

# Optimalizace elektromagneticky stínící mřížky pro čočky bezpečnostních kamer

Bc. Petr Vytopil

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Vytopil**

Osobní číslo: **A16173**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace elektromagneticky stínící mřížky pro čočky bezpečnostních kamer**

Téma anglicky: **The Optimisation of Electromagnetically Shielded Grids for Security Camera Lenses**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se se základy elektromagnetické kompatibility, stínící účinnosti a principem činnosti kamer.
2. Navrhněte stínící mřížku pro čočku kamery.
3. Otestujte návrh stínící mřížky pomocí simulačního softwaru.
4. Realizujte stínící mřížku.
5. Prakticky otestujte stínící mřížku na elektromagnetickou odolnost.
6. Stanovte vliv stínící mřížky na optické vlastnosti.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

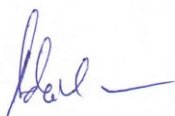
1. **SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 8021418737.**
2. **PAUL, Clayton R. Introduction to electromagnetic compatibility. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, c2006, xxi, 983 s. Wiley series in microwave and optical engineering. ISBN 0471755001.**
3. **KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-7300-202-7.**
4. **KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů. Praha: BEN – technická literatura, 2013, 372 s. ISBN 978-80-7300-476-7.**
5. **OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken: Wiley, c2009, xxv, 843 s. ISBN 978-0-470-18930-6.**
6. **KAISER, Kenneth L. Electromagnetic shielding. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 0-8493-6372-1.**
7. **SENGUPTA, Dipak L. a Valdis V. LIEPA. Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005, xxii, 486 s. Wiley series in microwave and optical engineering. ISBN 0471165492.**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**  
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. prosince 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2018**

Ve Zlíně dne 8. prosince 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### **Prohlašuji, že**

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

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne 22. 5. 2018

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem elektromagneticky stínící mřížky pro objektiv bezpečnostních kamer. Návrh a ověření účinnosti stínící mřížky je uskutečněno nejprve pomocí simulačního softwaru CST Microwave Studio. Následně je stínící mřížka realizována a podrobena měření elektromagnetické stínící účinnosti s použitím měřicího koaxiálního vedení. Závěr práce je věnován stanovení vlivu stínící mřížky na optické vlastnosti bezpečnostní kamery. Proces je založen na porovnání snímků, zachycených bezpečnostní kamerou bez a se stínící mřížkou umístěnou mezi objektivem a snímanou scénou.

Klíčová slova: Elektrické pole, magnetické pole, elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická interference, elektromagnetická susceptibilita, stínící účinnost, kamera, CCD, CMOS, CST Microwave Studio.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the design of electromagnetically shielding grid for security camera lenses. The design and the effectiveness verification of the shielding grid is first performed with CST Microwave Studio simulation software. Then the shielding grid is made and measurement of electromagnetic shielding effectiveness using measuring coaxial line, is subjected. Ending of this thesis is dedicated to determining the effect of the shielding grid to optical properties of security camera. Process is based on comparing pictures captured by security camera without and with shielding grid placed between lens and the captured scene.

Keywords: Electric field, magnetic field, electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, electromagnetic susceptibility, shielding effectiveness, camera, CCD, CMOS, CST Microwave Studio.

Tímto děkuji panu Ing. Stanislavu Kovářovi za cenné rady a připomínky v průběhu zpracování diplomové práce dále panu doc. Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za vedení práce a samozřejmě i mým rodičům za podporu po celou dobu studia.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ELEKTRICKÁ A MAGNETICKÁ POLE.....</b>	<b>11</b>
<b>2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA .....</b>	<b>14</b>
2.1 EMC BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	15
2.2 EMC TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ A ZAŘÍZENÍ.....	15
<b>3 RUŠIVÉ VLIVY .....</b>	<b>17</b>
3.1 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....	19
3.1.1 Galvanická vazba .....	19
3.1.2 Kapacitní vazba .....	19
3.1.3 Induktivní vazba.....	20
3.1.4 Vazba vyzařováním.....	20
<b>4 STÍNĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ.....</b>	<b>21</b>
4.1 VZDÁLENÉ A BLÍZKÉ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE .....	21
4.2 ÚČINNOST STÍNĚNÍ .....	22
4.3 ÚČINNOST STÍNĚNÍ - VZDÁLENÁ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE .....	23
4.3.1 Útlum odrazem.....	23
4.3.2 Útlum absorpcí.....	24
4.3.3 Mnohonásobné odrazy .....	25
4.3.4 Celková účinnost.....	26
4.4 ÚČINNOST STÍNĚNÍ – BLÍZKÉ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE .....	28
4.4.1 Blízké elektrické pole.....	28
4.4.2 Blízké magnetické pole .....	29
4.5 OTVORY VE STÍNĚNÍ .....	29
4.6 SHRNUTÍ.....	31
<b>5 PRINCIP ČINNOSTI KAMER .....</b>	<b>33</b>
5.1 LIDSKÉ OKO .....	33
5.2 BAREVNÝ MODEL .....	33
5.3 OBJEKTIV .....	34
5.3.1 Ohnisková vzdálenost .....	34
5.3.2 Světelnost objektivu .....	35
5.3.3 Clona objektivu .....	35
5.3.4 Hloubka ostrosti .....	36
5.4 OPTICKÝ SNÍMAČ .....	36
5.4.1 CCD snímač .....	36
5.4.2 CMOS snímač .....	40
5.5 ELEKTRONICKÉ OBVODY KAMER.....	41
5.5.1 Digitalizace obrazu.....	41
5.5.2 Komprese obrazu .....	42

