ovládací software dostupný na stránkách výrobce kamery. Jedná se o univerzální software LILIN Navigator Control Center 2.0 s podporou 64 bitového operačního systému Windows 10. Instalátor uvedeného softwaru je součástí přílohy P9. Vzhledem k tomu, že nebyl nalezen návod na jeho instalaci, níže je uveden kompletní postup, včetně nastavení kamery a základních funkcí použitého softwaru.



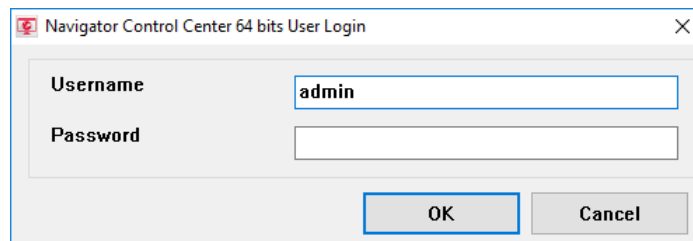
Obr. P1.3: Instalátor - LILIN Navigator Control Center 2.0

Jednotlivé kroky instalátoru softwaru LILIN Navigator Control Center 2.0 jsou zobrazeny na Obr. P1.3. Po dokončení instalace a prvním spuštění softwaru, následovala volba výchozího jazyka, viz Obr. P1.4.



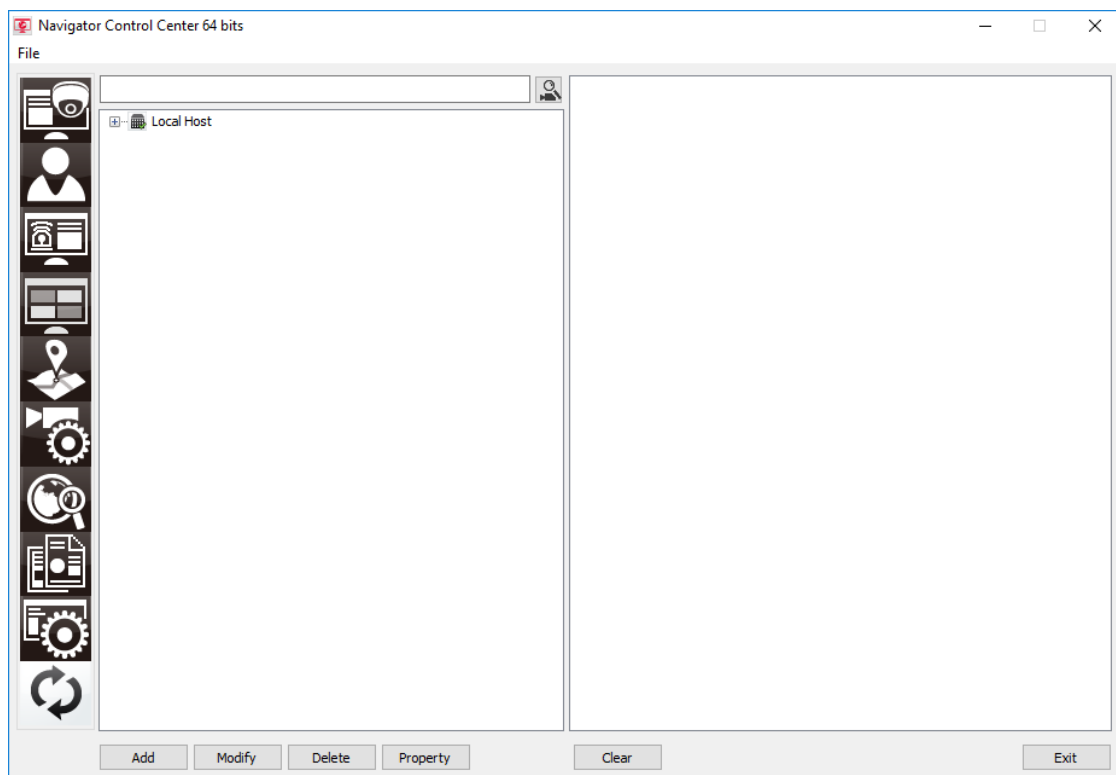
Obr. P1.4: Výběr a nastavení výchozího jazyka

Dále následovalo vytvoření uživatelského jména a hesla, viz Obr. P1.5. Přístupové údaje byly voleny z bezpečnostních důvodů, aby nedocházelo k neoprávněnému ovládní kamery. Pro testovací údaje byl vytvořen pouze uživatel bez hesla. Uživatel patří mezi povinné údaje a tento krok nelze přeskočit.



Obr. P1.5: Přihlášení uživatele a zadání jeho přístupového hesla

Po zadání oprávněného uživatele naběhlo základní rozhraní softwaru Navigator Control Center, viz Obr. P1.6.



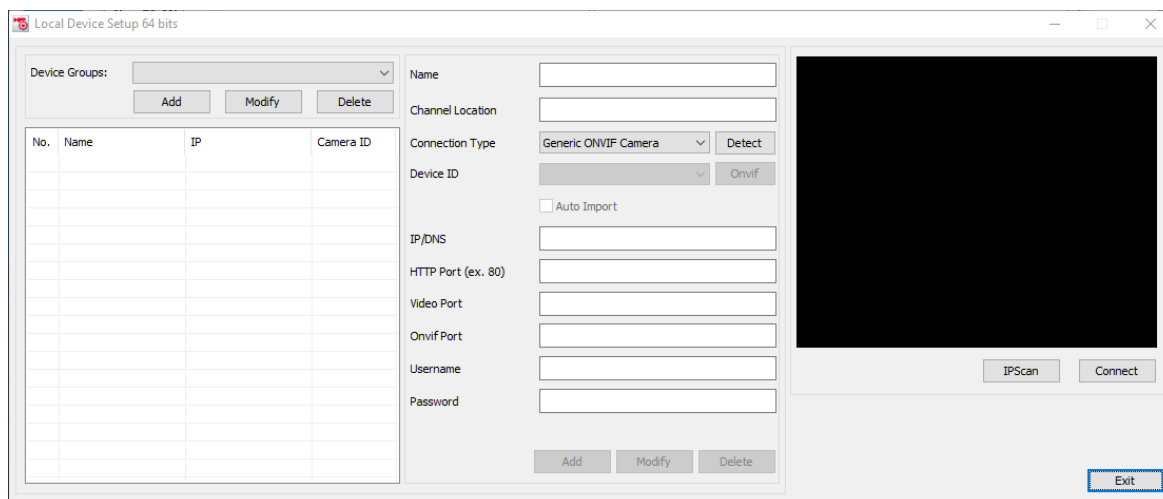
Obr. P1.6: Uživatelské rozhraní - Navigator Control Center

Navigator obsahuje následující nabídku funkcí, která je dostupná na panelu umístěném na levé straně:

- Viewer Management (Správa všech připojených zařízení)
- User Management (Správa uživatelského účtu)
- Alarm Management (Správa připojených alarmů)
- TV Wall (Konfigurace přehledové TV stěny)
- eMap Center (Mapa pro rozmístění jednotlivých kamer)
- Device Management (Konfigurace a připojení k zařízení)
- IP Scan (Automatické skenování sítě)

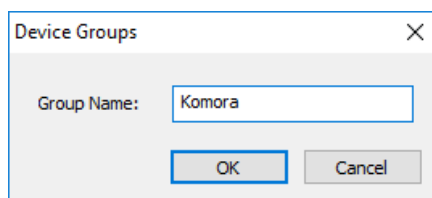
- Device Manager (Správce zařízení)
- Control Station Settings (Nastavení řídicí stanice)
- Refresh (Restart video obrazu)

Z popisovaných funkcí bylo nejprve nutné zadat „Device Management“, který umožňuje nastavit a následně připojit kameru. Dané rozhraní je zobrazeno na Obr. P1.7.



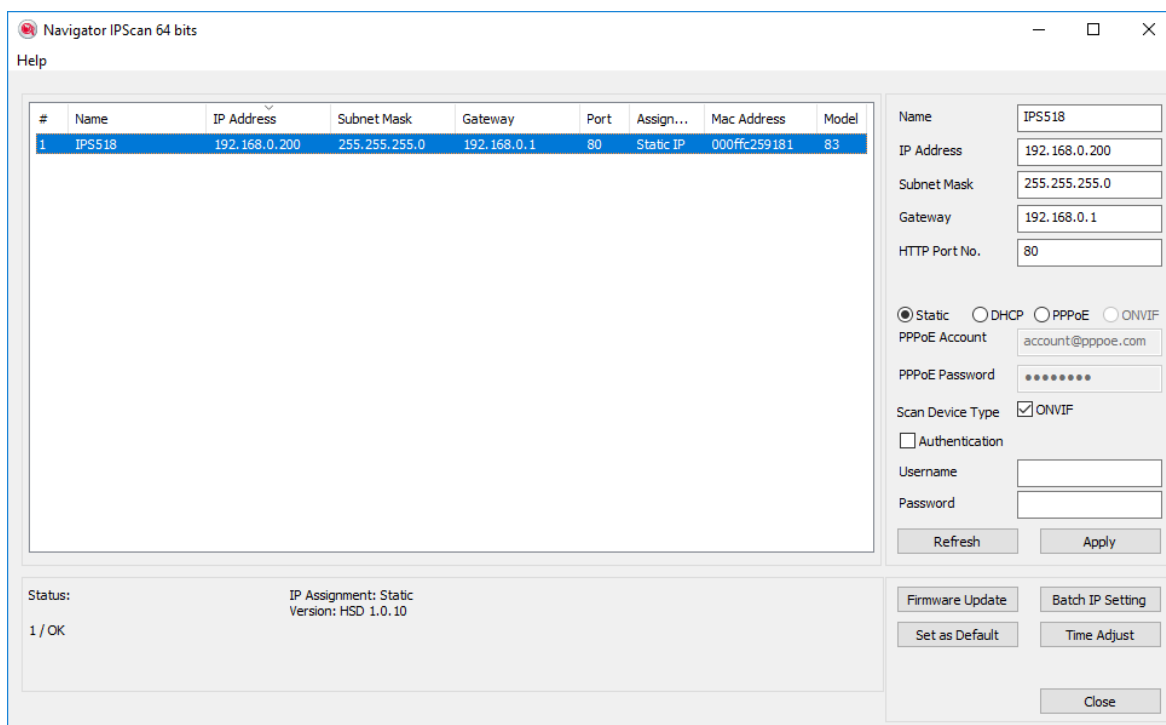
Obr. P1.7: Rozhraní pro nastavení a připojení kamery

Prvním krokem nastavení bylo přidání a založení nové skupiny zařízení, viz Obr. P1.7 vlevo nahoře a Obr. P1.8. V tomto případě byla vytvořena skupina kamer vedená pod názvem „Komora“.



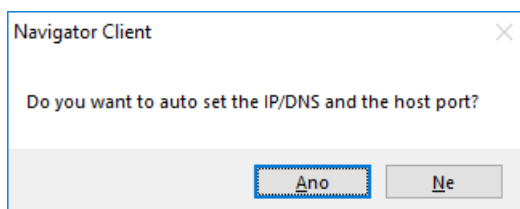
Obr. P1.8: Založení nové skupiny zařízení

Následovalo spuštění automatického skenování sítě za účelem nalezení připojených zařízení, resp. všech dostupných kamer. Funkce se aktivovala tlačítkem „IP Scan“, viz Obr. P1.7 vpravo dole. Náhled na spuštěné skenování je dostupný na Obr. P1.9.



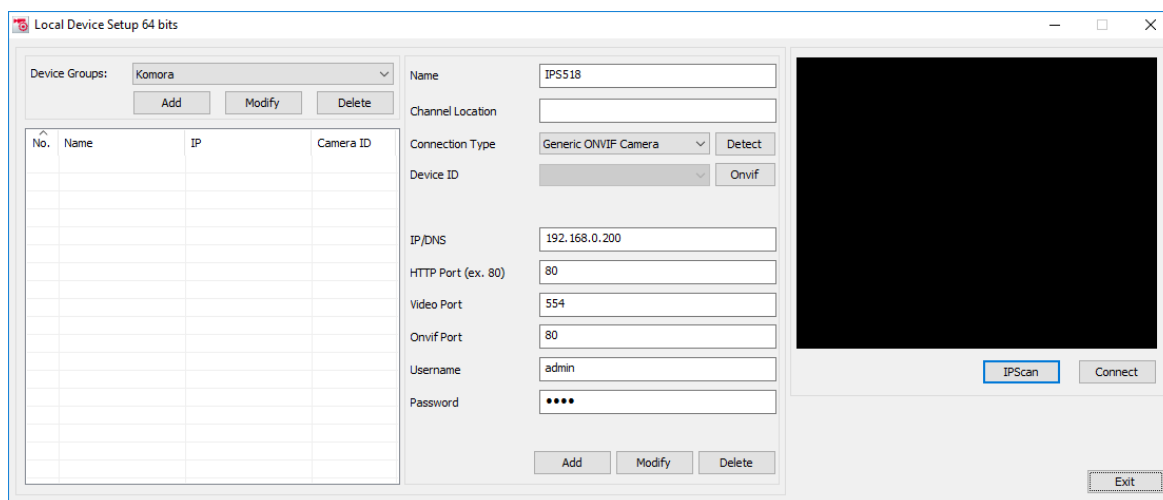
Obr. P1.9: Automatické skenování sítě a hledání připojených zařízení

Po nalezení všech zařízení, konkrétně připojené kamery viditelné pod názvem IPS518, a ukončení procesu hledání následovalo automatické nastavení IP adresy a DNS (Domain Name System) serveru, viz Obr. P1.10.



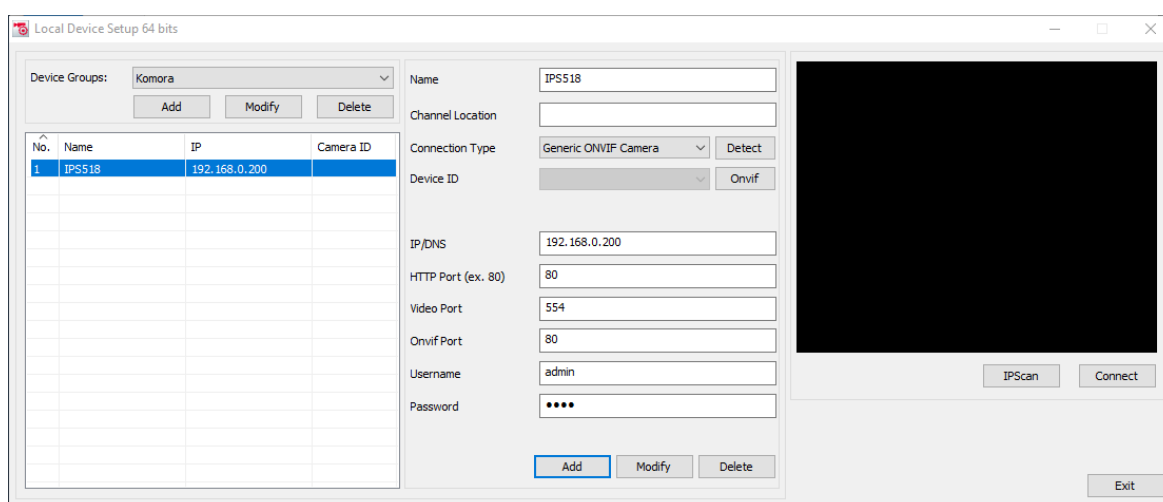
Obr. P1.10: Automatické nastavení IP adresy a DNS serveru

Zjištěné parametry z předchozího procesu skenování se postupně načítly do výchozího rozhraní „Local Device Setup“, viz Obr. P1.7. Na Obr. P1.11 lze vidět uvedené rozhraní po aktualizaci naskenovaných parametrů.

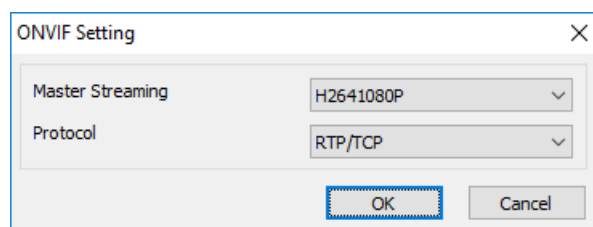


Obr. P1.11: Načtení parametrů kamery po dokončení skenování sítě

Dále bylo požadováno přiřazení nalezené kamery do vytvořené skupiny zařízení. K tomu účelu slouží funkce „Add“, viz Obr. P1.12 uprostřed dole. Software při tomto úkonu současně vyžadoval i potvrzení automaticky nastaveného formátu streamovaného videa, viz Obr. P1.13.

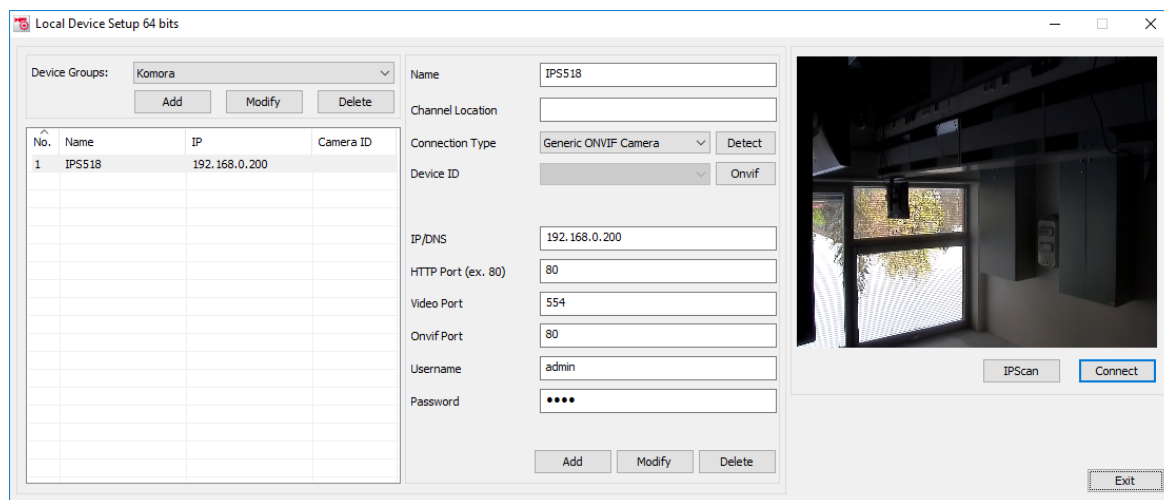


Obr. P1.12: Přidání kamery do vytvořené skupiny zařízení



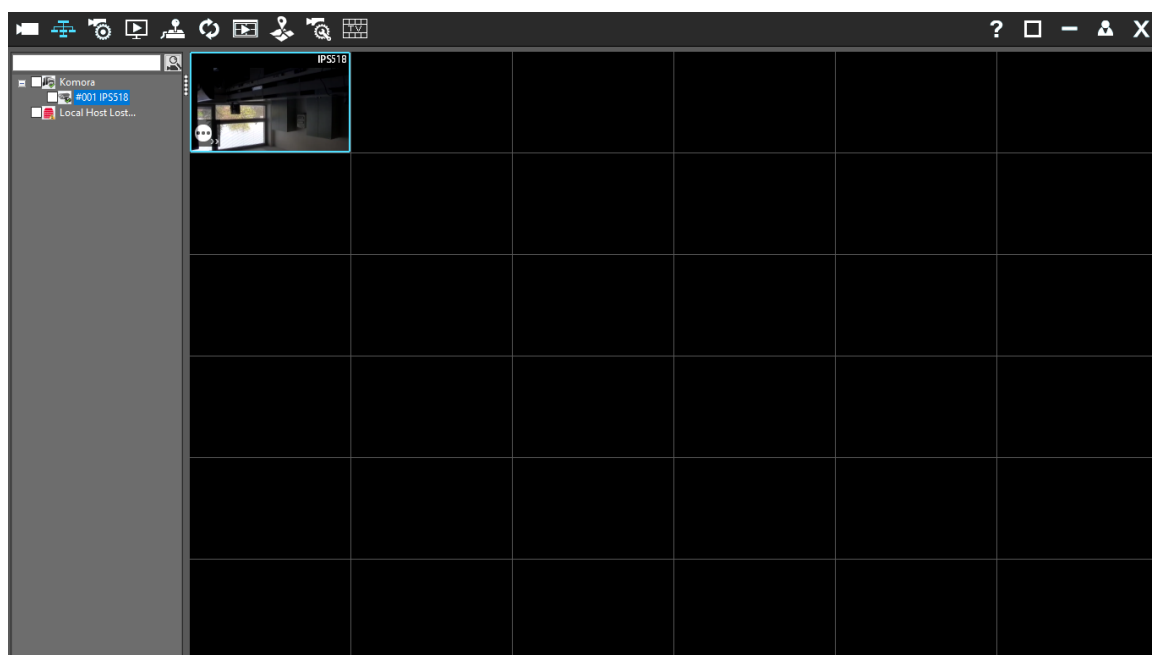
Obr. P1.13: Nastavení formátu streamovaného videa

Posledním krokem těchto nastavení bylo připojení na samotnou kameru, což bylo realizováno funkcí „Connect“, která je zvýrazněná na Obr. P1.14 vpravo dole. Po úspěšném připojení se zobrazil náhled na obraz z kamery.



Obr. P1.14: Připojení na kameru

Po ukončení rozhraní se software automaticky vrátil do hlavního uživatelského menu „Navigator Control Center“, viz Obr. P1.6, ve kterém bylo nutné vybrat nově nastavenou a připojenou kameru. K tomu účelu slouží funkce „Viewer Management“, která se nachází na Obr. P1.6 vlevo nahoře. Jejím cílem bylo zprostředkovat náhled na všechny obrazovky připojených kamer a umožnit jejich ovládání, resp. zajistit kompletní správu. Uživatelské prostředí této funkce v konfiguraci s přiřazenou kamerou je zobrazeno na Obr. P1.15.

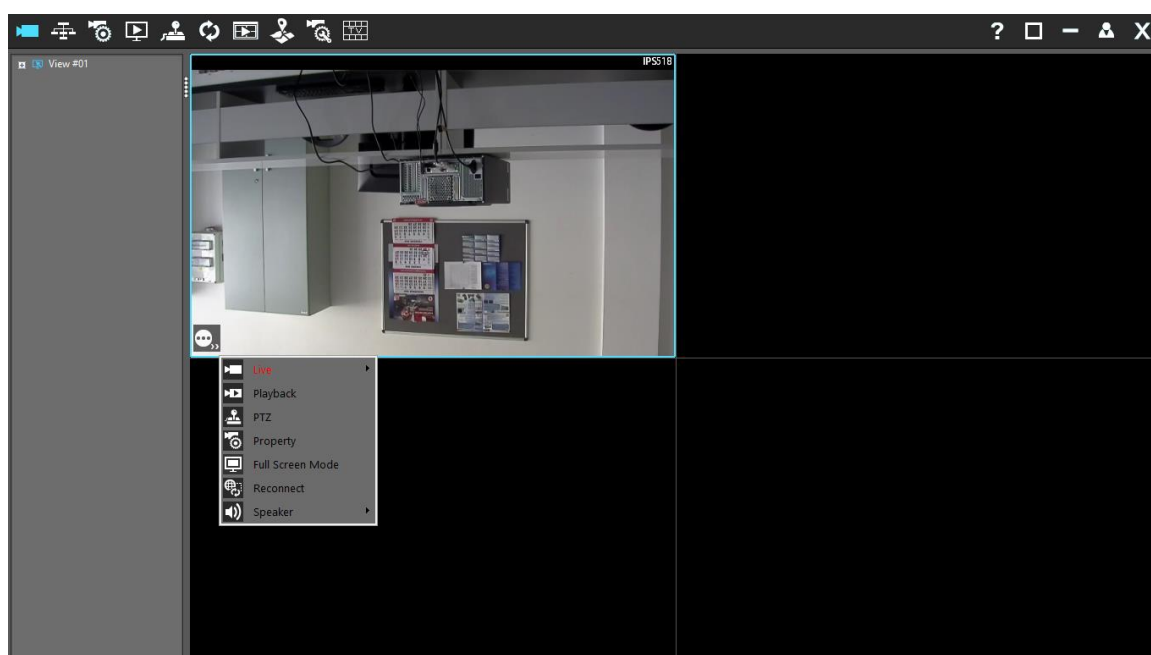


Obr. P1.15: Přehled všech připojených kamer

Kamera byla přidána na přehledovou obrazovku prostřednictvím funkce „Configure“, viz Obr. P1.15. V levé části okna se následně objevila dříve vytvořená skupina zařízení nazvaná „Komora“, která po rozbalení nabízí všechna její zařízení, v tomto případě se jednalo o kameru „#001 IPS518“. Kamera se označila a přetáhla pomocí myši na libovolnou přehledovou obrazovku, viz Obr. P1.15. Dokončení tohoto procesu vedlo k základní a funkční konfiguraci rozhraní „Viewer Management“ i softwaru LILIN Navigator Control Center 2.0.

Při spuštění i ukončení funkcí softwaru je vždy vyžadováno ověření uživatele pomocí přístupového hesla. Obraz z kamery je horizontálně převrácený o 180 °, protože kamera je určena pro instalaci na stropní konstrukce, tj. objektivem dolů.

Software po opětovném spuštění automaticky nabíhá do prostředí „Navigator Control Center“, viz Obr. P1.6. Pro správu kamery je využíván „Viewer Management“.



Obr. P1.16: Přehled základních funkcí v prostředí „Viewer Management“

„Viewer Management“ nabízí následující funkce, které jsou součástí horní programové lišty, viz Obr. P1.16:

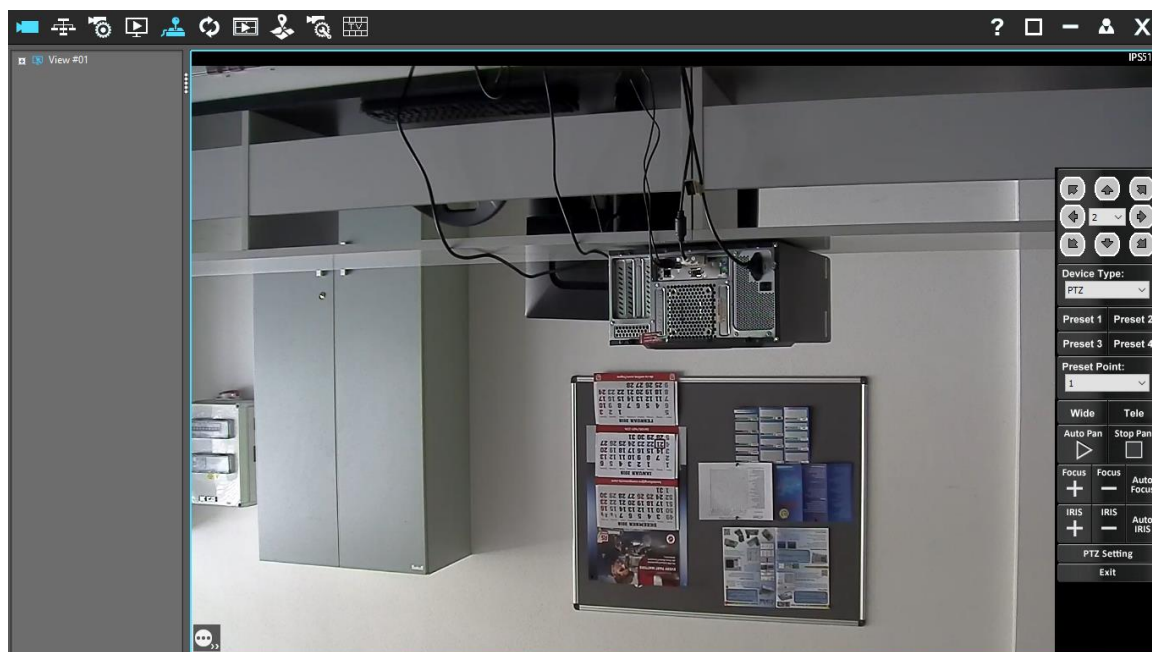
- Live (Živé vysílání video záznamu)
- Configure (Přiřazení nakonfigurovaných kamer)
- Live Properties (Volba počtu přehledových obrazovek)
- Remote Playback (Přehrávání z uloženého video záznamu)
- PTZ Control (Ovládací panel kamery)
- Refresh (Restart video obrazu)
- Playback (Přehrávání)
- eMap Center (Mapa pro rozmístění jednotlivých kamer)

- Device Settings (Nastavení zařízení)
- TV Wall (Konfigurace přehledové TV stěny)

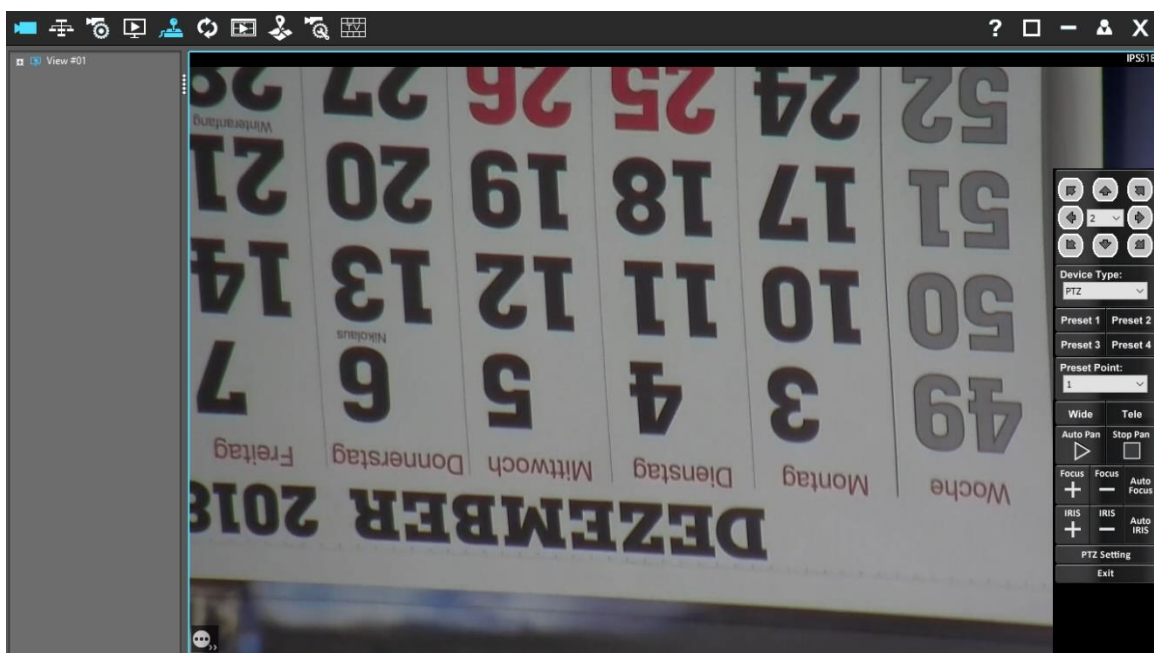
Některé funkce lze opakovaně vyvolat i kliknutím levého tlačítka myši na ikonu nacházející se v levém spodním rohu aktivní přehledové obrazovky, viz Obr. P1.16. Zobrazená nabídka je rozšířená o následující funkce:

- Full Screen Mode (Zobrazení videa přes celou obrazovku)
- Reconnect (Opětovné obnovení připojení ke kameře)
- Speaker (Ovládání zvuku)

Na Obr. P1.17 je uveden obraz z kamery přes celou obrazovku a příslušný ovládací panel, který lze vidět na obrázku vpravo. Horní část panelu slouží pro směrové ovládání kamery, resp. jejího objektivu, včetně rychlosti otáčení a náklonu. Následuje možnost konfigurace rychlých předvoleb, tj. předdefinování nejpoužívanějších funkcí na tlačítka 1 až 4 pro přímou volbu. K tomu účelu slouží funkce nastavení PTZ (Pan, Tilt and Zoom), která se nachází ve spodní části panelu. Pole uvedená níže slouží pro nastavení přiblížení, zaostření a clony.



Obr. P1.17: Detail obrazu z jedné kamery a příslušného ovládacího panelu

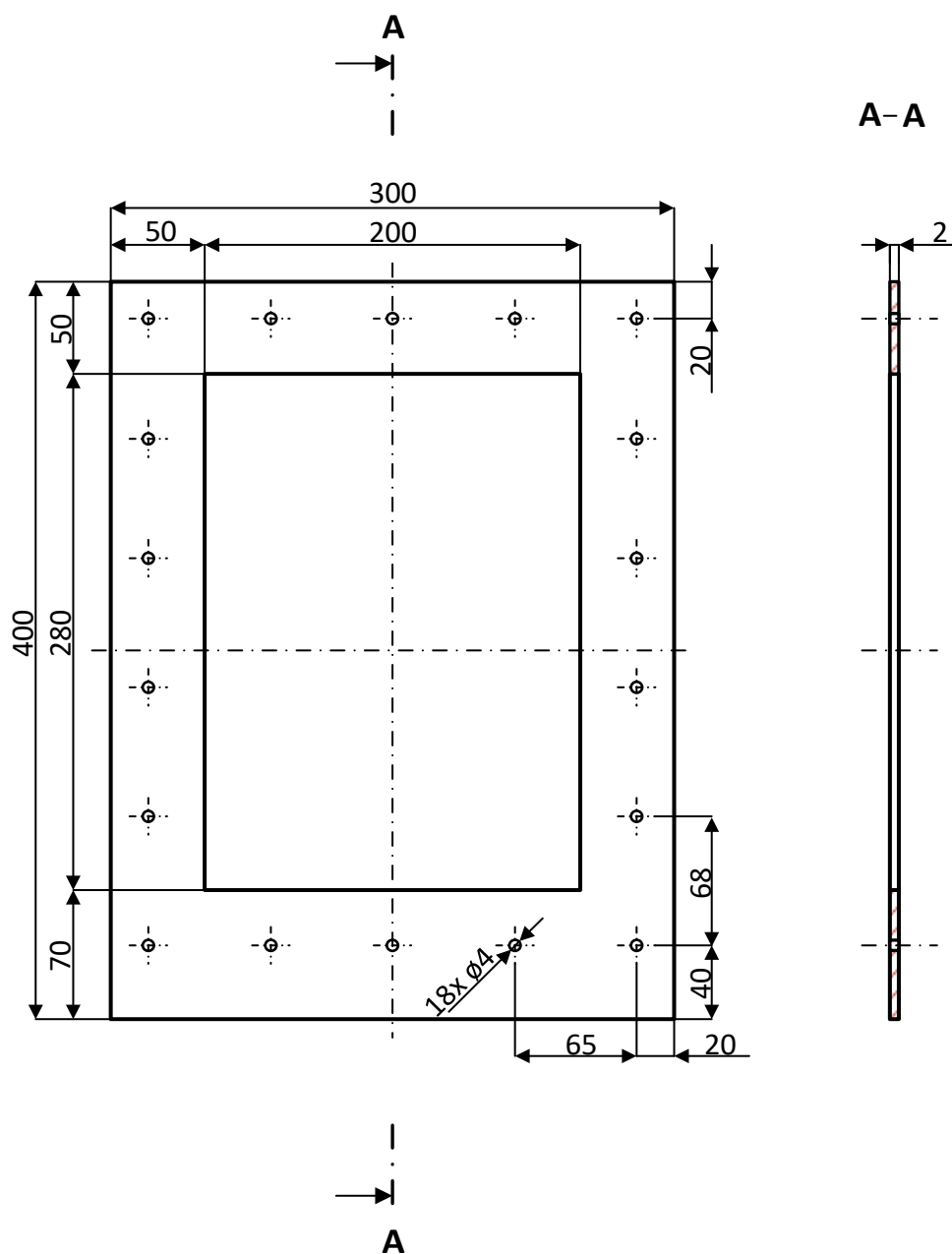


Obr. P1.18: Test optického zoomu

Na Obr. P1.18 je ukázka z testu správné funkce optiky, konkrétně přiblížení s využitím automatického zaostření. Cílem byl kalendář nacházející se na protější stěně měřicího pracoviště.

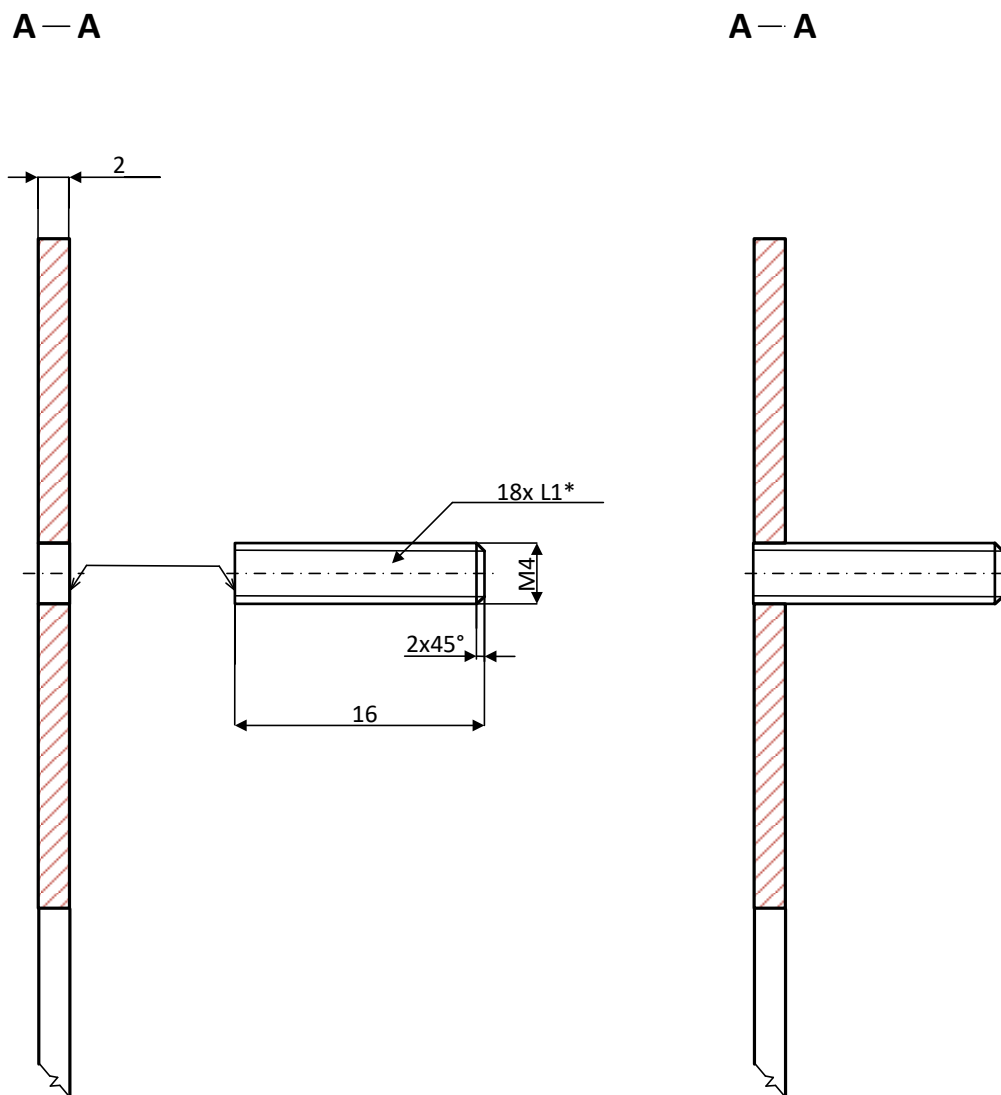
PŘÍLOHA P2: Návrh konstrukce šasí SK – V1

Návrh základní konstrukce stínícího krytu SK – V1 vycházel z informací uvedených v kap. 6.1, 6.1.1, 6.1.2 a 6.1.3. Vzhledem k tomu, že některé části konstrukce vyžadovaly dodatečnou úpravu a osazení příslušnými díly, bylo vhodné návrh konstrukce SK – V1 rozdělit na jednotlivé prvky, konkrétně stěny. Odpovídající konstrukční návrhy jsou ukázány na Obr. P2.1 až Obr. P2.7. Uvedené rozměry jsou v mm. Šasí stínícího krytu vzniklo kompletací jednotlivých stěn konstrukce a jejich následným spojením pomocí sváření, viz Obr. P2.8.