<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>44</b>
<b>6 SIMULACE STÍNÍCI ÚČINNOSTI NÁVRHU .....</b>	<b>45</b>
6.1 VLIV MATERIÁLU NA STÍNÍCI ÚČINNOST MŘÍŽKY .....	49
6.2 VLIV POČTU OTVORŮ NA STÍNÍCI ÚČINNOST MŘÍŽKY .....	50
6.2.1 Mřížka s jedním kruhovým otvorem.....	51
6.2.2 Mřížka se 49 otvory .....	51
6.2.3 Mřížka s 225 otvory .....	52
6.2.4 Výsledky simulace měření .....	53
6.3 VLIV TLOUŠTKY MŘÍŽKY NA JEJÍ STÍNÍCI ÚČINNOST .....	54
6.4 VLIV TVARU OTVORU NA STÍNÍCI ÚČINNOST MŘÍŽKY.....	55
6.4.1 Otvor čtverec .....	56
6.4.2 Otvor kruh .....	57
6.4.3 Otvor rovnostranný trojúhelník.....	58
6.4.4 Otvor rovnostranný šestiúhelník .....	59
6.4.5 Výsledky simulace měření .....	60
6.5 NÁVRH STÍNÍCI MŘÍŽKY .....	61
6.5.1 Mřížka A .....	62
6.5.2 Mřížka B.....	62
6.5.3 Mřížka C.....	63
6.5.4 Mřížka D .....	64
6.5.5 Mřížka E.....	64
6.5.6 Výsledky simulace měření .....	65
<b>7 REALIZACE STÍNÍCI MŘÍŽKY .....</b>	<b>66</b>
<b>8 MĚŘENÍ STÍNÍCI ÚČINNOSTI MŘÍŽEK.....</b>	<b>69</b>
<b>9 TESTOVÁNÍ OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ KAMERY .....</b>	<b>73</b>
9.1 MANUÁLNÍ ZMĚNA OHNISKOVÉ VZDÁLENOSTI.....	73
9.2 ELEKTRONICKÁ ZMĚNA OHNISKOVÉ VZDÁLENOSTI.....	76
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>82</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>88</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>



## ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita se stala aktuálním tématem v době, kdy nás elektronika obklopuje na každém kroku. Elektromagnetická kompatibilita zajišťuje konzistenci mezi elektronickými zařízeními, čímž zajišťuje fungování v elektromagnetickém prostředí. Cílem je dosáhnout stavu rovnováhy mezi vyzařováním a odolností. Jinými slovy zařízení by měla být odolná vůči nežádoucím elektromagnetickým polím a zároveň by sama měla eliminovat generované rušivé signály.

Dosažení optimální úrovně elektromagnetické kompatibility u bezpečnostních kamer může být problematické, jelikož tato zařízení jsou velice citlivá na elektromagnetická pole a realizace stínění není jednoduchá vzhledem k funkci kamer. Tělo bezpečnostní kamery je možné chránit vůči rušivým elektromagnetickým signálům poměrně jednoduše a účinně avšak problém nastává v oblasti dopadu světla do kamery, kdy je nutné zachovat vysokou propustnost světla.

Cílem práce je dosáhnout optimálního návrhu elektromagneticky stínící mřížky pro čočky či objektiv bezpečnostních kamer tak, aby stínící mřížka byla schopna útlumu elektromagnetického záření a zároveň výrazně nenarušovala optické vlastnosti kamery.

Práce je rozčleněna na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsáno elektromagnetické pole a jeho složky. Následuje objasnění pojmu elektromagnetická kompatibility a rušivé vlivy. Práce také definuje základy stínění elektromagnetického záření a faktory ovlivňující účinnost elektromagnetického stínění. Jelikož se jedná o návrh stínící mřížky pro čočku kamery, je popsán princip fungování a základní části bezpečnostní kamery.

V praktické části je popsán postup, který předchází návrhu stínící mřížky a následně je vytvořeno několik návrhů stínící mřížky pomocí simulačního softwaru. Navržené mřížky jsou zrealizovány a otestovány z hlediska stínící účinnosti vůči elektromagnetickému záření. Poslední krok zahrnuje zhodnocení vlivu navržených stínících mřížek na optické vlastnosti bezpečnostní kamery.

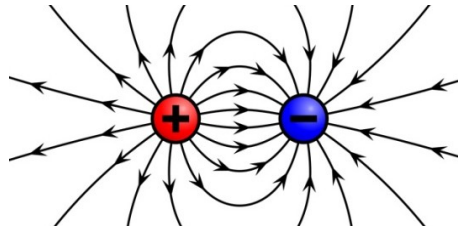
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ELEKTRICKÁ A MAGNETICKÁ POLE

Pojem „pole“ se používá k popisu prostorového rozdělení určité fyzikální veličiny. Taková pole, která se v čase nemění nebo se mění jen pomalu, se nazývají statická nebo stejnosměrná pole. Dalším druhem jsou střídavá pole, tedy pole, jejichž síla podléhá periodickým změnám. Podle příčiny a druhu účinku se rozlišuje mnoho druhů polí. Pro účely této práce budou podstatná následující pole:

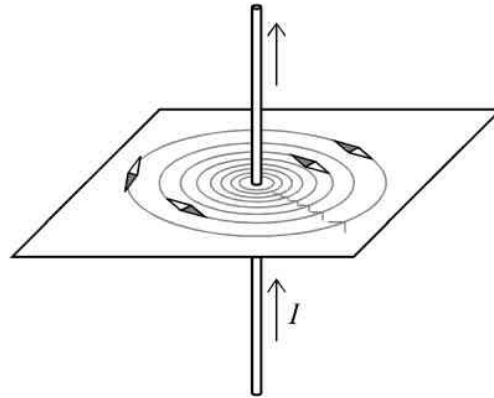
- **Elektrická pole** – mezi elektricky nabitými tělesy.
- **Magnetická pole** – v okolí magnetů a vodičů, kterými protéká elektrický proud.
- **Elektromagnetická pole** – vlny, u nichž jsou elektrická a magnetická pole vzájemně spřažena [1].

Pojmem **elektrické pole** ( $E$ ) je označeno působení elektricky nabitých těles v prostoru. Každé těleso může být elektricky nabit. Elektrický náboj je vlastností částic a může být kladný nebo záporný. Díky elektrickému náboji jsou tělesa schopna na sebe vzájemně působit elektrickou silou. Kolem atomového jádra se pohybují záporně nabitě částice, elektrony, které jsou nositelem záporného elektrického náboje. V atomovém jádru jsou protony, které jsou nositeli kladného náboje. Na základě svého silového náboje, získávají tělesa silový účinek. Pokud se v prostoru mezi náboji nachází těleso s vlastním nábojem, pak na toto těleso působí síla  $F$ . Velikost síly tělesa, se odvíjí od vzdálenosti těles a síly náboje. Elektrické pole, je tedy možné interpretovat také jako schopnost silového účinku. Pro vyvolání silového účinku není podmínkou protékající proud. Stejně nabitá tělesa se odpuzují, tělesa s rozdílnými náboji se vzájemně přitahují. Struktura elektrického pole je zobrazována pomocí takzvaných siločar, což jsou pouze myšlené čáry představující směr silového působení, viz *Obr. 1*. Siločáry začínají u kladného náboje a končí u záporného náboje [1]. Směr elektrických siločar je tedy „od plus k minus“ pro kladné i záporné nosiče náboje a je stanoven konvencí. Ve skutečnosti je však směr záporných nositelů elektrického náboje (elektronů) v kovech opačný a směr kladného náboje koresponduje se směrem dohodnutým [2].



Obr. 1. Elektrické pole v okolí kladného a záporného náboje [3].

Potenciálním rozdílem mezi elektricky nabitými tělesy v klidovém stavu vzniká elektrostatický silový účinek. Magnetický silový účinek je vyvolán protékajícím elektrickým proudem způsobeným změnou elektrického náboje těles. Schopnost elektrického proudu vyvolat silový účinek se označuje jako **magnetické pole** ( $H$ ). Magnetické siločáry, Obr. 2, jsou uzavřeny do sebe a tvoří kružnice kolem elektrického vodiče [1].



Obr. 2. Magnetické pole vodiče s procházejícím proudem [4].

V elektrotechnice jsou velmi rozšířeny periodické procesy. Mírou pro počet opakování za časovou jednotku je frekvence ( $f$ ), udává se v hertzech ( $Hz$ ) a jejich vyšších násobcích. Jeden hertz označuje jeden kmit za sekundu. Výška frekvence udává fyzikální vlastnosti záření a formu, v jaké se jeví, zejména jeho schopnost pronikat hmotou. Dráha, kterou vlna urazí v jedné periodě ( $T$ ) se označuje jako vlnová délka ( $\lambda$ ). Elektromagnetické vlny nemají povahu hmoty. Proto se šíří rychlostí světla ( $c$ )  $300\,000\,000\,m/s$  [1], [5]. Vztah pro výpočet vlnové délky je

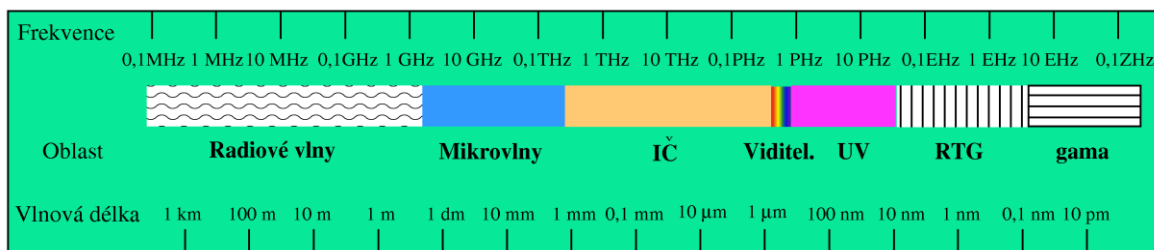
$$\lambda = \frac{c}{f} [m]. \quad (1)$$

Elektrická pole jsou dvou druhů a to stejnosměrná elektrická pole a střídavá elektrická pole. O **stejnosměrném elektrickém poli** lze hovořit, pokud je elektrický náboj tělesa časově konstantní. Elektricky nabitá tělesa jsou permanentně obklopena elektrickým polem. **Střídavá elektrická pole** vznikají připojením elektricky vodivého tělesa ke zdroji

střídavého napětí nebo mechanickým uvedením elektricky nabitého tělesa do pohybu. Frekvence střídavého pole je určena frekvencí střídavého proudu vyvolávajícího toto pole. Intenzita elektrického pole, stejnosměrného i střídavého, je závislá na elektrickém napětí mezi tělesy a na vzdálenosti pólů. Obě elektrická pole se měří ve voltech na metr ( $V/m$ ) [1].