Obr. P2.1: Přední stěna SK – V1

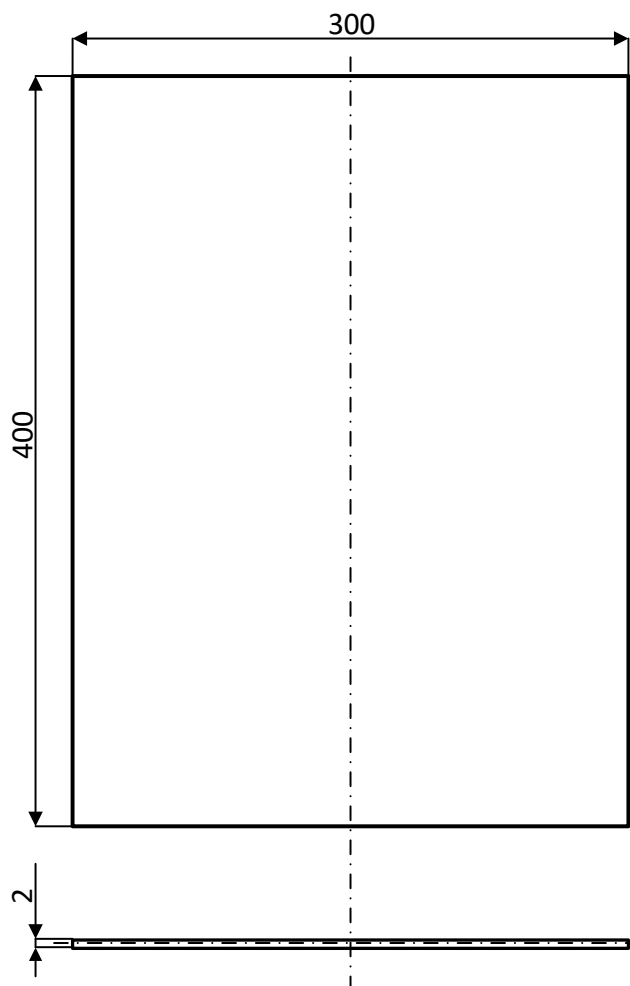
Na Obr. P2.1 je ukázána přední stěna konstrukce SK – V1, včetně řezu. Pro výrobní dokumentaci byl tento prvek konstrukce označen jako *PS* a je součástí výkresu číslo *PS – 1/2*. Na přední stěně se nachází víceúčelový otvor, viz kap. 6.1.3. Za účelem instalace průhledového rámečku, viz příloha P3, byla stěna opatřena 18 otvory pro osazení závrtnými nerezovými šrouby M4 x 16 mm. Velikost šroubů a jejich rozložení, resp. rozteče byly navrženy s ohledem na proveditelnost výroby, konkrétně na požadovanou spojovací technologii sváření, viz kap. 6.1.1.



* L1 ... 18x Závrtný nerezový šroub M4 x 16

Obr. P2.2: Osazení přední stěny SK – V1

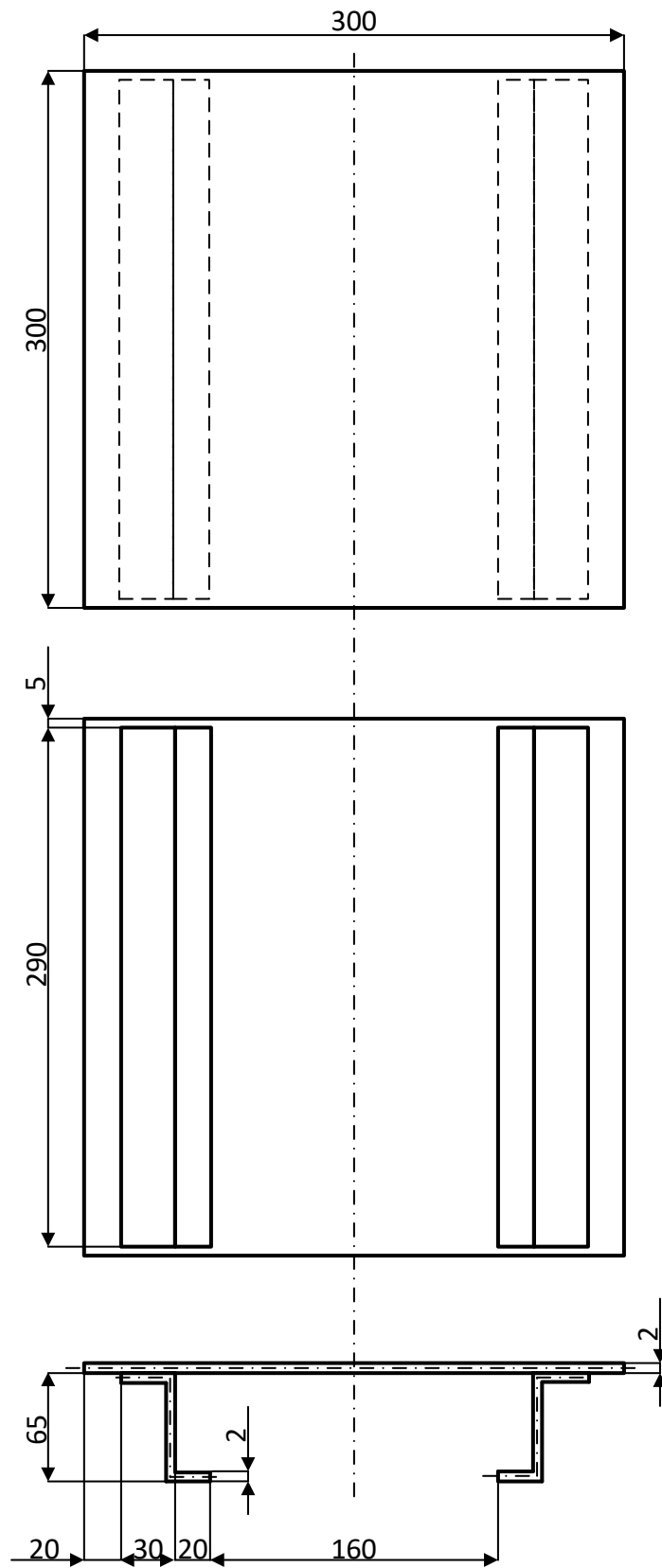
Na Obr. P2.2 lze vidět detail na osazení přední stěny závrtnými šrouby. Uvedená kompletace stěny má výrobní označení *PS – O* a je součástí výkresové dokumentace *PS – 2/2*. Vzniklé nerovnosti během svařování byly vybroušeny do roviny s plochou stěny.



Obr. P2.3: Levá, pravá a zadní stěna SK – V1

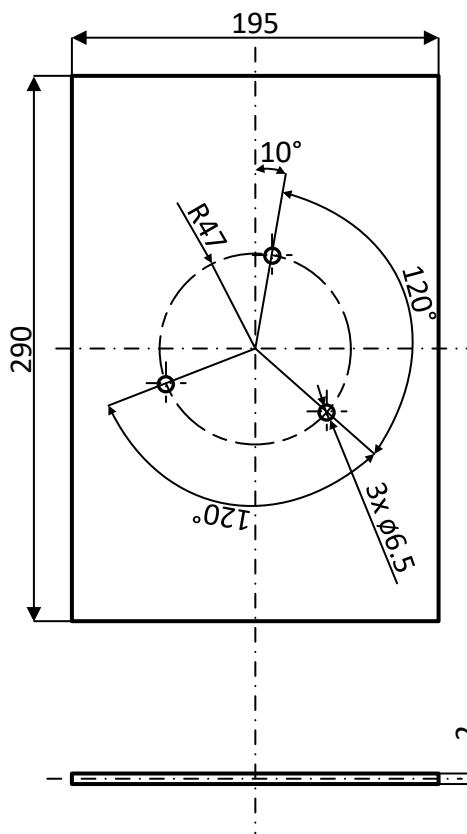
Na Obr. P2.3 jsou uvedeny rozměry, které současně platí pro levou, pravou boční stěnu i zadní stěnu stínícího krytu SK – V1. Pracovní označení pro výrobu těchto prvků konstrukce je *L – P – Z* a jsou součástí výkresu číslo *L – P – Z – 1/1*.

Na Obr. P2.4 se nachází návrh konstrukce horní stěny SK – V1. Tento díl byl osazen pomocí svářeného spoje dvěma Z profily, které byly vyrobeny ohýbáním plechu ze stejného materiálu. Profily slouží na instalaci nosné konstrukce pro tělo kamery MERIT LILIN - IPS5184S. Instalace funguje na principu dvou ližin, po kterých se nosná část včetně kamery zasouvá do stínícího krytu SK – V1. Systém zásuvného modulu umožňuje i snadnou montáž kamery v rámci uvedeného krytu.



Obr. P2.4: Horní stěna SK – VI

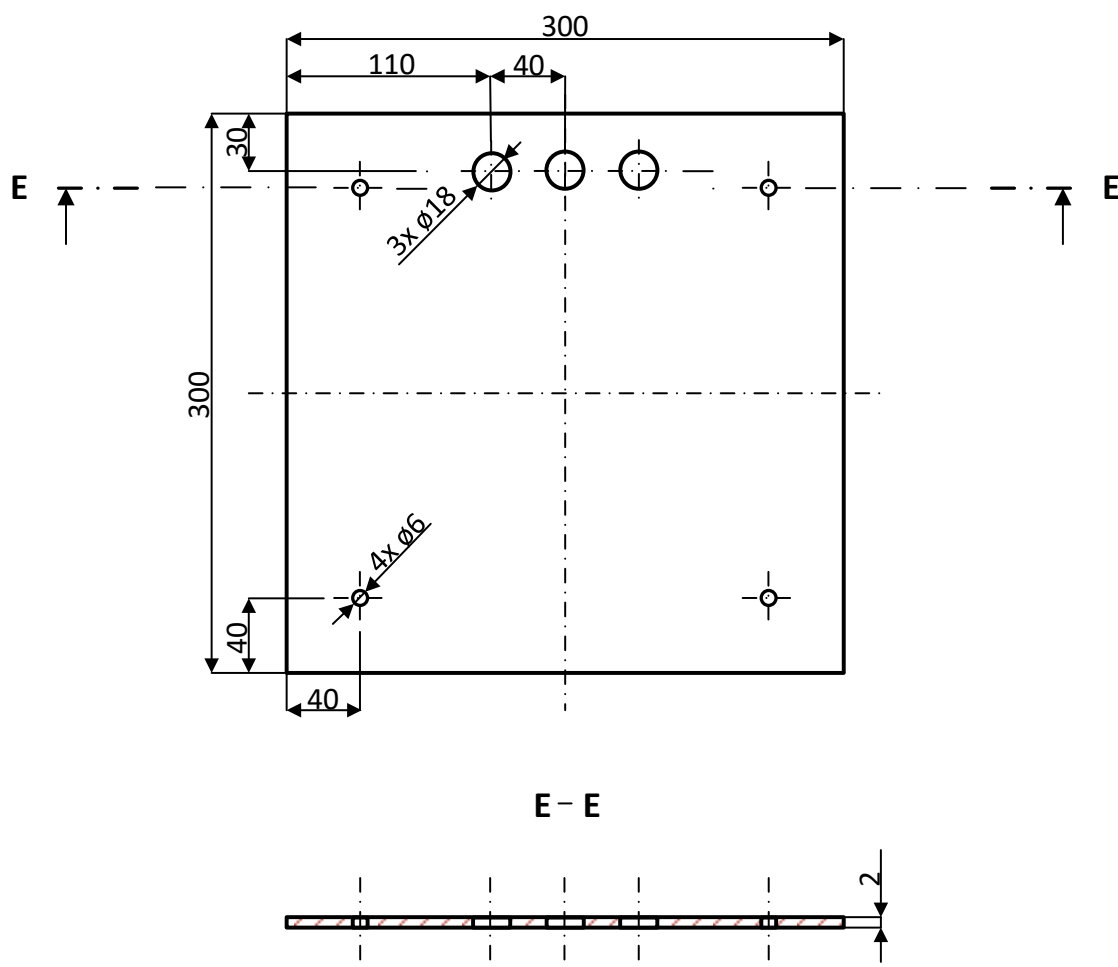
Instalace kamery pomocí šroubových spojů přímo uvnitř stínícího krytu nebyla vhodným řešením. SK – V1 vzhledem k celkovým rozměrům kamery a její odpovídající hmotnosti neumožňuje pro montáž dostatečný prostor. Označení tohoto dílu je *H* a je součástí výkresu *H – 1/1*.



Obr. P2.5: Podstava pro kameru

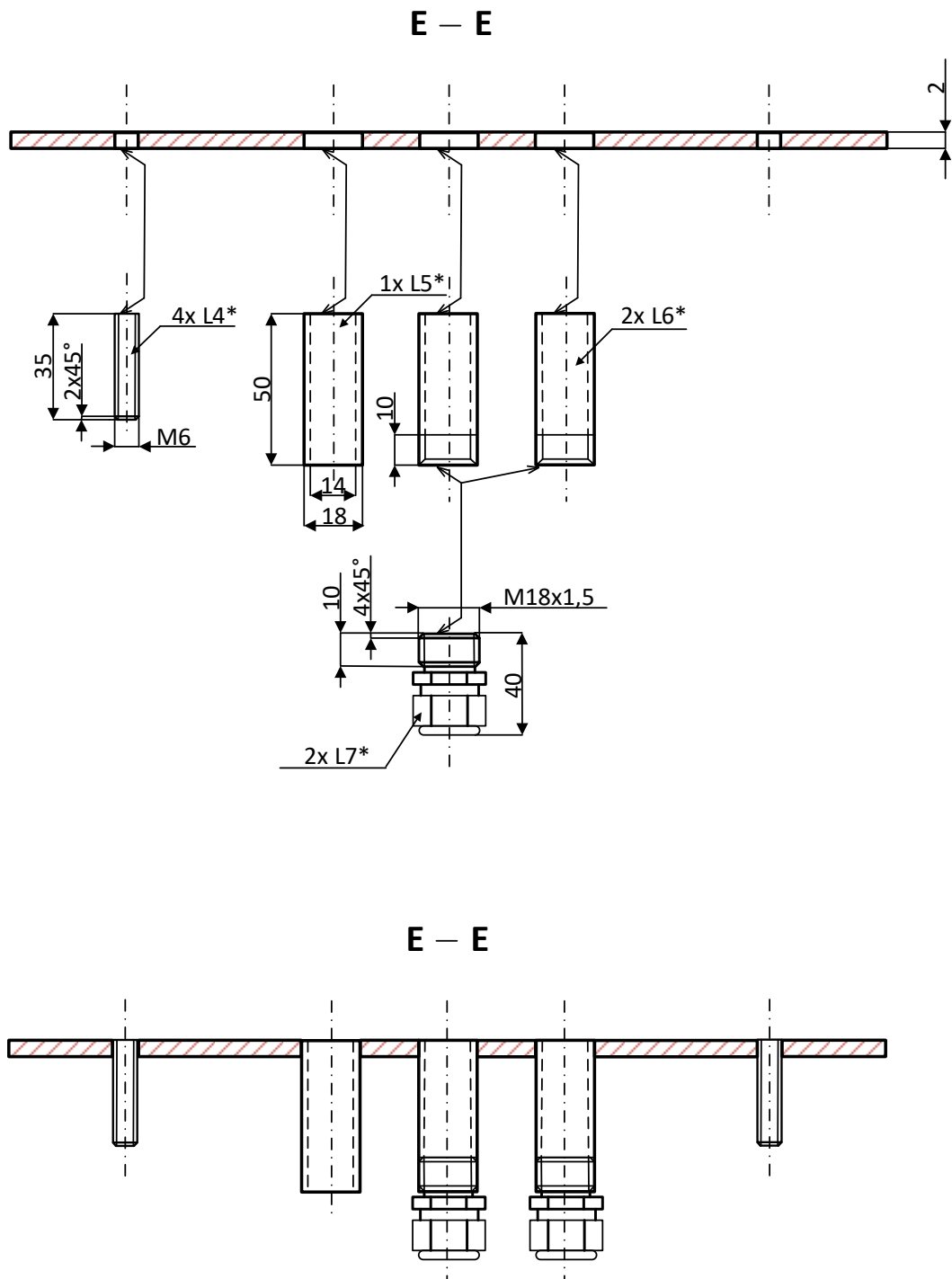
Jak již bylo uvedeno, podstava zobrazená na Obr. P2.5 slouží jako nosná konstrukce pro kameru, která mimo jiné umožňuje i její mobilitu nebo výměnu v případě poruchy. Zobrazené otvory a jejich rozteče odpovídají požadavkům pro šroubovou montáž kamery. Podstava byla vyrobena ze stejného materiálu jako konstrukce SK – V1. Tento díl je označen jako *P – KAM* a je součástí výkresu číslo *P – 1/1*.

Na Obr. P2.6 lze vidět návrh konstrukce spodní stěny SK – V1, včetně řezu. Stěna byla opatřena čtyřmi otvory na závrtné nerezové šrouby M6 x 35 mm pro šroubovou montáž stínícího krytu na nosnou konstrukci, viz příloha P4. Dále stěna obsahuje tři otvory určené pro osazení průchodnými vlnovody z nerezové oceli pro instalaci napájecího a datového vedení kamerového systému, viz kap. 6.1.2.



Obr. P2.6: Spodní stěna SK – VI

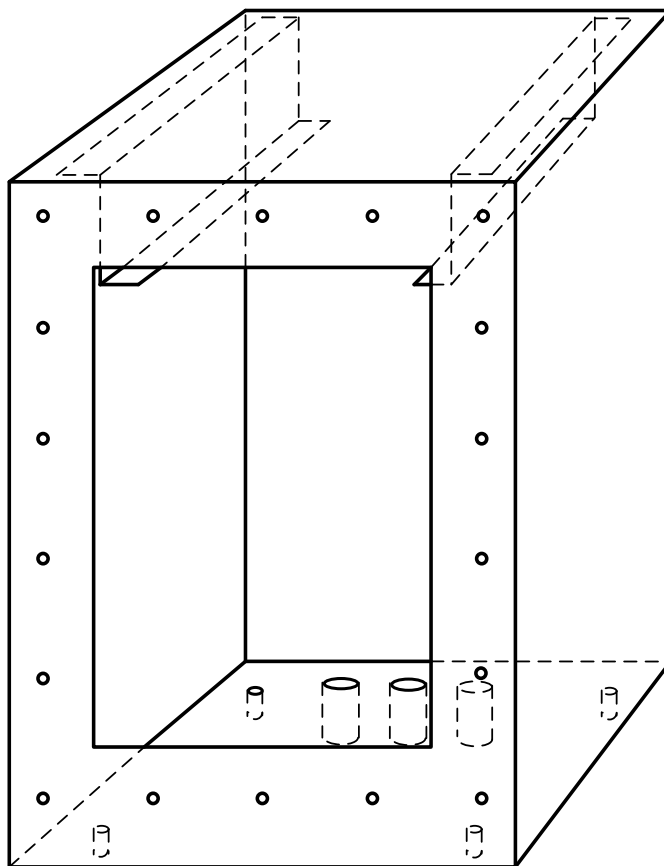
Stejně jako u konstrukce přední stěny bylo použito nerozebíratelného spojení pomocí sváření. Pro zadávací dokumentaci je uvedený konstrukční prvek označen jako *S* a je součástí výkresu číslo *S – 1/2*. Detail řezu spodní stěny, včetně jejího osazení, je zobrazen na Obr. P2.7. Tato část návrhu je označena *S – 0* a příslušný výkres *S – 2/2*. Na obrázku lze vidět, že první průchodný vlnovod je bez dodatečných úprav, které vzhledem k jeho účelu nebyly nutné. Slouží pouze pro instalaci datového vedení, resp. dvou optických vláken ukončených konektory typu SC, viz kap. 5.1. Zbývající dva vlnovody byly opatřeny vnitřním závitem pro montáž kabelových vývodků WISKA - MMSKV 18 EMV-Z. Jejich konstrukční řešení je ukázáno v kap. 6.4.1, Obr. 6.16. Nutné je zmínit, že vývodky vyžadovaly metrický závit s jemným stoupáním, konkrétně M18 x 1,5 mm.



- * L4 ... 4x Závrtný nerezový šroub M6 x 35
- * L5 ... 1x Vlnovod z nerezů bez vývodky
- * L6 ... 2x Vlnovod z nerezů se závitem pro vývodku
- * L7 ... 2x Kabelová vývodka MMSKV 18 EMV-Z

Obr. P2.7: Osazení spodní stěny SK – VI

Na Obr. P2.8 je ukázán náhled na celkovou konstrukci šasi stínícího krytu SK – V1. Stěny byly zkompletovány a spojeny pomocí sváření.

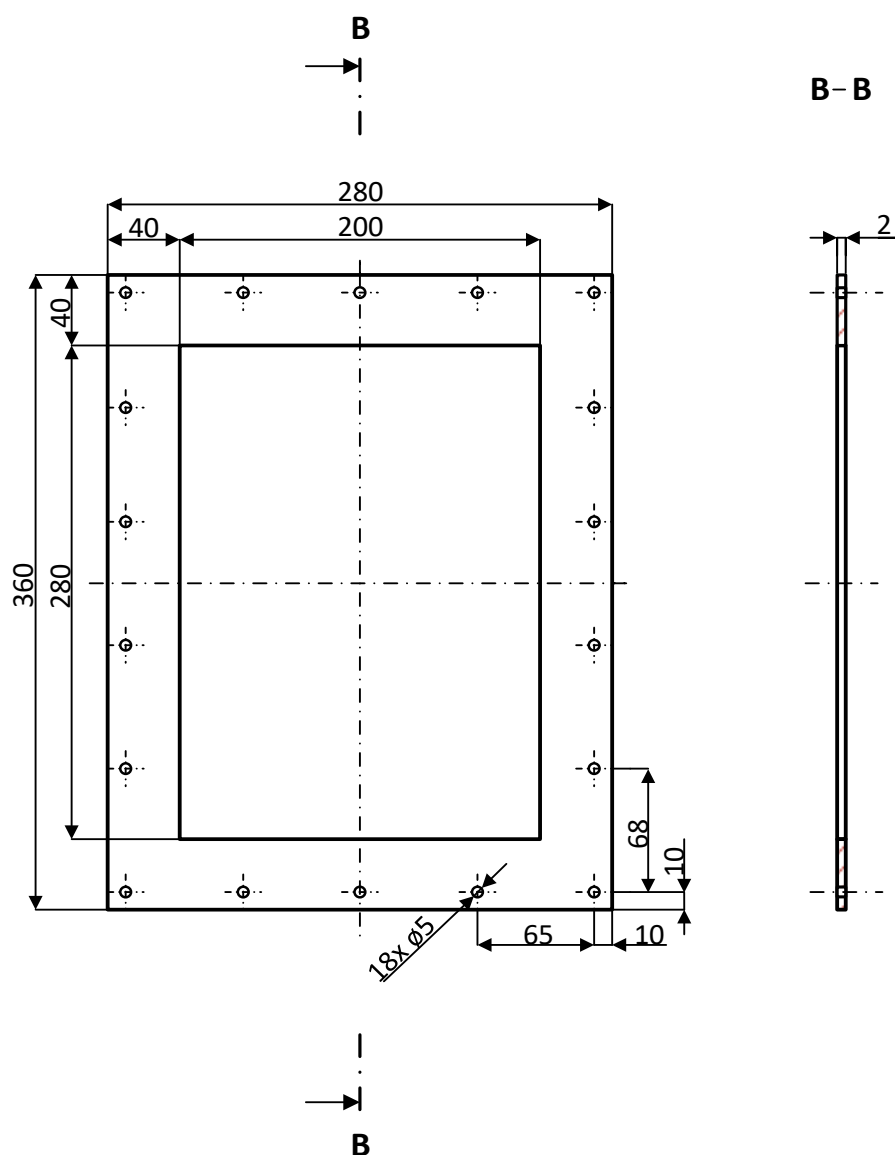


Obr. P2.8: Návrh základní konstrukce, tj. šasi stínícího krytu SK – V1

Popisovaná část konstrukce je pro výrobu označena jako SK – V1 – K a je součástí zadávacího výkresu SK – V1 – 1/2. Z Obr. P2.8 je patrné, že víceúčelový otvor nacházející se na přední stěně SK – V1 je odsazen od spodní hrany směrem nahoru. Důvodem bylo plánované rozložení kamerového systému uvnitř SK – V1, konkrétně ve spodní části stínícího krytu byl instalován převodník AT-MC102XL.

PŘÍLOHA P3: Návrh konstrukce průhledového rámečku

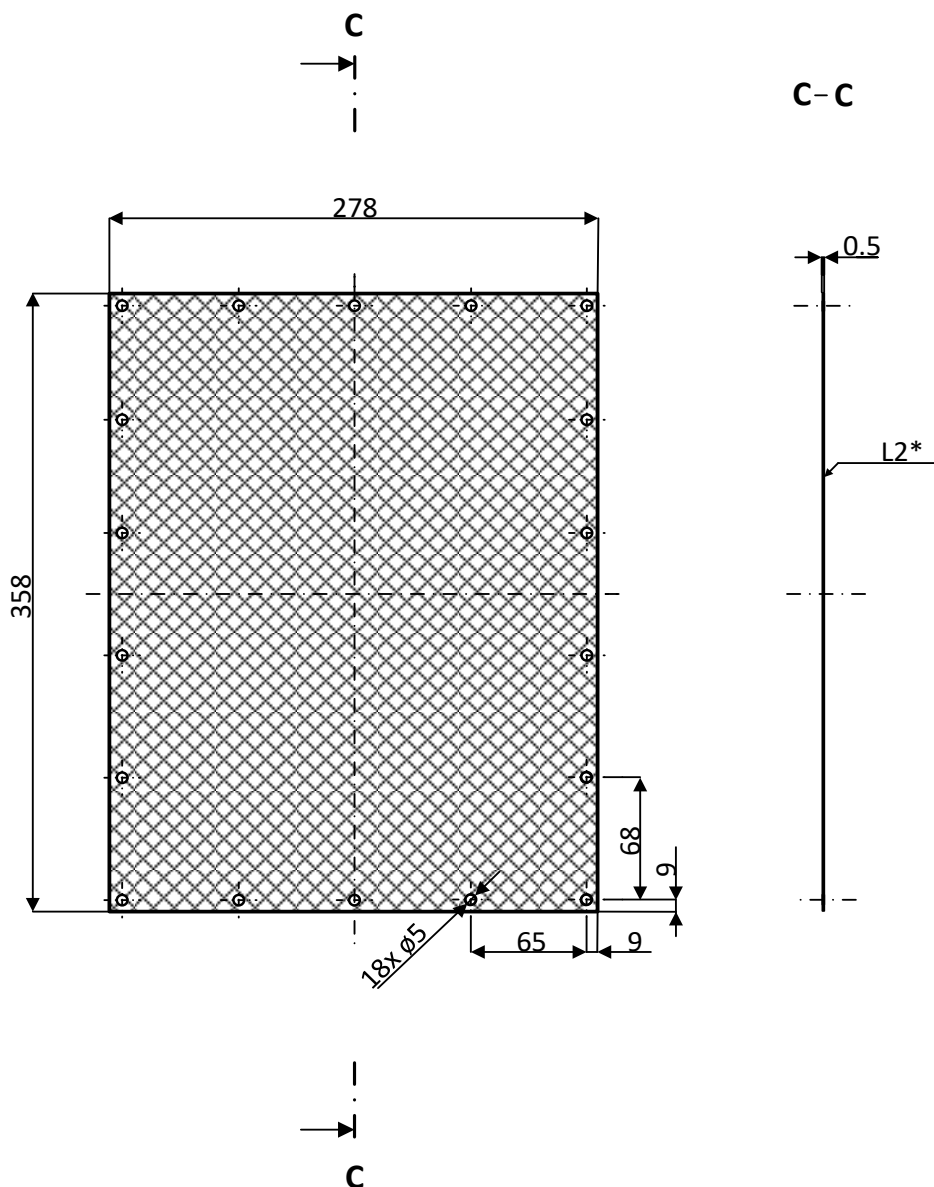
Návrh konstrukce průhledového rámečku stínícího krytu SK – V1 určeného pro kameru MERIT LILIN - IPS5184S se skládá z nosného rámu a technické tkaniny, viz kap. 6.1.3. Návrhy jednotlivých konstrukčních prvků jsou ukázány na Obr. P3.1 a Obr. P3.2. Uvedené rozměry jsou v mm. Výsledný komponent vznikl spojením těchto dílů konstrukce pomocí nerozebíratelných nýtových spojů, viz Obr. P3.3, a následně byl instalován na přední stěnu stínícího krytu SK – V1, viz Obr. P3.4.



Obr. P3.1: Spodní a horní díl nosné konstrukce rámu

Na Obr. P3.1 je uveden spodní i horní díl nosné konstrukce rámu, včetně řezu. Rám byl realizován pomocí dvou identických dílů vyrobených z plechu

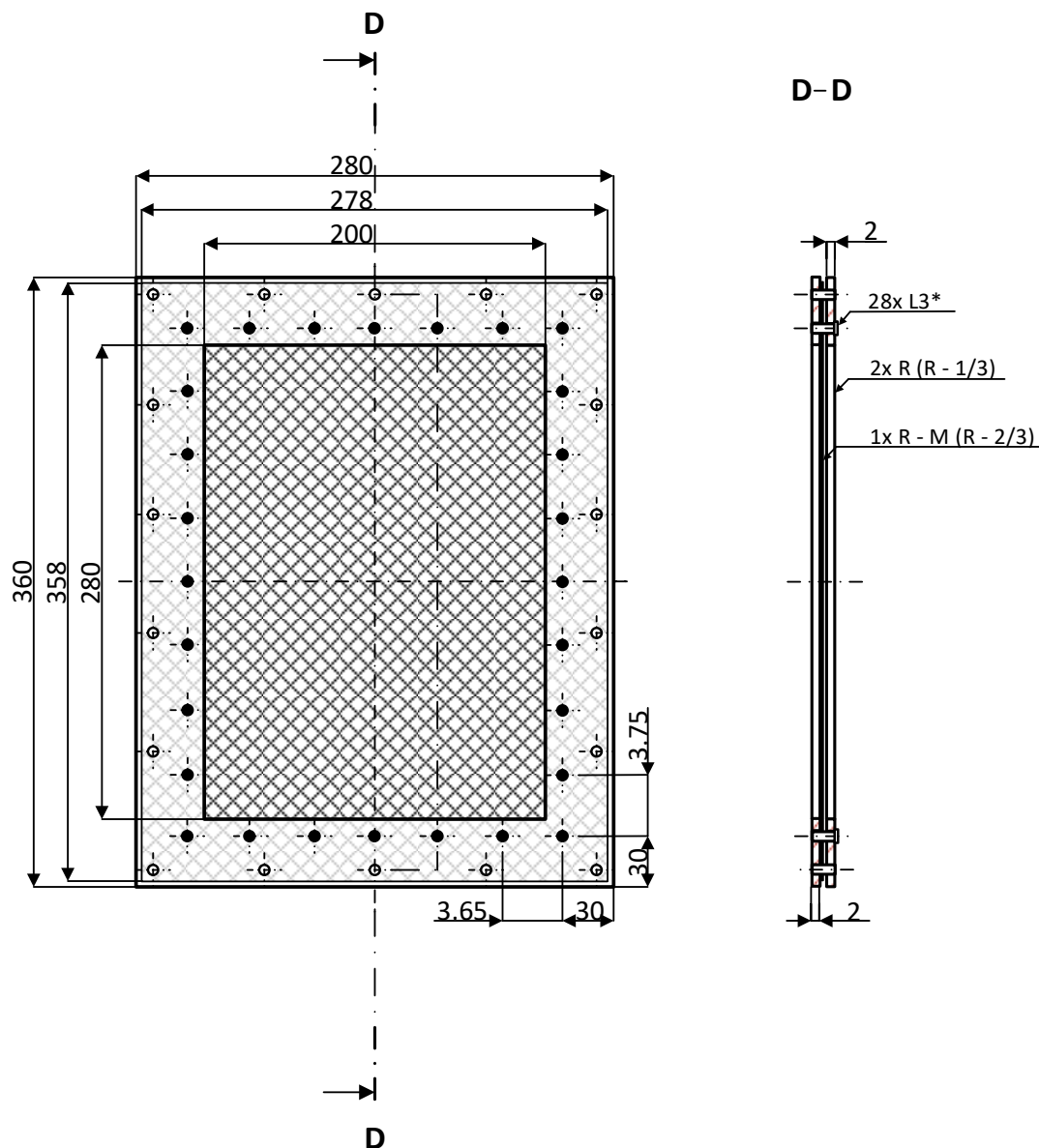
z nerezové oceli o tloušťce 2 mm. Mezi tyto konstrukční prvky byla vložena mřížka z technické tkaniny, která tvoří průhledovou část rámu. Označení dílů je R a nachází se na výkresové dokumentaci číslo $R - 1/3$. Na obou dílech byly navrženy otvory pro šroubové spoje, konkrétně pro závrtné šrouby, které jsou součástí přední stěny SK – V1, viz Obr. P2.1 a Obr. P2.2 v příloze P2. Instalace komponentu na předmětnou stěnu SK – V1 vyžadovala vysokou přesnost vrtání, proto otvory byly vyvrtány až po kompletaci celého rámu, včetně jeho průhledové části. Otvory musely mít dostatečnou vůli vůči závrtným šroubům, aby nedocházelo během instalace k nežádoucí deformaci rámu.



* L2 ... Technická tkanina TT-0.630-0.25-1.4401-1000
(šířka ok 0.63 mm a ϕ drátů 0.25 mm)

Obr. P3.2: Technická tkanina pro průhledovou část rámu

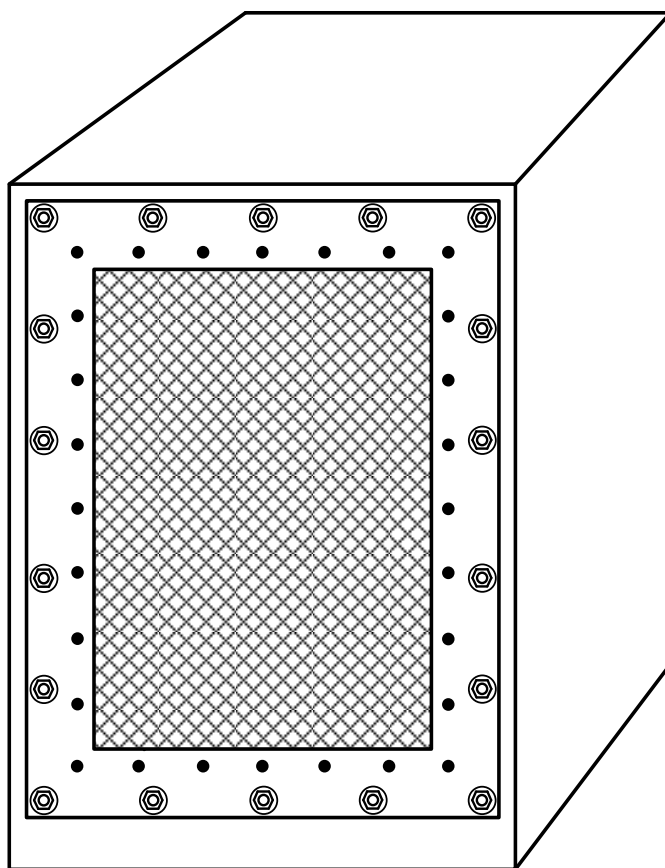
Na Obr. P3.2 lze vidět návrh úprav technické tkaniny TT-0,630-0,25-1.4401-1000, včetně řezu. Tkanina byla vyrobena z drátů z nerezové oceli o průměru 0,25 mm, které tvoří mřížku s oky ve tvaru čtverce o světlé šířce 0,63 mm, viz kap. 6.1.4. Uvedený díl je v zadávací dokumentaci označen jako *R – M* a je součástí výkresu číslo *R – 2/3*.