V okolí pohybujících se nábojů je podmiňováno magnetické pole elektrickým proudem. Veškeré trvalé magnety vytvářejí **statická magnetická pole**. Důsledkem stejného nasměrování všech magnetických pólů v kovu dochází k magnetickému účinku. Všechna magnetická pole mají vždy jeden severní a jeden jižní pól, jsou to tedy tzv. dipóly. Jednopolové magnety neexistují. Permanentní magnetismus vzniká jen u kovů s vysokým obsahem železa, kobaltu nebo niklu. V okolí vedení a kabelů, jimiž protéká střídavý elektrický proud, vznikají **střídavá magnetická pole**. Na intenzitu a účinek střídavého magnetického pole má rozhodující vliv frekvence střídavého proudu. Intenzita a účinek magnetického pole jsou tím vyšší, čím vyšší je frekvence. U statického i střídavého magnetického pole je intenzita udávána v ampérech na metr ( $A/m$ ). Střídavá i statická magnetická pole disponují stejnými vlastnostmi. Pronikají téměř veškerými materiály, kromě speciálních kovových slitin nebo velmi silných vrstev železobetonu [1].

Magnetická a elektrická pole se mohou vyskytovat nezávisle na sobě. Zejména u frekvencí do 30 kHz, kdy vznikají jen v blízkém okolí elektrických vodičů. Vazba elektrického a magnetického pole zesiluje se stoupající frekvencí, hovoří se tedy o elektromagnetickém poli. Elektromagnetická pole se mohou odpoutat od místa vzniku a volně se šířit prostorem, asi od 30 kHz již nejsou pole vázána na vodič. Elektromagnetické vlny přenášejí energii. Intenzitou záření je vyjádřena energie přenášená za časovou jednotku. Intenzita se udává ve wattech na čtvereční metr ( $W/m^2$ ) [1].



Obr. 3. Elektromagnetické spektrum [6].

## 2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) neboli elektromagnetická slučitelnost znamená schopnost zařízení, systému či přístroje správně fungovat i v prostředí, ve kterém působí jiné zdroje elektromagnetických signálů, přírodní nebo umělé, a zároveň svým vlastním fungováním nepřipustně neovlivňuje své okolí vyzařováním rušivých signálů pro jiná zařízení. Z definice tedy vyplývá, že systém je elektromagneticky kompatibilní se svým okolím, pokud splňuje následující tři kritéria:

1. Nezpůsobuje rušení ostatních systémů.
2. Není náchylný na emisi záření ostatních systémů.
3. Nezpůsobuje rušení sebe sama [7], [8].

EMC tedy vyjadřuje schopnost zařízení nebo systémů, vyskytujících se ve společném elektromagnetickém prostředí, současně správně fungovat bez závažného ovlivňování jejich funkcí [7], [8].

Elektromagnetická kompatibilita je pojem, který se skládá ze dvou složek:

- **Elektromagnetická interference (EMI).**
- **Elektromagnetická susceptibilita (EMS) [9].**

**Elektromagnetická interference** neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém dochází k vyzařování rušivého signálu vyvíjeného zdrojem rušení a k přenosu rušivého signálu do rušeného systému prostřednictvím elektromagnetické vazby [9].

**Elektromagnetická susceptibilita** neboli elektromagnetická odolnost je schopnost zařízení nebo systému fungovat správně i v prostředí s elektromagnetickým rušením. Elektromagnetická susceptibilita se ještě dále dělí:

- **Interní EMS** – odolnost systému proti zdrojům rušení vlastního systému.
- **Externí EMS** – odolnost systému vůči externím zdrojům elektromagnetického rušení [9].

Problematika EMC se dále člení na dvě hlavní oblasti:

- **Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů.**
- **Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení [7], [8].**

S pojmem elektromagnetické kompatibility je spjata nemalé množství potíží od všedních až po katastrofické. V 80. letech 20. století došlo například ke zničení stíhacího letounu NATO typu Tornado nebo bitevního vrtulníku v USA. V obou případech sehrál hlavní roli let v blízkosti vysílače velkého výkonu, který způsobil rušení elektronického řídicího systému prostřednictvím vyzařovaného elektromagnetického záření [7], [8].