* **L3** ... 28x Uzavřený nerezový nýt s plochou hlavou
(\varnothing 2 mm x 7 mm)

Obr. P3.3: Průhledový rámeček stínícího krytu SK – VI

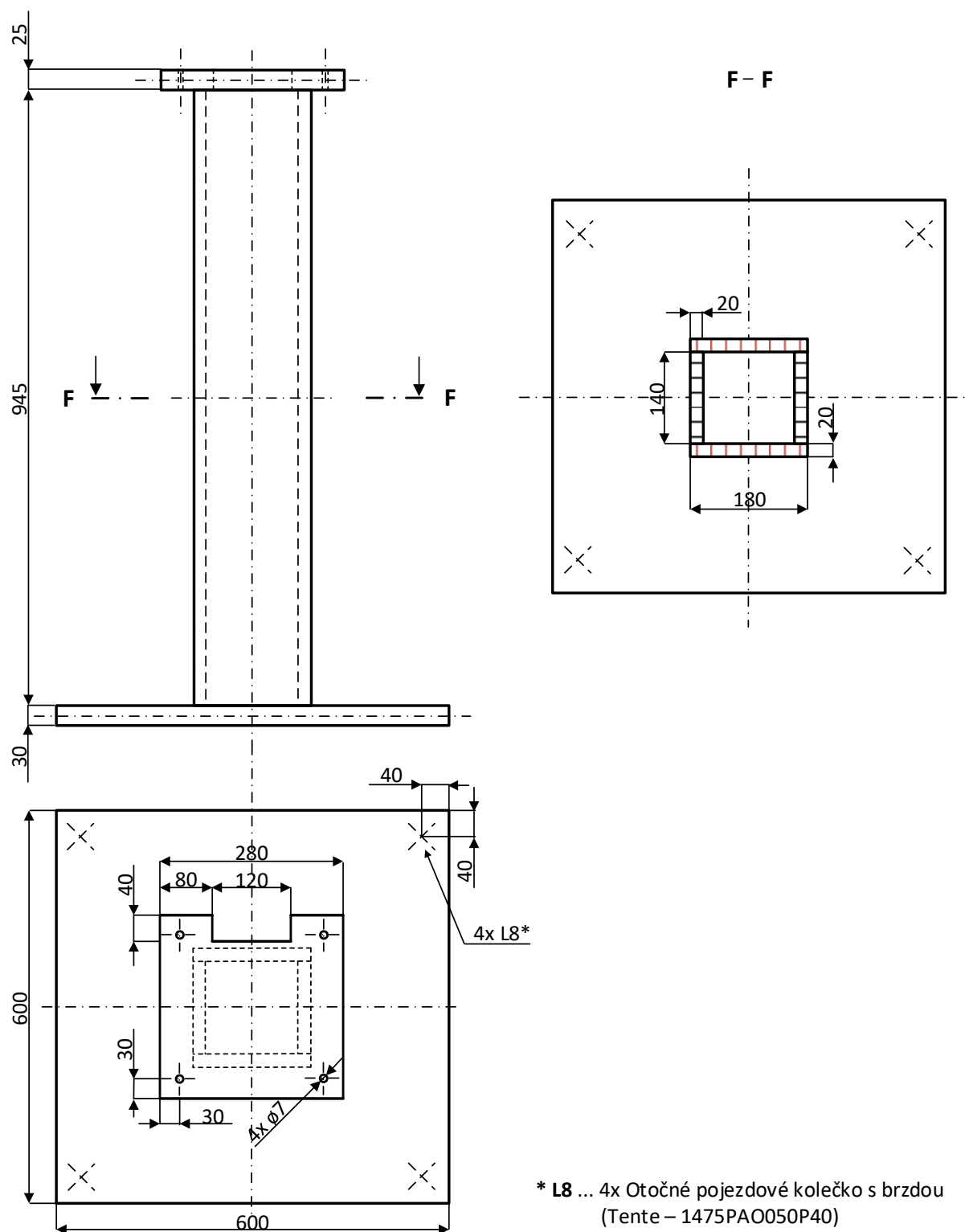
Na Obr. P3.3 je zobrazen výsledný průhledový rámeček stínícího krytu SK – V1 určený pro kameru, včetně řezu. Komponent vznikl kompletací jednotlivých dílů nosné konstrukce rámu a technické tkaniny prostřednictvím nerozebíratelných spojů, konkrétně pomocí uzavřených nerezových nýtů s plochou přípěrnou hlavou. Závěrné hlavy vytvořené nýtováním byly zapuštěny do spodního dílu rámu a zabroušeny do roviny s jeho plochou. Z bezpečnostních důvodů technická tkanina nepřesahuje vnější rozměry rámu. Velikost a počet nýtů byly zvoleny s ohledem na realizovatelnost výroby. Díl nese označení $R - K$ a je součástí výkresu číslo $R - 3/3$. Průhledový rámeček byl následně instalován na přední stěnu krytu SK – V1, viz příloha P2, Obr. P2.8, pomocí šroubových spojů a těsnění LAIRD – FOF 4522-AB-51K-01910, viz kap. 6.1.3.



Obr. P3.4: Návrh konstrukce stínícího krytu SK – V1

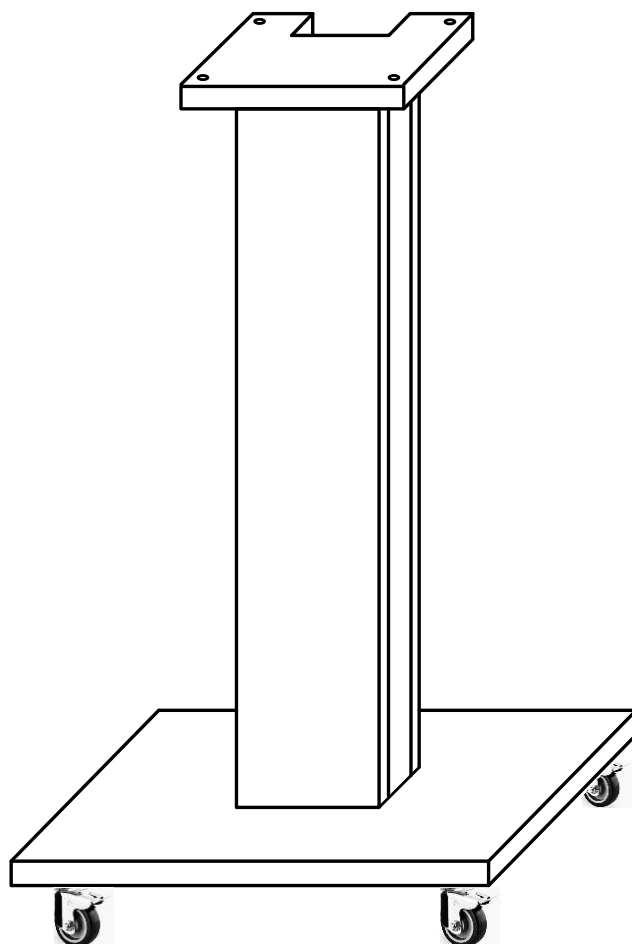
Na Obr. P3.4 lze vidět celkový návrh konstrukce stínícího krytu SK – V1, včetně průhledového rámečku určeného pro kameru. Označení uvedeného prototypu pro výrobu je SK – V1 a číslo odpovídajícího výkresu je SK – V1 – 2/2.

PŘÍLOHA P4: Návrh nosné konstrukce pro SK – V1



Obr. P4.1: Rozměry a řez nosné konstrukce

Na Obr. P4.1 je zobrazen návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1, včetně řezu. Konstrukce je označena jako *NK* a je součástí výrobní dokumentace vedené pod číslem *NK – 1/1*. Návrh vycházel z kap. 6.1.6 a uvedené rozměry jsou v mm. Z obrázku je patrné, že nosná konstrukce se skládá ze tří částí, konkrétně z podstavy pro stínicí kryt, nosného sloupu a podstavy tvořící základnu pro celou konstrukci a podvozek. Spoje mezi jednotlivými díly konstrukce byly realizovány pomocí lepení a dřevěných kolíků. Z rozměrů konstrukce je zřejmá její robustnost. Cílem byla především stabilita konstrukce a s tím související i minimální riziko úrazu nebo materiálních škod způsobených během manipulace s konstrukcí. Návrh otvorů, které jsou součástí podstavy určené pro instalaci stínicího krytu, vycházel z parametrů jeho spodní stěny, viz příloha P2, Obr. P2.6 a Obr. P2.7. Montáž krytu na nosnou konstrukci byla provedena pomocí šroubových spojů.



Obr. P4.2: Návrh nosné konstrukce pro stínicí kryt SK – V1

Na Obr. P4.2 je ukázán náhled na nosnou konstrukci pro stínící kryt SK – V1, včetně podvozku. Pracovní označení nosné konstrukce je *NK – SK – V1* a je součástí výkresové dokumentace *NK – SK – 1/1*. Podvozek tvoří otočná pojezdová kolečka s brzdou, konkrétně 1475PAO050P40 od společnosti TENTE. Kolečka jsou vhodná pro přístrojové vybavení i jejich nosné konstrukce. Statická nosnost koleček byla výrobcem stanovena na 80 kg, průměr je 50 mm a šířka běhounu 19 mm [65]. S ohledem na povrch podlahy v bezodrazové stíněné komoře, viz kap. 4, byl vybrán běhoun z polyuretanu, který je určen pro tvrdé podlahy. Kolečka byla instalována na základnu nosné konstrukce pomocí pozinkovaných vrtů 6 x 25 mm určených do dřeva. Rozmístění koleček je patrné z Obr. P4.1. Další variantou bylo použít kolečka chránící citlivé přístroje před elektrostatickým výbojem od společnosti TRESTON, ale vzhledem k povaze materiálu nosné konstrukce by uvedené řešení nemělo zásadní význam a pouze navýšilo pořizovací cenu konstrukce.

PŘÍLOHA P5

Výsledky měření zatěžovacích charakteristik zdrojů

Tab. P5.1: Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky zdroje LRS-35-12

Č. m.	I_{Z_DC} [A]	U_{S_DC} [V]	Č. m.	I_{Z_DC} [A]	U_{S_DC} [V]
1	0,0	12,11	16	1,6	11,90
2	0,1	12,10	17	1,7	11,89
3	0,2	12,09	18	1,8	11,88
4	0,3	12,07	19	1,9	11,87
5	0,4	12,06	20	2,0	11,86
6	0,5	12,05	21	2,1	11,85
7	0,6	12,03	22	2,2	11,83
8	0,7	12,02	23	2,3	11,82
9	0,8	12,01	24	2,4	11,81
10	0,9	12,00	25	2,5	11,80
11	1,1	11,98	26	2,6	11,78
12	1,2	11,97	27	2,7	11,77
13	1,3	11,96	28	2,8	11,76
14	1,4	11,94	29	2,9	11,75
15	1,5	11,93	30	3,0	11,74

Tab. P5.2: Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky zdroje PSACH 04244

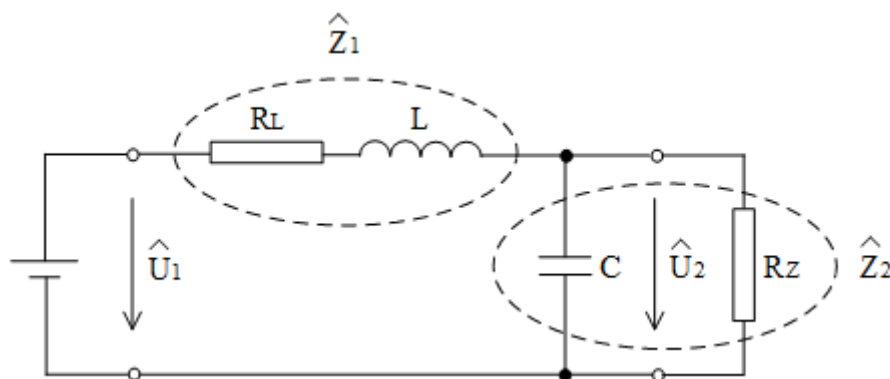
Č. m.	I_{Z_AC} [A]	U_{S_AC} [V]	Č. m.	I_{Z_AC} [A]	U_{S_AC} [V]
1	0,00	26,73	9	0,40	26,44
2	0,06	26,67	10	0,45	26,41
3	0,10	26,64	11	0,51	26,37
4	0,15	26,61	12	0,56	26,34
5	0,20	26,58	13	0,60	26,30
6	0,25	26,55	14	0,75	26,19
7	0,30	26,51	15	0,87	26,10
8	0,35	26,47	16	1,03	25,97

PŘÍLOHA P6: Návrh výstupního filtru zdroje LRS-35-12

Na nutnost řešení dodatečného odrušovacího filtru určeného na výstupní svorky zdroje LRS-35-12 bylo již poukázáno v kap. 7.1.1, ve které bylo zjištěno vysokofrekvenční rušení výstupního napětí zdroje. Návrh filtru vycházel z poznatků a parametrů zdroje stanovených v této kapitole, konkrétně z průběhu zvlnění výstupního napětí zdroje, viz Obr. 7.4. Měření tohoto průběhu probíhalo při zatěžovacím proudu 0,5 A, který představoval běžné provozní podmínky zdroje, tj. napájení převodníku AT-MC102XL. Pro danou zátěž byla určena frekvence spínání zdroje přibližně 890 Hz.

Řešením byl pasivní filtr typu dolní propust. Tyto filtry propustí pouze frekvenční složky signálu, které jsou nižší než mezní frekvence filtru a potlačí signály s frekvencí, které se nachází mimo toto propustné pásmo, tj. s frekvencí vyšší než je mezní [75]. Nejčastěji používanými filtry tohoto typu jsou RC, ale je nutné konstatovat, že tyto konstrukce nejsou vhodné pro velké hodnoty proudů. Na rezistoru by docházelo vlivem průchodu těchto proudů k velkému úbytku napětí a následně k zahřívání, které by vyžadovalo účinné chlazení. Z těchto důvodů bylo vhodnější použít LC filtr.

Cílem kapitoly byl návrh pasivního LC filtru typu dolní propust 2. řádu, u kterého se předpokládalo, že je vzhledem k zjištěné úrovni rušení dostatečně účinný, viz kap. 7.1.2. Schéma reálného zapojení LC filtru je ukázáno na Obr. P6.1.



Obr. P6.1: Obecné schéma zapojení LC filtru

Základ obvodu, viz Obr. P6.1, tvoří napájecí zdroj, který reprezentuje zdroj LRS-35-12, a tlumivka, resp. cívka L , která parametricky odpovídá cívce použité při realizaci filtru, tj. se jmenovitou indukčností 100 μH a vnitřním odporem R_L , který činí 0,08 Ω . Nutno poznamenat, že při návrhu filtru byla hodnota R_L uvažována jako 0,2 Ω , tj. včetně vnitřního odporu zdroje R_i , který byl roven 0,12 Ω , viz kap. 7.1.1. Rezistor R_Z umístěný na výstupu filtru představuje odporovou zátěž 24 Ω , která simuluje odebíraný proud zátěží 0,5 A. Jediným

neznámým parametrem byla kapacita kondenzátoru C . Požadovanou hodnotu kapacity lze stanovit ze vztahu pro výpočet reaktance kondenzátoru X_C [75]:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f_m C} \quad [\Omega] \quad \Rightarrow \quad C = \frac{1}{2\pi f_m X_C} \quad [F] \quad (\text{P6.1})$$

kde $\pi \approx 3,1416$ [-] a f_m je mezní frekvence filtru [Hz].

Nejprve bylo nutné určit mezní frekvenci filtru, která vymezení jeho propustného pásma. V tomto případě musela být nižší než frekvence základní harmonické, tj. 890 Hz. Současně v rámci propustného pásma musela být zachována i velikost amplitudového, resp. napěťového přenosu na hodnotě 0,707 [-], což odpovídá útlumu vstupního signálu na výstupu filtru o 3 dB. Příslušná mezní frekvence LC filtru, tj. f_m , při které platí výše uvedené, byla stanovena na 250 Hz.

Reaktance kondenzátoru X_C byla odvozena z napěťového přenosu LC filtru, resp. z jeho velikosti. Z Obr. P6.1 vyplývá, že komplexní napěťový přenos $A(\omega)$ filtru je podle [75] roven:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1} = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} = \\ &= \frac{\frac{-jX_C R_Z}{-jX_C + R_Z}}{R_L + jX_L + \left(\frac{-jX_C R_Z}{-jX_C + R_Z} \right)} = \frac{X_C R_Z}{X_C R_L + jR_L R_Z + jX_C X_L - X_L R_Z + X_C R_Z} = \\ &= \frac{X_C R_Z}{X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z + j(R_L R_Z + X_C X_L)} = \frac{X_C R_Z}{a + jb} = \frac{X_C R_Z}{a + jb} \frac{a - jb}{a - jb} = \\ &= \frac{aX_C R_Z - jbX_C R_Z}{a^2 + b^2} = \frac{aX_C R_Z}{a^2 + b^2} - j \frac{bX_C R_Z}{a^2 + b^2} \quad [-] \end{aligned} \quad (\text{P6.2})$$

Výsledný komplexní napěťový přenos $A(\omega)$, tj. po zpětném dosazení a , b je:

$$A(\omega) = \frac{(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)X_C R_Z}{(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)^2 + (R_L R_Z + X_C X_L)^2} - j \frac{(R_L R_Z + X_C X_L)X_C R_Z}{(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)^2 + (R_L R_Z + X_C X_L)^2} \quad [-] \quad (\text{P6.3})$$

Dále pro velikost napěťového přenosu platí:

$$|A(\omega)| = \left(\frac{(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)^2 X_C^2 R_Z^2}{[(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)^2 + (R_L R_Z + X_C X_L)^2]^2} + \frac{(R_L R_Z + X_C X_L)^2 X_C^2 R_Z^2}{[(X_C R_L - X_L R_Z + X_C R_Z)^2 + (R_L R_Z + X_C X_L)^2]^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [-] \quad (\text{P6.4})$$

kde X_L je reaktance cívky, která je dána vztahem [75]:

$$X_L = 2\pi f_m L = 2 \cdot 3,1416 \cdot 250 \cdot 0,0001 \doteq 0,1571 \quad [\Omega] \quad (\text{P6.5})$$

Ze vztahu (P6.4) určující velikost napěťového přenosu LC filtru bylo následně odvozeno matematické vyjádření pro výpočet reaktance kondenzátoru X_C . Odvození bylo provedeno v programovém prostředí MATLAB verze 7.3. Pak pro X_C platí:

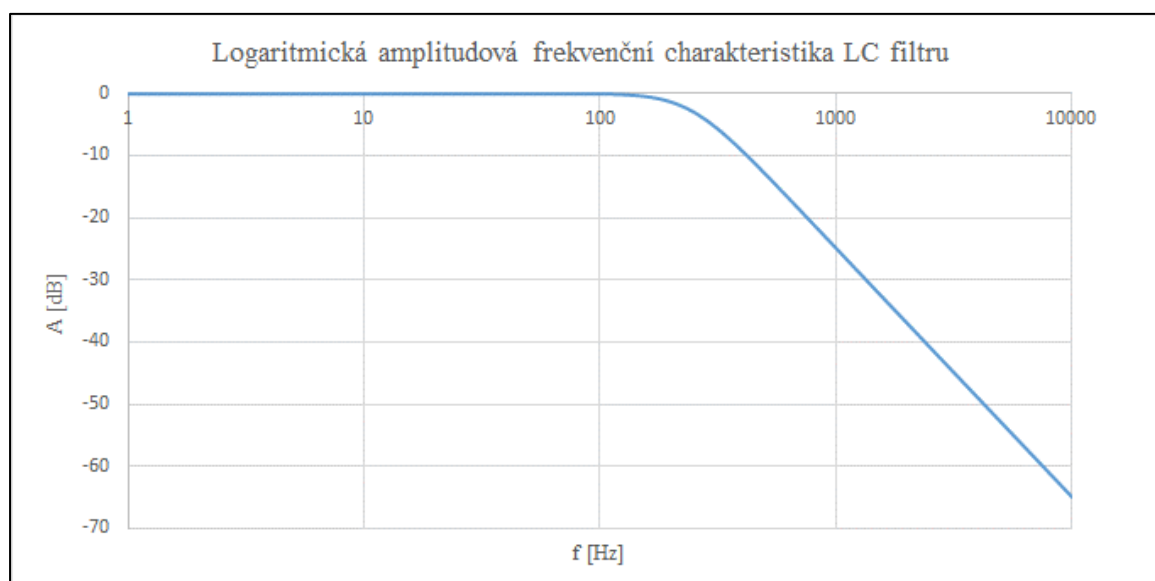
$$X_C = \frac{R_Z |A(\omega)| \left(X_L |A(\omega)| R_Z - \sqrt{R_Z^2 (X_L^2 + R_L^2) - A^2(\omega) [X_L^2 + R_L (R_Z + R_L)]^2} \right)}{A^2(\omega) [X_L^2 + (R_Z + R_L)^2] - R_Z^2} \quad [\Omega] \quad (\text{P6.6})$$