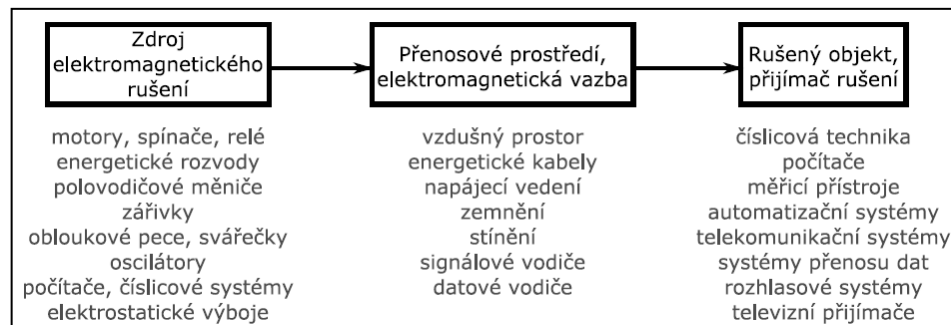
## 2.1 EMC biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá dopady působení elektromagnetického záření na živé organismy. Na základě mnoha biologických a biofyzikálních výzkumů není stále možné určit jednoznačné závěry. Účinky záření na organismy jsou posuzovány na základě nespécifických reakcí organismu, jelikož receptory pole nejsou doposud známy a každý organismus reaguje jinak [7]. Podle organizace WHO může mít nízkofrekvenční elektromagnetické pole negativní vliv na reprodukční orgány a dále může způsobovat onemocnění leukémií u dětí. U vysokofrekvenčních záření, zejména tedy mikrovlnná záření, je zřejmý tepelný účinek, který vzniká vzájemným třením buněk v tkáni [9].

## 2.2 EMC technických systémů a zařízení

Oblast EMC, zabývající se vzájemným působením a současným výskytem a fungováním technických prostředků. Pro EMC technických systémů a zařízení je klíčový tzv. **základní řetězec EMC** (*Obr. 4*), skládající se ze tří složek.

1. **Zdroj elektromagnetického rušení** – zkoumá vznik, charakter a intenzitu rušení. Patří zde přírodní a umělé zdroje rušení.
2. **Elektromagnetické přenosové prostředí a vazby** – zkoumá způsoby a cesty, jak se dostává energie ze zdroje rušení do přijímače.
3. **Přijímač rušení** – zabývá se zařazením a podrobným popisem rušivého účinku, na základě rozboru konstrukčních a technologických parametrů zařízení, od kterých se odvíjí elektromagnetická odolnost zařízení [7].



Obr. 4. Základní řetězec EMC [7].

Bohužel jakýkoliv systém, zařízení nebo jeho část mohou být zároveň vysílačem i přijímačem elektromagnetického rušení ale i přesto je možné označit za zdroj rušivého signálu takové zařízení, které je méně citlivé na rušení a generuje větší úroveň rušení. Naopak jako přijímač je možné označit zařízení citlivější s menší úrovní generovaného rušení. Mezi zdrojem a přijímačem ještě figuruje parazitní elektromagnetická vazba, kterou jsou zdroj i přijímač v obou směrech vázány [7].

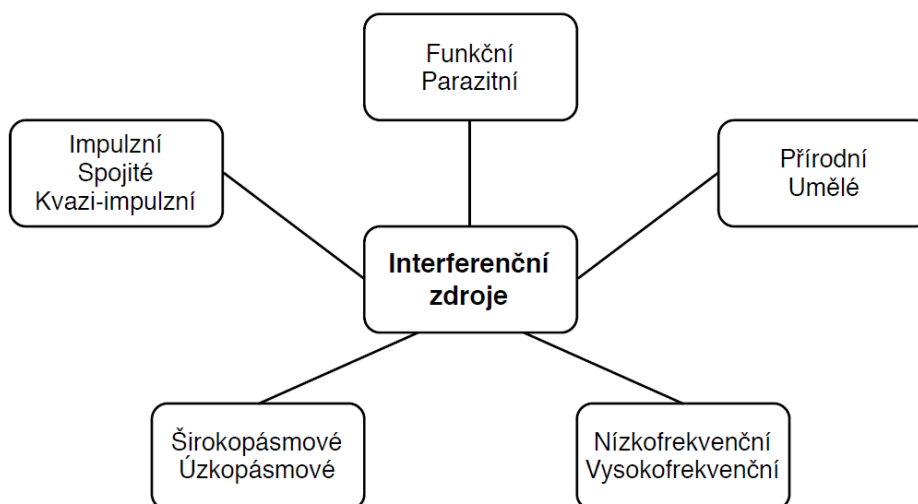
V reálném světě se ovšem nikdy nejedná pouze o jeden zdroj rušení a jeden přijímač, ale je vždy nutné řešit vztahy vzájemně se ovlivňujících několika systémů. Postup je takový, že jeden systém je nejprve považován za zdroj rušení a všechny ostatní systémy za přijímače a následně je tento vybraný systém považován za ovlivňovaný a jsou hodnoceny důsledky jeho interakce s ostatními systémy [7].

Pokud by nastal stav, kdy by bylo možné alespoň jednu část z řetězce EMC odstranit, jednalo by se o absolutně kompatibilní zařízení. V praxi je proto soustředěna pozornost na jednu ze tří oblastí řetězce EMC, podle charakteru zařízení nebo systému, kde se předpokládá dosažení největšího efektu EMC [7].



### 3 RUŠIVÉ VLIVY

Každý elektrotechnický systém je možné považovat za zdroj a zároveň i za přijímač elektromagnetického rušení. Je vyčleněna skupina systémů, u kterých typicky vysoce převládá proces generování rušivých signálů nad jejich příjmem. Skupina takových systémů se označuje jako interferenční zdroj nebo zdroj elektromagnetického rušení. V zásadě je možné dělení interferenčních zdrojů upřesnit schématem na *Obr. 5* [7], [11].