Samotný výpočet X_C probíhal v prostředí MS EXCEL. Daný soubor, tj. „*Návrh LC filtru typu dolní propust.xlsx*“ je součástí přílohy P13. Soubor obsahuje mimo uvedené kompletní výpočtový návrh LC filtru, který je z důvodu objemnosti dat dostupný pouze v popisovaném souboru. Výpočtem bylo stanoveno, že $X_C \approx 0,1426 \Omega$ a po dosazení do rovnice (P6.1) je hodnota kapacity kondenzátoru rovna:

$$C = \frac{1}{2 \cdot 3,1416 \cdot 250 \cdot 0,1426} = 0,004464 \quad [F] = 4464 \quad [\mu F] \quad (\text{P6.7})$$

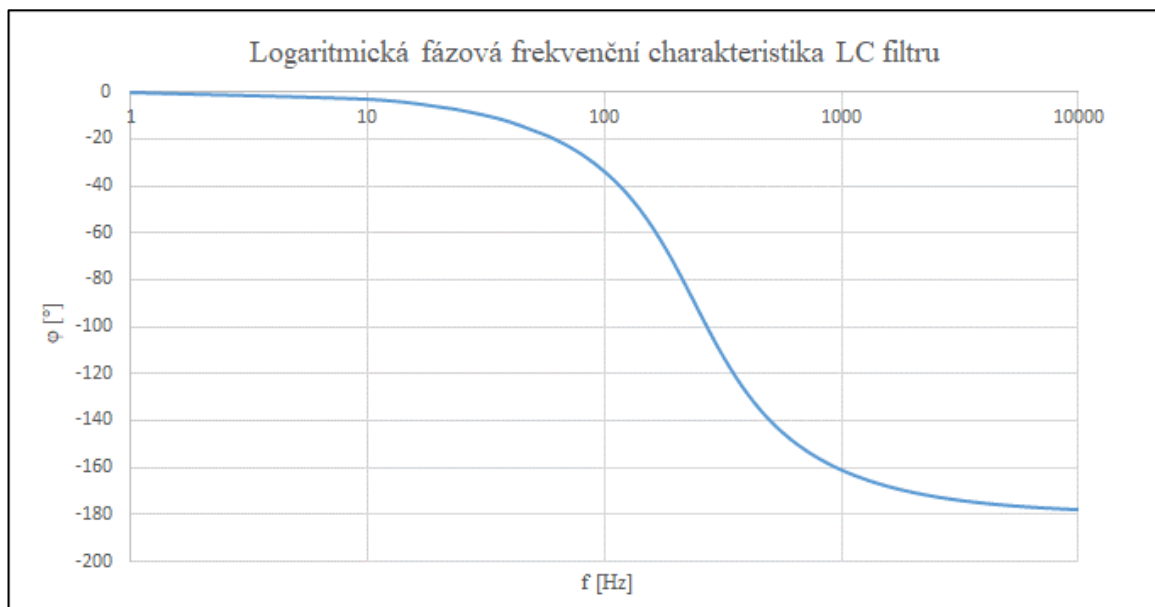
Zjištěná hodnota kapacity kondenzátoru je pouze teoretická a při realizaci se nemusí vždy dosáhnout její přesné hodnoty. Bráno s ohledem na existující normalizované výrobní řady kondenzátorů, které se musí respektovat a případně zvolit kondenzátor nejbližší k požadované hodnotě kapacity. V tomto případě byl vybrán elektrolytický kondenzátor se jmenovitou kapacitou 4400 μF a mezním napětím 16 V DC.

Na Obr. P6.2 a Obr. P6.3 je ukázána amplitudová a fázová frekvenční charakteristika přenosu výsledného LC filtru v logaritmickém zobrazení.



Obr. P6.2: Logaritmická amplitudová frekvenční charakteristika LC filtru

Sestrojení obou charakteristik bylo provedeno ve výše uvedeném souboru. Na Obr. P6.2 lze vidět amplitudovou frekvenční charakteristiku dolní propusti LC filtru, která je uvedena v logaritmickém zobrazení. Z charakteristiky je patrná závislost velikosti napěťového přenosu filtru vyjádřeného v dB na frekvenci. S rostoucí frekvencí má výsledný přenos klesající tendenci, která je zřejmá při dosažení mezní frekvence filtru, tj. 250 Hz, při které dochází k poklesu, resp. útlumu o 3 dB, což odpovídá jeho velikosti 0,707 [-]. Nutné je zmínit, že současně dochází na LC obvodu k fázovému posuvu mezi vstupním a výstupním napětím, viz Obr. P6.3. Při mezní frekvenci je fázový posuv přenosu roven -94° .



Obr. P6.3: Logaritmická fázová frekvenční charakteristika LC filtru

Dále z amplitudové frekvenční charakteristiky bylo možné určit i strmost napěťového přenosu, resp. přechod do nepropustné oblasti navrhovaného LC filtru, která souvisí s jeho řádem. V tomto případě se jednalo o pasivní dolní propust 2. řádu. S vyšším řádem filtru se zvyšuje i útlum přenosu v jeho nepropustném pásmu. Z charakteristiky byla určena její strmost jako rozdíl hodnot napěťového přenosu filtru uvedených na frekvencích 1 a 10 kHz, tj. z nepropustné oblasti filtru, kde má charakteristika konstantní klesající průběh, viz Obr. P6.2. Pak strmost S amplitudové frekvenční charakteristiky přenosu filtru byla vyjádřena jako dB na dekádu, podle [75]:

$$S = A_{10\text{kHz}} - A_{1\text{kHz}} = -64,92 - (-24,89) \doteq -40 \quad [\text{dB/dek}] \quad (\text{P6.8})$$

kde $A_{10\text{kHz}}$ a $A_{1\text{kHz}}$ jsou hodnoty napěťového přenosu v dB platné pro frekvenci 10 kHz a 1 kHz.

Nutno podotknout, že odečet uvedených hodnot napěťového přenosu filtru byl proveden v souboru „*Návrh LC filtru typu dolní propust.xlsx*“, viz příloha P13.

Strmost charakteristiky byla stanovena na hodnotu -40 dB/dek, což obecně odpovídá pasivnímu filtru typu dolní propust 2. řádu. To také platí pro průběh fázové frekvenční charakteristiky, viz Obr. P6.3, z níž je patrný fázový posuv mezi vstupním a výstupním napětím filtru v intervalu 0 až -180 °. Rovněž nutno poznamenat, že útlum filtru je ovlivněn reálnými vlastnostmi použitých součástek, konkrétně cívky a kondenzátoru, které mají své frekvenční omezení. Po jejich překročení účinnost filtru na vysokých frekvencích může klesat nebo v horším případě bude filtr neúčinný a úroveň rušení zůstane stejná jako na jeho vstupu.

PŘÍLOHA P7: Realizace a ověření optické trasy

Penetrační panely, viz kap. 4.1.2, jsou jediné obousměrné průchodné systémy, které jsou určeny pro přívod signálové a datové kabeláže do vnitřních prostor bezodrazové stíněné komory. Jejich konstrukce v rámci datové komunikace umožňuje použití optického kabelu jakožto jediného typu přenosového média, i když se jedná o krátkou vzdálenost a malý objem dat. Optická vlákna jsou elektricky nevodivá a zaručují správnou funkci i v prostředí silných elektromagnetických polí, vůči kterým jsou odolná. Přenos dat je uskutečňován pomocí světla, proto vlákna negenerují žádné elektromagnetické rušení [82], [83]. Cílem bylo vybudovat optickou trasu spojující převodníky AT-MC102XL. Jeden převodník byl umístěn mimo komoru, tj. v prostoru pro její obsluhu, a druhý přímo u kamery v bezodrazové stíněné komoře, kap. 6, Obr. 6.1. K tomu účelu byl vybrán optický kabel od společnosti CTnet - 4 x 50/125 OM2 LSZH o délce 15 m. Kabel obsahuje čtyři mnohoovidová (MM) optická vlákna s průměrem jádra 50 μm a pláště 125 μm . Jedná se o standardní vlákna typu OM2 (Optical Multimode) s definovaným maximálním útlumem 3,5 dB/km, který je platný při použití zdroje generujícího světlo o vlnové délce 850 nm a 1,5 dB/km pro 1300 nm. Celkový průměr vláken, včetně jejich primární ochrany, je 250 μm [84]. Vlákna jsou uložena v centrální trubičce plněné gelem, která zajišťuje voděodolnost kabelu. Trubička je obalena tkaninou chránící kabel před nadměrným tahem. Vnější plášť kabelu je vyroben z plastového materiálu splňující požadavky kladené na LSZH (Low Smoke Zero Halogen), tj. samozhášivý, nešíří plameny a při hoření neprodukuje nebezpečné zplodiny. Kabel je vhodný na realizaci vnějších i vnitřních rozvodů. Vnější průměr kabelu je 6,2 mm, tudíž vyhovuje i po stránce instalace skrze vývodky penetračních panelů.



Obr. P7.1: Materiál pro vytvoření optické trasy a vybavení pro svařování

Převodníky pro provoz vyžadují duplexní komunikaci, proto pro realizaci optické trasy byla využita dvě optická vlákna, tj. pro každý směr datové komunikace jedno, viz kap. 5.1. U realizačních projektů tohoto typu je běžné uvažovat rezervu v počtu vláken, proto zvolený optický kabel obsahuje čtyři vlákna, viz Obr. P7.1 nahoře uprostřed. Důvodem byla možná náhrada za použité vlákno, které ztratilo požadované optické vlastnosti nebo bylo poškozeno. Pro realizaci optické trasy byla použita vlákna žluté a modré barvy ukončená konektory SC, kterými jsou vybaveny i převodníky. Proces konektorování je velmi složitý a má zásadní vliv na velikost vloženého útlumu, resp. ztráty optického výkonu i na útlum odrazem zpět do vysílače [83]. Z těchto důvodů bylo vhodnější použít pigtaily vyrobené z optických vláken odpovídajících parametrů. Pigtaily byly spojeny s vlákny optického kabelu pomocí technologie sváření. Jedná se o spoj s nulovým vloženým útlumem přenášeného optického signálu [82]. Vytvořený spoj je velmi křehký a musí být opatřen adekvátní ochranou. Výsledná vlákna jsou určena pro uložení a ukončení v optických boxech, proto bylo vhodné zvolit pigtaily s dostatečnou délkovou rezervou, v tomto případě o délce 2 m. Svařování bylo realizováno svépomocí. Potřebné technické vybavení, tj. svářečka a její příslušenství, je ukázáno na Obr. P7.1 vlevo.

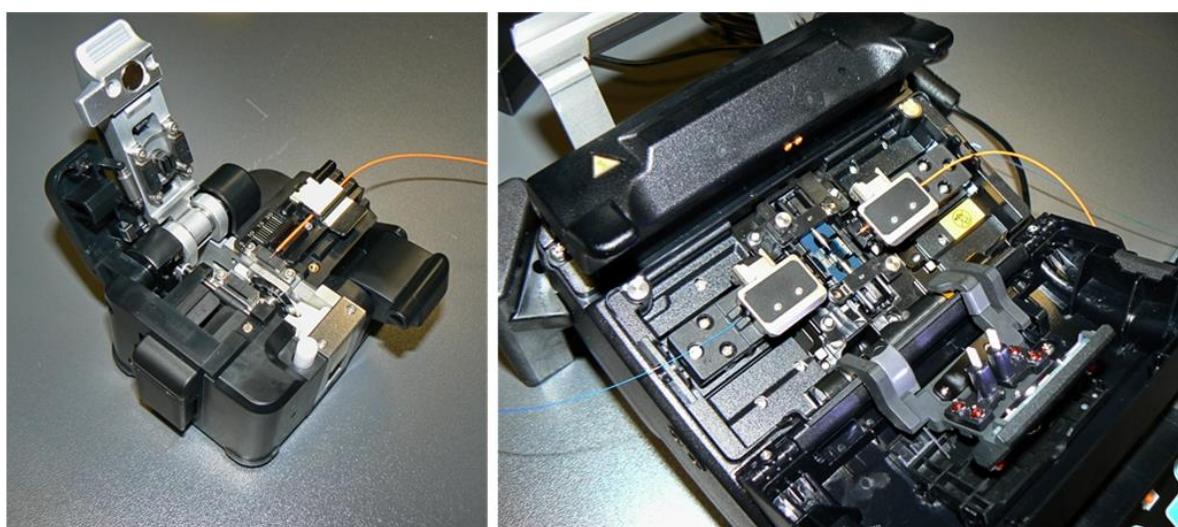


Obr. P7.2: Svářečka a lámačka optických vláken

Na Obr. P7.2 se nachází svářečka optických vláken FITEC S179 a lámačka S326A od společnosti Furukawa Electric. Svářečka je vybavena automatickým svařovacím programem s aktivním vystředováním svařovaných vláken metodou jádra na jádro, a to ve třech osách. Popisovaný mechanismus je ukázán na Obr. P7.3 vpravo. Cílem je dosáhnout sváru s minimálním vloženým útlumem, který rovněž pomáhá zajistit automatická kompenzace svařovacího oblouku. Program rozpoznává jednotlivé typy svařovaných vláken a provádí jejich kontrolu

z pohledu kvality lomu i čistoty [85]. Výsledný svár je následně podroben diagnostice zaměřené na vložený útlum spoje. Svářečka disponuje i pískou na zatavení, resp. zapékání ochran vytvořeného sváru.

Lámačka je automatická a slouží k zalamování optických vláken před jejich svařováním, a to během jednoho kroku. Lom je realizován pomocí lámacího nože s čepelí ve tvaru kotouče, který se po určitém počtu lomů otáčí na další pozici, aby byla stále zachována požadovaná kvalita lomu. Lom má vliv na kvalitu sváru a s tím spojené přenosové vlastnosti. Kotouč nabízí celkem 24 pozic a na každé z nich provede přibližně 2 000 lomů, pak ho lze vyměnit [86]. Lámačka je vybavena měřítkem pro možné nastavení délky odizolované části vlákna, viz Obr. P7.3 vlevo. Odlomená vlákna jsou automaticky posouvána a ukládána do vyjímatelného zásobníku.



Obr. P7.3: Příprava vláken pro vytvoření svárového spoje

Před zahájením procesu svařování bylo nutné nainstalovat optický kabel skrze jeden z penetračních panelů komory. K tomu účelu byl vybrán panel nacházející se přímo u PC pro její obsluhu, viz kap. 4.1.2, Obr. 4.6 vlevo. Dále bylo potřeba nainstalovat vlákna optického kabelu a pigtailů i do optických boxů, protože po vytvoření svárových spojů to již není možné. Jeden box byl umístěn mimo komoru a druhý uvnitř. Nutno poznamenat, že po odstranění ochran vláken bylo nezbytné jejich důkladné očištění a odmaštění isopropylalkoholem (IPA). Dále bylo nutné nasunout ochranu sváru na jedno ze spojovaných vláken ještě před jejich zalamováním, aby se předešlo poškození lomu. Pak bylo možné přistoupit k jejich zalamování a následnému svařování. Optimální délka odizolované části vlákna z hlediska svařování byla 12 mm. Tento parametr byl stanoven na základě série zkušebních svárů. Ukázka nastavení lomu, konkrétně na vlákně pigtailu, se nachází na Obr. P7.3 vlevo. Zalomené vlákno bylo vloženo do svářečky za účelem vytvoření svárového spoje s vláknem kabelu modré barvy, viz Obr. P7.3 vpravo. Jednotlivé fáze procesu svařování jsou zobrazeny na Obr. P7.4.



Obr. P7.4: Jednotlivé fáze svařování

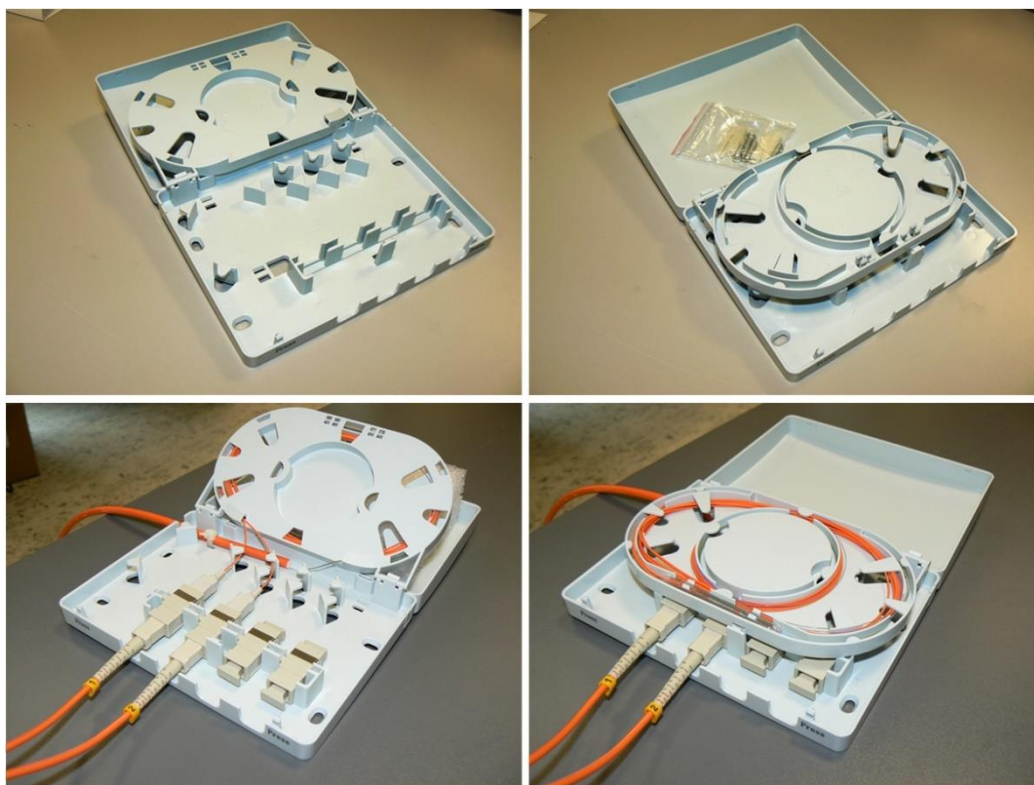
Během první fáze svařovací program provedl automatické vystředování jádra na jádro u spojovaných vláken, a to v osách x , y , z , viz Obr. P7.4 vlevo. Následně byla provedena kontrola kvality jejich lomu, včetně čistoty a identifikace typu optických vláken. V druhé fázi, viz obrázek uprostřed, byl realizován proces svařování, který trval přibližně 10 s. Poslední fází byla diagnostika vytvořeného spoje na vložení útlum, jehož hodnota byla 0 dB, viz obrázek vpravo.