*Obr. 5. Dělení interferenčních zdrojů [11].*

**Funkční interferenční zdroje** představují zdroje rušení, které souvisejí s činností zařízení a zajišťují jeho funkčnost, ale při průniku do ostatních částí systému se stávají škodlivými. Patří zde například zdroje radiotelekomunikačního vysílání, radary a signály související s přenosovou energetickou soustavou. **Parazitní interferenční zdroje** jsou považovány za nefunkční, nežádoucí rušivé zdroje, jejichž rušivé signály mohou vznikat jako vedlejší produkt při činnosti systému. Původcem těchto interferenčních signálů bývají nelineární zátěže, spínací pochody, zkraty v soustavách apod. [7], [11].

**Přírodní interferenční zdroje** obvykle nemají souvislost s lidskou činností a projevují se přírodními elektromagnetickými jevy (bleskové výboje, elektrostatické výboje) a jevy mimozemského původu (sluneční vítr, polární záře). Vzniku přírodních rušivých signálů většinou nelze zabránit. **Umělé interferenční zdroje** vznikají jako důsledek lidské činnosti a zahrnují zmiňované funkční a parazitní interferenční zdroje. Z pohledu zamezení rušení jsou tyto zdroje rušení středem pozornosti [7], [11].

**Impulzní rušení** představuje sled jednotlivých impulzů nebo přechodných jevů. **Spojité rušení** je nepřetržitě působící rušení, kdy rušivé signály nejsou odděleny v čase. **Kvazi-impulzní rušení** představuje kombinaci impulzního a spojitého rušení [7], [11].

**Nízkofrekvenční rušení** se obvykle projevuje jako změna kvality síťového napájení. Šíří se většinou po vedeních a má původ v nelineárních zátěžích připojených na napájecí síť, pomalých změnách, poklesech a přerušeních napájecího napětí, nesymetriích napětí a přítomnosti dalších signálů v napájecích sítích. **Nízkofrekvenční rušení** lze dále dělit na **Energetické nízkofrekvenční rušení**, které působí v energetické soustavě zhoršení kvality síťového napětí a proudu. Zdrojem jsou obecně nelineární zátěže napájecí sítě. Objektem rušení jsou zařízení, která jsou závislá na tvaru křivky napájecího elektrického napětí. Takovým zařízením může být osvětlení, sdělovací systémy, stroje a přístroje. Kmitočtový dosah tohoto rušení je uvažován maximálně do 2,5 kHz. Pásmo do 10 kHz je označováno jako **Akustické nízkofrekvenční rušení**, které působí především na informační a komunikační systémy jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení atp. Zdrojem takového rušení jsou téměř veškeré energetické zdroje, radary nebo systémy číslicového přenosu dat [7], [11].

**Vysokofrekvenční (rádiové) rušení** se podle Radiokomunikačního řádu rozprostírá ve frekvencích od 10 kHz do 400 GHz a spadá zde velká většina rušivých zdrojů. Spodní kmitočtová hranice pro rádiové rušení je dána historickým vývojem EMC a postupně byla snižována ze stovek kHz na současných 10 kHz. V rozsahu od 10 kHz do 150 kHz vysokofrekvenční rušení generují polovodičové měniče a spínané zdroje s pracovním kmitočtem spadajícím právě do této oblasti. Přesto, že tyto interferenční zdroje mohou být svojí intenzitou významné, oblast není příliš zabezpečena emisními standardy. Kmitočtová oblast nad 150 kHz je velice bohatá na zdroje rušení. Patří sem číslicové systémy, zařízení se spínacími pochody, vysokofrekvenční přístroje, energetická soustava a rozličné vysílače [7], [11].

V oblasti zejména nízkofrekvenčního rušení dochází k dalšímu dělení interferenčních signálů z hlediska šíření na **rušení šířící se vedením**, které využívá k přenosu metalická vedení a **rušení šířící se vyzařováním**, kde k ovlivňování dochází prostřednictvím elektromagnetického pole v prostoru. V tomto případě je nutné rozlišit, zda se jedná o blízké nebo vzdálené elektromagnetické pole [7], [11].

**Úzkopásmové rušení** představuje rušivé signály, které mají takové časové průběhy, že vykazují v kmitočtové oblasti velice úzké spektrum. Jedná se obvykle o záměrně využívané pracovní signály různých vysílačů telekomunikačního, rozhlasového a televizního přenosu. **Širokopásmové rušení** zahrnuje rušivé signály se spojitým, impulzním nebo kvazi-impulzním průběhem, které se vyskytují především v průmyslové oblasti. Do této oblasti lze zahrnout i rušení produkované přírodními zdroji [7], [11].

### 3.1 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Přenos rušivých signálů ze zdroje k přijímači nejvíce závisí na elektromagnetickém vazebním prostředí. Je tedy podstatný druh a způsob vazby mezi zdrojem a přijímačem interferenčního signálu. Na základě fyzikálního principu existují čtyři druhy elektromagnetických vazeb [7].

- Galvanická vazba.
- Kapacitní vazba.
- Induktivní vazba.
- Vazba vyzařováním.

#### 3.1.1 Galvanická vazba

Galvanické rušivé vlivy nastupují, když dojde ke spojení proudových okruhů se společnými impedancemi, přes zemní vedení nebo přes společné napájení. V prvním okruhu vzniká rušivé napětí, které může být rušivé pro druhý okruh. Ovlivnění je menší, čím vyšší je velikost odporu a indukčnost společného vedení [7], [11].