Obr. P7.5: Zatavení tepelně smrštitelné ochrany sváru

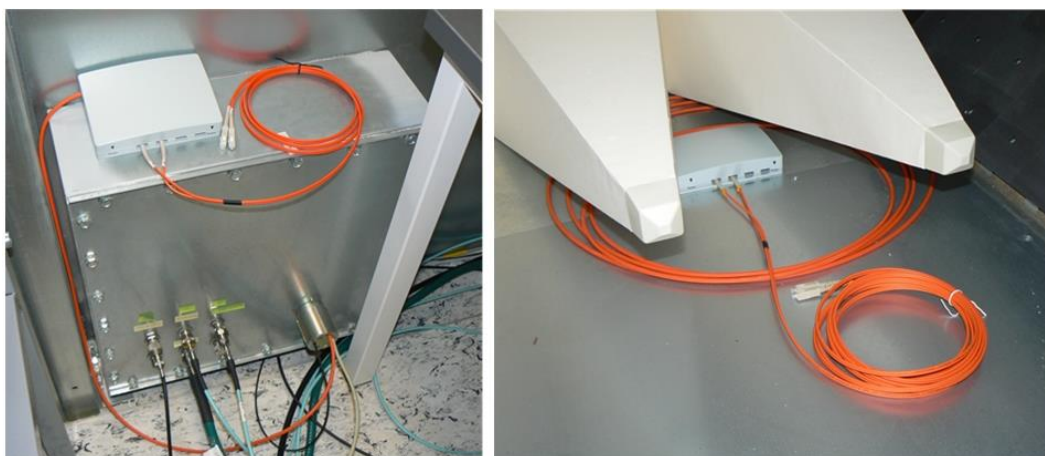
Zhotovený svár vyžadoval ochranu, v tomto případě byla použita 60 mm dlouhá, teplem smrštitelná transparentní ochrana s drátovou výztuhou. Ochrana plní dvě funkce, tj. hermetickou ochranu odizolovaných vláken i sváru a rovněž zajišťuje jejich mechanickou pevnost. Ochrana spoje byla vložena do píčky

svářečky a následně zatavena, viz Obr. P7.5. Průběh tohoto procesu signalizuje ikona oranžové barvy se symbolem pro ohřev, který trvá cca 10 s, viz Obr. P7.5 uprostřed. Vlákno modré barvy bylo ukončeno požadovaným konektorem SC a připraveno pro instalaci do optického boxu. Stejným způsobem bylo osazeno i vlákno žluté barvy. Jejich uložení v ukončovacím optickém boxu je patrné z Obr. P7.6.



Obr. P7.6: Ukončovací optický box

V horní části Obr. P7.6 lze vidět neosazený ukončovací optický box použitý mimo komoru a v dolní části již po instalaci optických vláken. Použité spojovací adaptéry, viz Obr. P7.6 vlevo dole, jsou určeny k propojení optických vláken typu OM2, která jsou zakončena konektory SC. Spojky zajišťují správnou pozici spojovaných vláken vůči sobě, konkrétně čel optických konektorů tzv. ferulí. V tomto případě bylo realizováno propojení vláken instalovaného optického kabelu s optickým patchkabelem neboli Patch Cordem. Jedná se o 2 m dlouhý propojovací duplexní kabel s optickými vlákny OM2 a konektorovým systémem SC – SC určený pro připojení převodníku AT-MC102XL. Nutno poznamenat, že vlákno žluté barvy bylo připojeno na první konektorový spoj a modré vlákno na druhý. Na Obr. P7.7 vlevo se nachází ukončovací box i s propojovacím kabelem umístěný na penetračním panelu mimo komoru. Stejným způsobem byla ukončena optická trasa i uvnitř komory, viz Obr. P7.7 vpravo. V komoře byl použit propojovací kabel o délce 5 m.



Obr. P7.7: Ukončení a příprava přenosové optické trasy mimo a uvnitř komory

Vybudovaná přenosová optická trasa byla podrobena kontrole za účelem stanovení celkového vloženého útlumu trasy a zjištění případných poruch použitých vláken. Cílem měření byla pouze instalovaná část trasy ukončená optickými boxy, tj. bez propojovacích optických kabelů. Měření i vyhodnocení bylo provedeno pomocí optického reflektometru, viz Obr. P7.8. Byla použita metoda optické reflektometrie v časové oblasti, tj. OTDR (Optical Time Domain Reflectometry). Jedná se o nepřímou metodu na měření útlumu jednotlivých vláken, která je založená na vyhodnocení časové prodlevy zpětně rozptýleného optického výkonu během šíření úzkého optického impulzu měřeným vláknem [82].



Obr. P7.8: Optický reflektometr (OTDR)

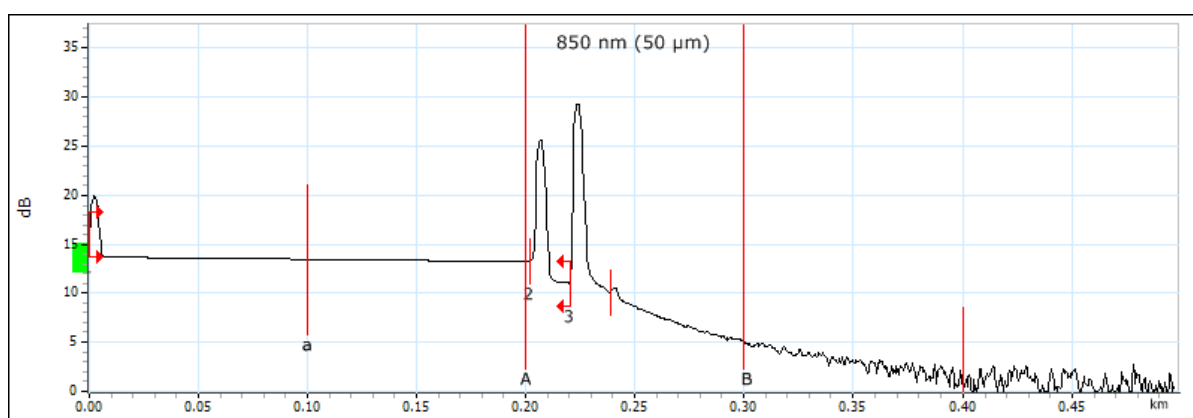
Modulární testovací jednotka EXFO – FTB-1, viz Obr. P7.8 vlevo, je vybavena modulem OTDR, konkrétně reflektometrem FTB-720-12CD-23B, viz obrázek vpravo, který je určen pro měření jednovidových (SM) i mnohovidových (MM) optických vláken. SM vlákna jsou testována na vlnových délkách 1310/1550 nm a MM na 850/1300 nm. Definované vlnové délky jsou generovány na dvou portech pomocí zdroje optického záření. Měřič optického výkonu automaticky rozpoznává jednotlivé vlnové délky. První port je určen pro SM vlákna a opatřen adaptérem pro připojení optických konektorů SC s ferulí úhlově sféricky zabroušenou, tj. v provedení APC (Angled Physical Contact). Druhý port je stanoven pro MM vlákna rovněž s SC konektory, ale s ferulí sféricky zabroušenou, tj. UPC (Ultra Physical Contact) [87].



Obr. P7.9: Kontrola čistoty čela ferule, kontrola optické trasy

Na Obr. P7.9 vlevo je ukázka probíhající kontroly čistoty a stavu čela ferule konektoru SC pomocí video sondy, která je součástí testovací jednotky. Jedná se o feruli typu UPC. Čistota ferule má zásadní vliv na správnou funkci instalované optické trasy, resp. na vložený útlum použitých konektorů. Cílem bylo dosáhnout co nejnižšího útlumu, proto bylo nezbytné každý konektor ověřit. Případné nečistoty bylo nutné odstranit izopropylalkoholem a konektor osušit stlačeným vzduchem. Míra znečištění a celkový stav ferule byly vyhodnoceny softwarem jednotky EXFO – FTB-1. Kontrola optické trasy je zobrazena na Obr. P7.9 vpravo. Účelem bylo získat základní představu o optických vlastnostech měřené trasy a nalézt případné poruchy. Měření bylo omezeno stanovením délky a útlumu celé trasy, resp. jednotlivých vláken. Dále u použitých součástí, tj. konektorů, bylo cílem ověřit jejich pozici a vložený útlum. Vložený útlum všech svárů byl již vyhodnocen svařovacím programem na 0 dB. Výsledné reflektogramy čili křivky zpětného rozptylu ve vláknech jsou uvedeny níže.

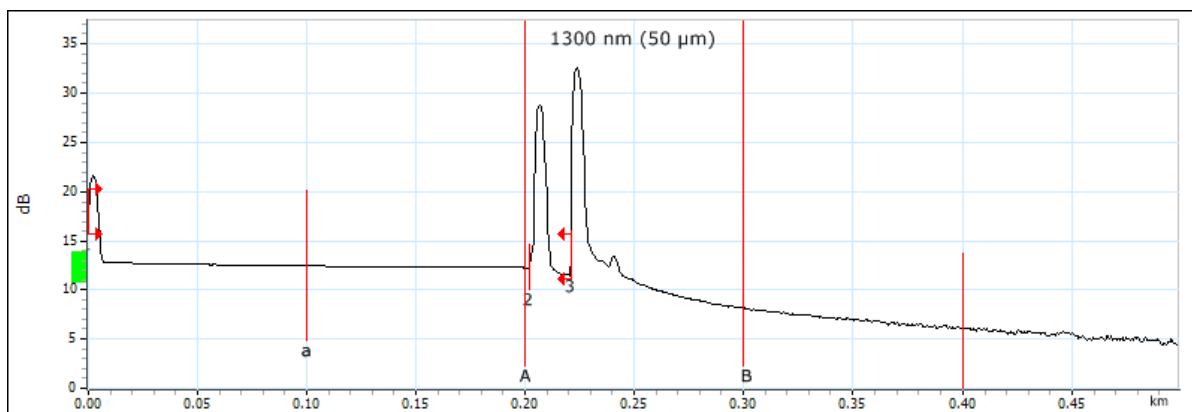
Nejprve bylo měřeno vlákno žluté barvy ve směru A-B, tj. z prostoru pro obsluhu komory, aby bylo možné ověřit parametry jeho vstupního konektoru a případné poruchy i na jeho začátku. Pro tyto účely bylo nutné použít předřadné vlákno odpovídajících parametrů o délce 200 m, které bylo připojeno mezi reflektometr a měřenou trasu. Tím byla potlačena identifikační mrtvá zóna reflektometru, která je výrobcem stanovena na 0,8 m [87]. Předřadné vlákno bylo součástí příslušenství reflektometru. Vlákno je uloženo do přenosného optického boxu a neobsahuje žádný svár ani jinou nehomogenitu, viz Obr. P7.9 vlevo i vpravo nahoře. Pro ověření parametrů výstupního konektoru bylo nutné předřadné vlákno připojit i za měřenou trasu a měření provádět v opačném směru. Nutno poznamenat, že v obou případech měření probíhající vždy v jednom směru byl zjištěný vložený útlum měřené trasy zdánlivý. Skutečný útlum byl stanoven jejich průměrováním.



Obr. P7.10: Reflektogram vlákna žluté barvy pro vlnovou délku 850 nm a směr A-B

Pro měřený typ vlákna byl reflektometr nastaven podle doporučených hodnot udávaných výrobcem. Zdroj optického záření byl přenastaven na vlnovou délku 850 nm. Ostatní parametry testu byly zadány automaticky podle typu vlákna a délky ověřované trasy. Délkový rozsah měření byl zvolen 500 m, šířka optického impulsu 30 ns a doba trvání 45 s. Na Obr. P7.10 je zobrazená výsledná křivka zpětného rozptylu ve vlákne žluté barvy, včetně předřadného vlákna měřeného ve směru A-B. První špička křivky značí zpětný odraz na vstupním konektoru předřadného vlákna. Příčinou je navázání světla do vlákna. Následuje délka a útlum předřadného vlákna. Z obrázku je patrné, že útlum vlákna je lineárně závislý na jeho délce, tudíž se mění s konstantní hodnotou. Další špička znázorňuje odraz na konektorovém spoji předřadného vlákna s měřenou trasou. Za touto špičkou lze vidět délku a útlum měřené trasy, která byla cílem měření. Poslední špička křivky představuje odraz na konci měřeného vlákna a za ní se dále nachází úroveň šumu detektoru. Zjištěná délka měřené trasy byla 18,6 m a její zdánlivý útlum 0,084 dB. Odpovídající měrný útlum byl reflektometrem vyhodnocen na hodnotu 4,5 dB/km. Jak bylo uvedeno, standardní vlákno typu OM2 má definovaný maximální měrný útlum pro danou vlnovou délku

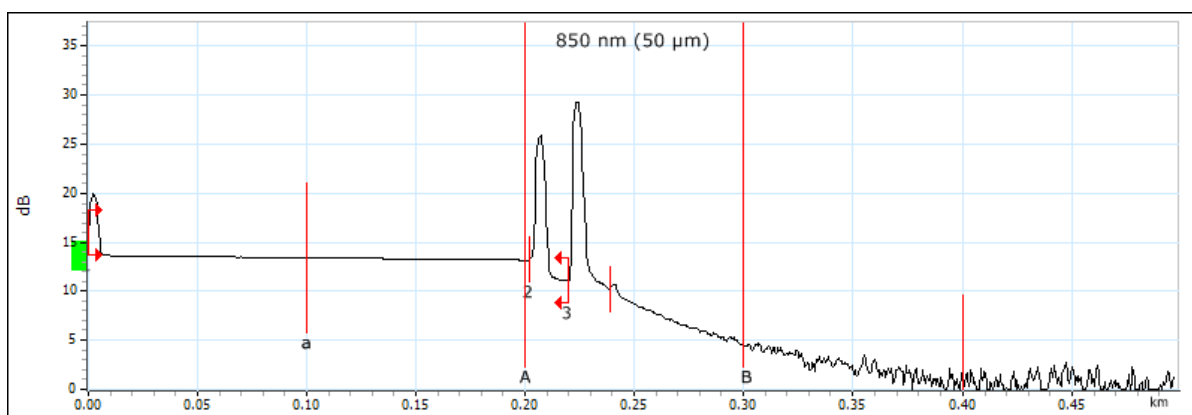
3,5 dB/km. V tomto případě bylo předpokládáno, že se jedná o vlastnost vybudované reálné optické trasy, která je dána použitými komponenty. Tento větší útlum trasy nemá zásadní vliv na její funkčnost.



Obr. P7.11: Reflektogram vlákna žluté barvy pro vlnovou délku 1300 nm a směr A-B

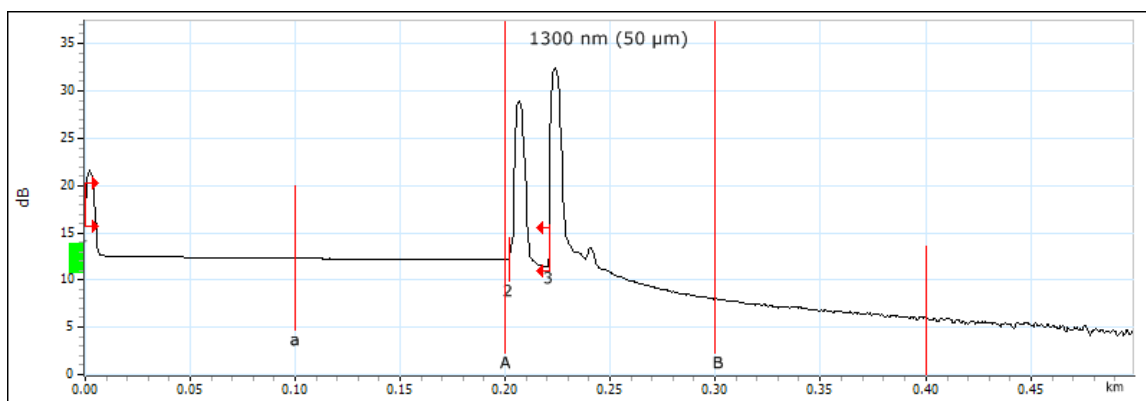
Následně byl zdroj optického záření nastaven na vlnovou délku 1300 nm a měření bylo opakováno, viz Obr. P7.11. Stanovená délka měřené trasy byla shodná, tj. 18,6 m. Zdánlivý útlum trasy byl 0,022 dB a měrný útlum 1,2 dB/km. Zjištěný útlum měřené trasy odpovídá danému typu vlákna a vlnové délce.

Za účelem ověření parametrů výstupního konektoru bylo předřadné vlákno připojeno za měřenou trasu a měření provedeno v opačném směru B-A čili z prostoru komory.



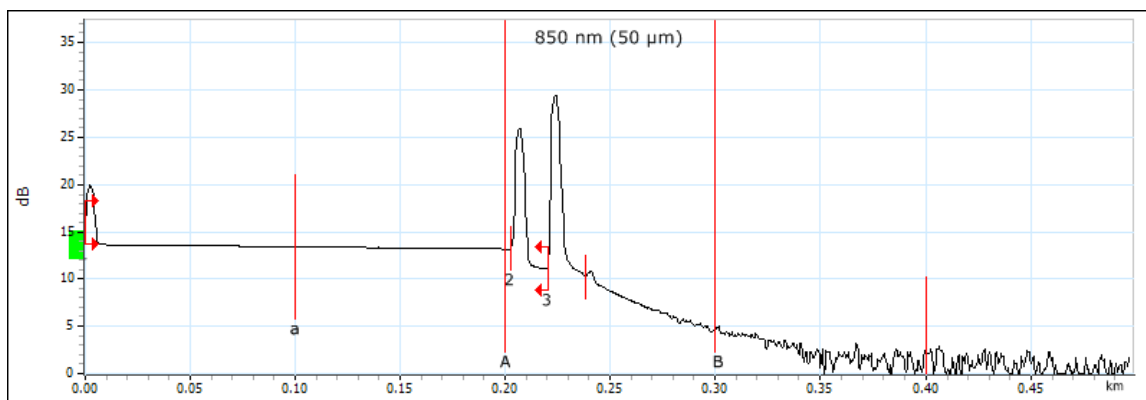
Obr. P7.12: Reflektogram vlákna žluté barvy pro vlnovou délku 850 nm a směr B-A

Na Obr. P7.12 je výsledná křivka zpětného rozptylu platná pro vlnovou délku 850 nm. Délka měřené trasy byla opět detekována 18,6 m a její zdánlivý útlum 0,083 dB. Měrný útlum byl vyhodnocen na 4,5 dB/km. Na Obr. P7.13 se nachází průběh křivky pro vlnovou délku 1300 nm. Délka měřené trasy byla shodná, tj. 18,6 m. Zdánlivý útlum byl 0,023 dB a měrný 1,2 dB/km.



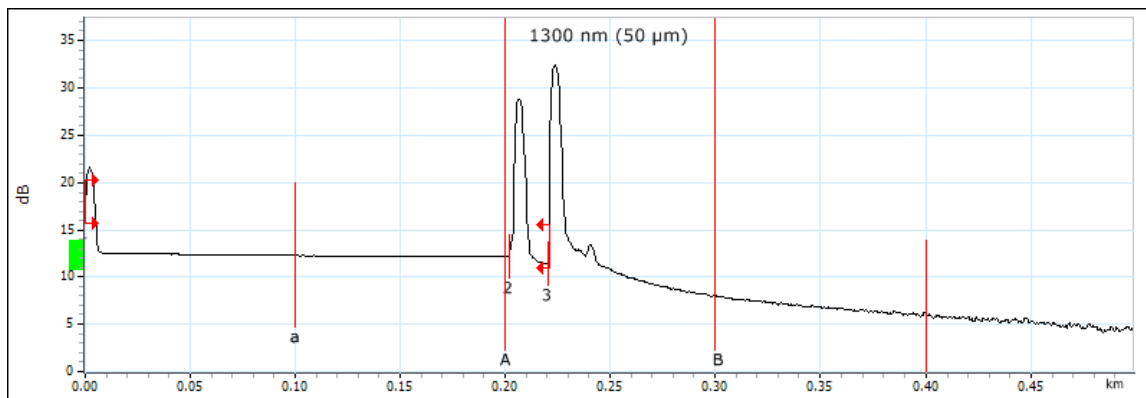
Obr. P7.13: Reflektogram vlákna žluté barvy pro vlnovou délku 1300 nm a směr B-A

Stejným způsobem probíhala i kontrola vlákna modré barvy realizované optické trasy. Na Obr. P7.14 je zobrazena výsledná křivka zpětného rozptylu pro vlnovou délku 850 nm a směr A-B.