#### 3.1.2 Kapacitní vazba

Kapacitní ovlivňování je způsobeno parazitní vazební kapacitou mezi různě uspořádanými vodiči případně částmi systému. Pokud se jedná o paralelně vedené vodiče, je možné kapacitní vazbu galvanicky oddělených obvodů omezit zkroucením vodičů zdroje rušení nebo použitím stíněných vodičů. Když je rušivé napětí přenášeno skrz uzemnění na vstup obvodu, jedná se o kapacitní vazbu vůči zemi. Kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem se často vyskytuje u analogových a číslicových obvodů [7].

### 3.1.3 Induktivní vazba

Ve vodičích, jež jsou vystaveny časově proměnnému magnetickému poli, vzniká induktivní vazba. Vlivem působení magnetického pole dochází k indukci napětí ve vodiči. Velikost indukovaného napětí je tím větší, čím větší je frekvence nebo časové změny proudů v hlavním obvodu. Při vysoké velikosti proudu a jeho rychlých změnách (úder blesku) může být vazba velmi nebezpečná. K omezení induktivní vazby je vhodné, aby vzájemná vzdálenost vodičů byla co největší a naopak, velikost proudové smyčky interferovaného vedení a délka paralelně vedených vodičů co nejmenší [7].

### 3.1.4 Vazba vyzařováním

Pokud je vzdálenost mezi zdrojem a přijímačem rušení taková, že je prakticky vyloučena vazba kapacitní nebo induktivní, může docházet ke vzájemné vazbě obou objektů prostřednictvím vyzářeného elektromagnetického pole. Mezi parazitní vazby lze zařadit rušení blízkými vysílači nebo atmosférická rušení. Elektromagnetická vlna způsobí indukci rušivého napětí ve vodičích přijímače, které se v obvodech přijímače sečítá s užitečným signálovým napětím a může nastat stav, kdy rušivé napětí zcela překryje užitečné signálové napětí přijímače [7].

Účinnou ochranu proti elektromagnetickému rušení vyzařováním je možné uskutečnit pomocí umístění stínícího krytu nebo přepážky mezi zdroj a přijímač rušení, která signál nepropustí vůbec nebo alespoň zredukuje jeho intenzitu [7].

## 4 STÍNĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

Stínění je přepážka, která je umístěna mezi dvěma oblastmi prostoru. Stínění by mělo být z kovového materiálu nebo z materiálu, který obsahuje kovové částice alespoň částečně. Elektromagnetické stínění slouží k redukci nebo eliminaci pronikání elektromagnetického záření z jedné oblasti prostoru do druhé. Stínění se používá ke snížení vyzařovaného záření zařízením. Vytvoří se tedy štít kolem zařízení, který má za úkol nepropustit záření do okolního prostoru. Stínění je možné také použít na přijímač záření, kdy je úkolem stínění zamezit vniku nežádoucího záření z okolí. Stínění zdroje rušení je mnohem účinnější a jednodušší než stínění přijímače [7], [12], [13].

### 4.1 Vzdálené a blízké elektromagnetické pole

Charakteristika pole je ovlivňována třemi faktory. Zdrojem záření, prostředím kolem zdroje a vzdáleností mezi zdrojem záření a ovlivňovaným objektem, zařízením. V těsné blízkosti zdroje záření jsou vlastnosti pole ovlivňovány zejména zdrojem záření. Zatímco ve větší vzdálenosti od zdroje závisí vlastnosti pole hlavně na prostředí, kterým pole prostupuje. Prostředí obklopující zdroj záření je tedy možné rozdělit na dvě oblasti. Blízké a vzdálené pole. Pokud je prostředí blízko u zdroje záření, je označováno jako blízké pole. Pokud je prostředí ve větší vzdálenosti od zdroje záření, je označováno jako vzdálené pole. O blízké pole se jedná, pokud je vzdálenost od zdroje menší než  $\frac{\lambda}{2\pi}$ . Pokud je vzdálenost větší, jde o pole vzdálené. Oblast v okolí  $\frac{\lambda}{2\pi}$  je přechodové pásmo mezi blízkým a vzdáleným polem [12], [13].

Pokud se jedná o blízké pole, je nutné rozlišovat elektrické a magnetické vlny, jelikož jejich impedance je rozdílná v případech kdy převažuje elektrické pole nebo naopak magnetické pole. U vzdáleného pole je impedance elektrických a magnetických vln stejná a odpovídá impedanci prostředí [12], [13].

Podle publikace [12] je impedance dopadající rušivé vlny ( $Z_0$ ) je dána poměrem elektrického pole ( $E$ ) k magnetickému poli ( $H$ )

$$Z_0 = \frac{E}{H} [\Omega]. \quad (2)$$

## 4.2 Účinnost stínění

Účinnost stínění je založena na absorpci a reflexi záření. Absorpce je výsledkem tepla vznikajícího ve stínění průchodem elektromagnetického záření, zatímco reflexe je výsledkem rozdílných impedancí rovinné vlny a stínění. Účinnost stínění tedy udává jak moc je stínění schopno redukovat dopadající elektromagnetické záření. Udává se v decibelech. Pro elektrická pole je účinnost stínění definována jako

$$SE = 20 \log \frac{E_0}{E_1} [dB], \quad (3)$$

zatímco pro magnetická pole je vztah

$$SE = 20 \log \frac{H_0}{H_1} [dB]. \quad (4)$$

Kdy  $E_0(H_0)$  je energie dopadajícího pole a  $E_1(H_1)$  je energie pole, které prošlo skrz stínění [12], [13].