Obr. P7.14: Reflektogram vlákna modré barvy pro vlnovou délku 850 nm a směr A-B

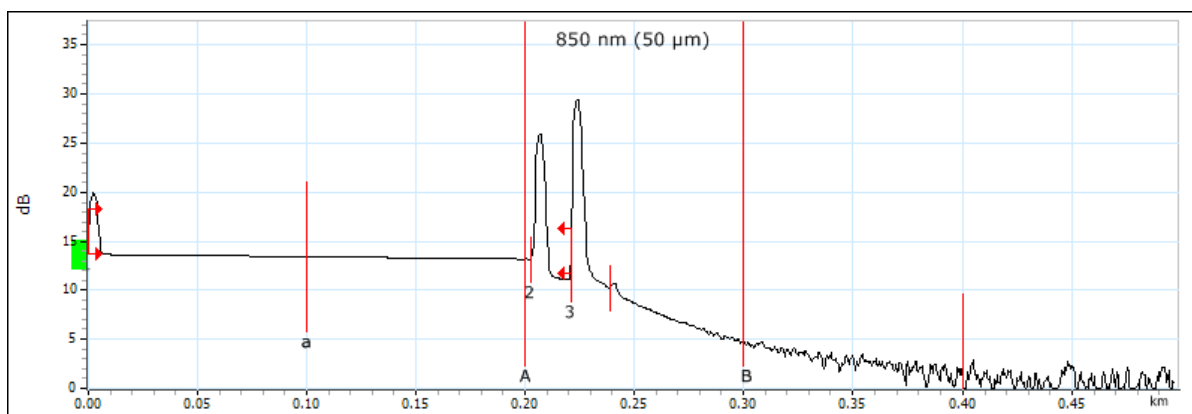
Délka měřené trasy byla stanovena 18,9 m a její zdánlivý útlum 0,085 dB. Měrný útlum byl vyhodnocen stejně jako u měřené trasy se žlutým vláknem, viz Obr. P7.10 a Obr. P7.12, tj. 4,5 dB/km.



Obr. P7.15: Reflektogram vlákna modré barvy pro vlnovou délku 1300 nm a směr A-B

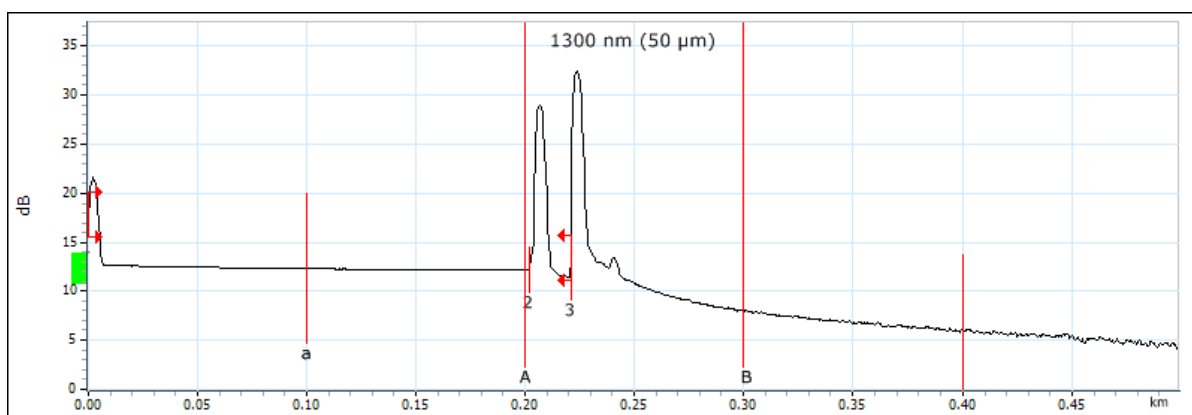
Měření bylo opakováno i pro vlnovou délku 1300 nm, viz Obr. P7.15. Délka měřené trasy byla opět 18,9 m a zdánlivý útlum 0,023 dB. Měrný útlum byl stanoven na 1,2 dB/km a odpovídá hodnotě stanovené u měřené trasy se žlutým vláknem, viz Obr. P7.11 a Obr. P7.13.

Dále předradné vlákno bylo připojeno za měřenou trasu a měření provedeno v opačném směru, tj. B-A. Cílem bylo ověření parametrů výstupního konektoru.



Obr. P7.16: Reflektogram vlákna modré barvy pro vlnovou délku 850 nm a směr B-A

Na Obr. P7.16 je zobrazena výsledná křivka zpětného rozptylu pro vlnovou délku 850 nm. Stanovené parametry měřené trasy byly shodné s měřením ve směru A-B, viz Obr. P7.14. Následně bylo provedeno měření pro vlnovou délku 1300 nm, viz Obr. P7.17.



Obr. P7.17: Reflektogram vlákna modré barvy pro vlnovou délku 1300 nm a směr B-A

Délka měřené trasy byla potvrzena z předchozích měření, tj. 18,9 m. Její zdánlivý útlum byl 0,022 dB a měrný opět 1,2 dB/km.

Cílem byla realizace přenosové optické trasy propojující převodníky AT-MC102XL. Vybudovaná část trasy ukončená optickými boxy, tj. bez propojovacích optických kabelů, byla podrobena kontrole za účelem stanovení jejího vloženého útlumu a zjištění případných poruch použitých vláken. Na základě naměřených výsledků bylo konstatováno, že délka vlákna žluté barvy je 18,6 m a modrého vlákna 18,9 m. Měrné útlumy obou vláken byly shodné, tj. 4,5 dB/km pro vlnovou délku 850 nm a 1,2 dB/km pro 1300 nm. Z těchto hodnot je patrné, že zjištěný útlum trasy pro vlnovou délku 850 nm byl vyšší než předpokládaná hodnota u tohoto typu vlákna, tj. 3,5 dB/km. V tomto případě lze předpokládat, že se jedná o vlastnost vybudované reálné optické trasy, která je dána použitými komponenty. Tento větší útlum trasy nemá zásadní vliv na její funkčnost.

PŘÍLOHA P8: Realizace a ověření UTP kabeláže

Převodník AT-MC102XL umístěný mimo komoru byl připojen do LAN prostřednictvím TP kabelu, rovněž kamera MERIT LILIN - IPS5184S k převodníku uvnitř komory, viz kap. 6, Obr. 6.1. K tomu účelu byl použit UTP kabel kategorie 6 (Cat6) s typovým označením 7965E od společnosti BELDEN. Kabel obsahuje čtyři nestíněné kroucené páry vodičů z měděného drátu, které jsou vzájemně do sebe opět zakrouceny. Jednotlivé páry jsou od sebe barevně rozlišeny. Vnější plášť kabelu je z PVC, který není odolný vůči vlivům venkovního prostředí, ale je samozhášivý a nešíří plameny, proto je vhodný pro vnitřní instalace [88]. V tomto případě se jednalo o přímé zapojení, tj. jednotlivé vodiče UTP kabelu byly na obou jeho koncích osazeny do nestíněných konektorů typu RJ45 (8P8C) ve stejném pořadí, viz Obr. P8.2. Instalační nářadí na konektorování TP kabeláže lze vidět na Obr. P8.1 vlevo.



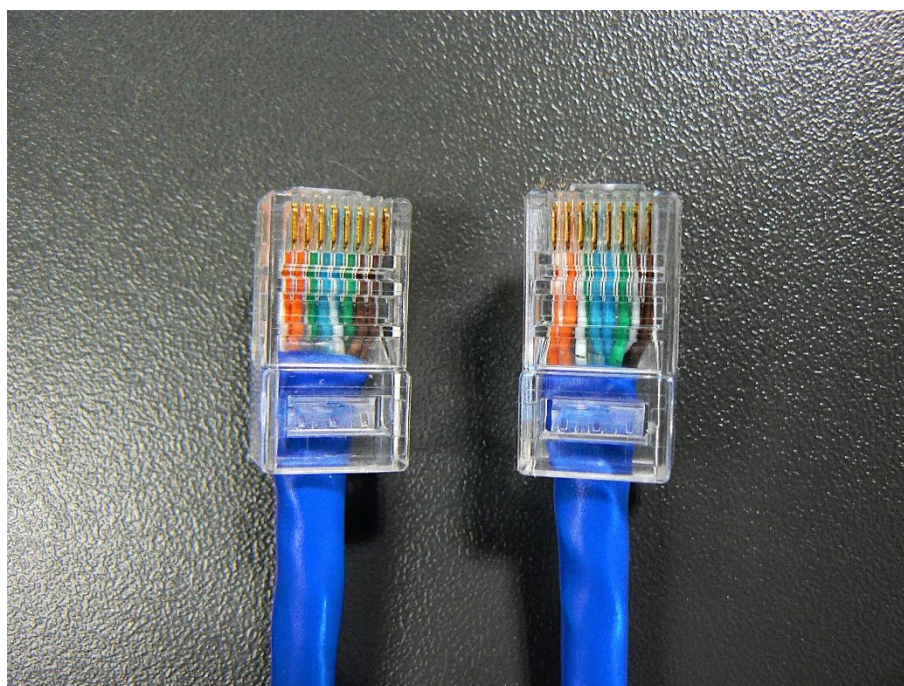
Obr. P8.1: Instalační nářadí pro TP kabeláž, kvalifikační tester

Při osazování konektory RJ45 bylo vhodné odizolovat dostatečně dlouhé konce kabelu. Odstraňuje se pouze vnější plášť kabelu, a nikoliv izolace jednotlivých vodičů, která je narušena až samotným zalisováním konektoru. Konce vodičů bylo nutné narovnat a barevně uspořádat podle standardu EIA/TIA 568B (Electronic Industries Alliance/Telecommunications Industry Association), viz Tab. P8.1. Číslování pinů je bráno ze spodní strany konektoru, viz Obr. P8.2.

Tab. P8.1: Zapojení pinů konektoru RJ45 podle T568B [89]

Pin konektoru RJ45	Vodič UTP kabelu
1	Oranžovobílý
2	Oranžový
3	Zelenobílý
4	Modrý
5	Modrobílý
6	Zelený
7	Hnědobílý
8	Hnědý

Dále konce připravených vodičů byly ořezány do jedné roviny a zkráceny tak, aby po nasazení konektoru byl jeho součástí i plášť kabelu. Následně byl konektor zalisován pomocí krimpovacích kleští. Výsledný UTP kabel v přímém zapojení je ukázán na Obr. P8.2.



Obr. P8.2: Přímé zapojení UTP kabelu

U zhotovených kabelů byla ověřena funkčnost jejich ukončení, resp. správnost osazení jednotlivých pinů instalovaných konektorů. K tomu účelu byl použit kvalifikační tester CIQ 100 od společnosti FLUKE Networks, viz Obr. P8.1 vpravo a uprostřed. Ukázka testu zaměřeného na správnost zapojení vodičů UTP kabelu je ukázána na Obr. P8.3.



Obr. P8.3: Kontrola správného zapojení vodičů UTP kabelu

Na základě měření byla u testovaných UTP kabelů určených pro připojení převodníku AT-MC102XL umístěného mimo komoru do LAN a kamery MERIT LILIN - IPS5184S k převodníku uvnitř komory konstatována správnost zapojení, tj. žádný z pinů osazených konektorů nezůstal nepropojený čili otevřený. Délka kabelu pro převodník byla testerem stanovena 16,3 m a pro kameru 0,4 m.

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. Senzory 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.

Vedené kvalifikační práce:

- [1] ŘEZNÍČEK, Bohuslav. 2006. *Měření teploty polovodičovými integrovanými obvody*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 60 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav automatizace a řídicí techniky. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.

- [2] KOPLÍK, Jan. 2010. *Význam prostorové identifikace při objasňování trestné činnosti*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 85 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [3] RŮČKA, Jiří. 2010. *Bezpečnostní ochrany proti kopírování digitálních optických disků*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 70 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektrotechniky a měření. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [4] SCHOVÁNEK, Jaroslav. 2010. *Povodňové aktivity vedoucí k likvidaci škod obce Kunín*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 92 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [5] ČECHMÁNEK, Tomáš. 2011. *Soudní inženýrství a jeho význam při dokazování*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 115 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [6] GURICOVÁ, Kristýna. 2011. *Trenažér pro analogovou komunikaci EC-696*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 50 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav automatizace a řídicí techniky. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [7] HLAVÁČ, Petr. 2011. *Aplikace výpočetní techniky při analýze dopravních nehod*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 137 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [8] HLAVICA, Petr. 2011. *Bezdrátový přenos elektrické energie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 65 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [9] CHROMÝ, Petr. 2011. *Činnost pracovníků SBS při vyšetřování krádeží*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 90 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [10] MIROŠ, David. 2011. *Zkoumání pravosti listin a ručního písma z hlediska identifikace*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 61 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [11] VINKLER, Michal. 2011. *Kriminalisticko-technické zkoumání mechanoskopických stop*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.

- [12] VLČEK, Jiří. 2011. *Aplikace biomechaniky v soukromých bezpečnostních službách*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 93 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [13] CHLACHULA, Jan. 2012. *Význam prevence při krádežích motorových vozidel*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 64 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [14] MRÁZEK, Jan. 2012. *Odhalování počítačové kriminality*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 70 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [15] OSTROVSKÝ, Patrik. 2012. *Vstupné a výstupné externé zariadenia pripájané k elektronickému zabezpečovaciemu systému*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 50 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [16] PROKOPEC, David. 2012. *Implementace elektrické požární signalizace průmyslového objektu do nadstavbového softwaru*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 74 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [17] RŮČKA, Jiří. 2012. *Tvorba bezpečných webových prezentací*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 78 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [18] SEIDL, Jaromír. 2012. *Detekce a rozpoznávání znaků registrační značky s využitím neuronové sítě*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 93 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [19] VANĚK, Petr. 2012. *Zařízení pro detekci kovů a jejich principy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 78 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [20] HLAVICA, Petr. 2013. *Bezdrátový přenos energie využívaný u technologií RFID*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 76 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.

- [21] MACHŮ, Zdeněk. 2013. *Návrh zabezpečení objektu se zvláštním režimem*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 82 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [22] MALINKA, Tomáš. 2013. *Návrh a realizace experimentální úlohy na bezdotykové měření teploty*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 82 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [23] NAGY, Michal. 2013. *Zodolnění konstrukce bezpečnostních kamer proti elektromagnetickému rušení*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 91 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [24] PALA, David. 2013. *Fotoelektrické senzory*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [25] ROHÁČEK, Vlastimil. 2013. *Vlastnosti optronu a jejich aplikace v bezpečnostních technologiích*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 73 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [26] VLČEK, Jiří. 2013. *Aplikace biomechaniky v kriminalistice*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 134 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [27] ZAJÍC, Michal. 2013. *Návrh a realizace experimentální úlohy na dotykové měření teploty*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 62 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [28] KOTRAS, Michal. 2014. *Návrh zabezpečení rodinného domu v lokalitě Trenčín*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 72 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [29] OSTROVSKÝ, Patrik. 2014. *Návrh a realizácia zabezpečenia business centra*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 63 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [30] VANĚK, Petr. 2014. *Ruční detektor na rozpoznávání kovových materiálů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 79 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.

- [31] VAŠIČKA, Aleš. 2014. *Měření absorpce světelného záření barevnými roztoky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 62 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav automatizace a řídicí techniky. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [32] BEHŮNEK, Michal. 2015. *Návrh a realizace laboratorní úlohy na základě indukčních a kapacitních principů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 81 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [33] KOVÁŘ, Petr. 2015. *Návrh a realizace experimentální úlohy na měření polohy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [34] KUBIŠ, Tibor. 2015. *Návrh a realizace regulovatelného napětového zdroje*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav automatizace a řídicí techniky. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [35] MACHŮ, Zdeněk. 2015. *Návrh zabezpečovacího systému domovů v areálu Loučka*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 106 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [36] MÁLEK, Michal. 2015. *Trenažer pro digitální komunikaci EC-796*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 69 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [37] MITÁŠ, Martin. 2015. *Návrh a realizace laboratorní úlohy demonstrující využití Hallova senzoru*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 77 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [38] SCHLIK, Roman. 2015. *Návrh zabezpečovacího systému soukromého vinařství*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 83 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [39] ZAJÍC, Michal. 2015. *Návrh a výroba sady čoček pro tvarování svazku milimetrových vln*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 86 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [40] CZINEGE, Ondřej. 2016. *Rozbor důlního ovzduší na plynovém chromatografu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 113 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.

- [41] JURKOVIČ, Karel. 2016. *Návrh a realizace zařízení pro tisk na termotransferových tiskárnách*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 99 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav informatiky a umělé inteligence. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [42] KOTRAS, Michal. 2016. *Bezpečnostní analýza rizik distribučního centra prodejce oděvů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 102 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [43] KUBÍČEK, Tomáš. 2016. *Návrh zabezpečení obchodu se zahrádkářskými potřebami*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 56 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [44] PATKA, Dominik. 2016. *Návrh a realizácia kamerového systému obce Hlboké*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 72 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [45] SELUCKÝ, Adam. 2016. *Návrh zabezpečovacího systému pro rodinný dům ve Vyškově*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 52 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [46] SKLÁŘ, Petr. 2016. *Návrh zabezpečovacího systému kalírny*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 117s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [47] VRAJ, Marek. 2016. *Návrh zabezpečovacího systému strojírenské firmy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 105 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [48] FAČKOVEC, Matej. 2017. *Návrh a realizácia zabezpečenia obchodu s drogériou*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 61 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Skočík, Petr.
- [49] KOVÁŘ, Petr. 2017. *Návrh zabezpečovacího systému firmy zaměřené na elektromontáže*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 105 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.

- [50] MIKULÁŠEK, Václav. 2017. *Ověření funkčnosti kamerového systému určeného pro monitorování v prostředí silných elektromagnetických polí*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 103 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [51] SCHLIK, Roman. 2017. *Bezpečnostní analýza rizik výrobního podniku*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 73 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [52] JANKŮ, Marek. 2018. *Vyhodnocení kvality nízkorozpočtových kamer s ohledem na průmysl komerční bezpečnosti*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 109 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [53] SKÝPALA, Erik. 2018. *Analýza možností zabezpečení sportovních utkání na zimním stadionu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 75 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.
- [54] ŠPAČKOVÁ, Renata. 2018. *Bezpečnostní analýza rizik centrálního skladu velkoobchodu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 107 s. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektroniky a měření. Vedoucí diplomové práce Skočík, Petr.

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

Petr Skočík

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

Resistant Camera System Designed for Operation
in Anechoic Shielded Chambers

Disertační práce

Sazba: Petr Skočík

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2020