Efektivita stínění se skládá ze tří základních složek.

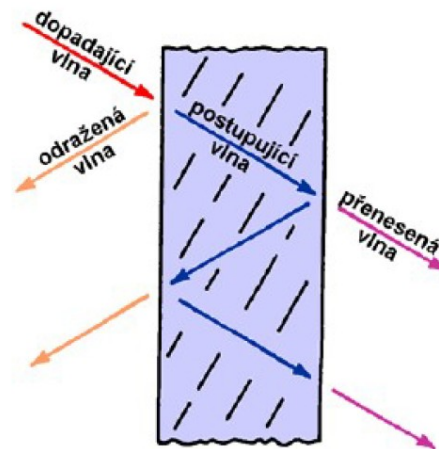
- Útlum reflexí/ odrazem (*R - Reflection*).
- Útlum absorpcí (*A - Absorption*).
- Útlum vícenásobnými odrazy (*MR – Multiple-Reflection*) [14].

Když interferenční záření dorazí k elektromagnetickému stínění, část záření se odrazí, část absorbuje a zbytek prochází skrz stínění, viz *Obr. 6*. Výsledná hodnota útlumu (*SE – Shielding effectiveness*) stínění je součtem všech těchto tří složek, udávaná v dB [12], [14].

$$SE_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + MR_{dB} \quad (5)$$

K realizaci návrhu elektromagnetického stínícího krytu a následného ověření jeho požadované funkčnosti, bývají využívány Maxwellovy rovnice, které jsou využity i simulačním softwarem CST Microwave studio pro výpočty spojené se simulací měření. Obecně lze říci, že účinné stínění je takové, kdy intenzita elektromagnetického pole uvnitř stíněného prostoru je nižší, než v prostoru před stíněním. Elektrony a ostatní částice záření se rozdělí na elektrické a magnetické pole. Tento jev popisuje Lorentzův zákon síly. Náboje ve stínění se pohybují v závislosti na elektrickém a magnetickém poli rušící vlny. Tyto náboje svým pohybem dále vytvářejí elektrické a magnetické pole uvnitř stínění. Stínění tedy vytváří opačné pole, kterým redukuje rušivé elektromagnetické pole. Schopnost stínění vy-

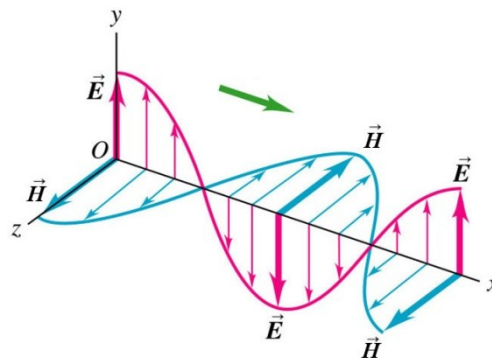
tvářet opačná pole se odvíjí zejména od elektrické vodivosti materiálu daného stínění [12], [14].



Obr. 6. Průchod elektromagnetické vlny kovovou přepážkou [7].

### 4.3 Účinnost stínění - vzdálená elektromagnetické pole

Účinnost stínění je rozdílná v závislosti na vzdálenosti zdroje signálu od elektromagnetického stínění. Proto je nutné rozlišit, zda se jedná o vzdálené nebo blízké elektromagnetické pole. Ve vzdáleném poli, jak ukazuje Obr. 7, se vyzařování elektromagnetického záření projevuje jako rovinná vlna, kdy elektrická a magnetická pole jsou navzájem kolmá a zároveň jsou kolmá ke směru šíření záření [13], [14].



Obr. 7. Elektromagnetická vlna, vzdálené elektromagnetické pole [15].

#### 4.3.1 Útlum odrazem

Jak již název napovídá, k útlumu odrazem dochází na základě odrazu energie elektromagnetického záření na rozhraní mezi dvěma prostředími vlivem rozdílných impedancí interferenční vlny (prostředí) a stínícího materiálu, pro vzduch je velikost impedance

377  $\Omega$ . K útlumu odrazem dochází na obou stranách stínění. Na straně vstupu vlny i na straně jejího výstupu z materiálu, pokud jím projde [7], [12], [13], [14].

Elektrická a magnetická pole jsou však reflektována rozdílně. Pro elektrická pole dochází k největšímu odrazu od stínění při přechodu ze vstupního prostředí do stínícího materiálu, zatímco pro magnetická pole dochází k největšímu útlumu odrazem mezi stínícím materiálem a výstupním prostředím, tedy až po průchodu stínícím materiálem. Jelikož dochází k největšímu odrazu elektrického pole před vstupem do stínícího materiálu, dokáže jej účinně utlumit odrazem i tenká vrstva stínícího, dobře elektricky vodivého, materiálu. Hlavními faktory, ovlivňující odrazovou schopnost materiálu jsou jeho elektrická vodivost, indukčnost a kapacitance. Útlum odrazem se snižuje s rostoucí frekvencí. Útlum odrazem lze popsat jako

$$R_{dB} = 20 \log \left| \frac{(Z_0 + Z_S)^2}{4Z_0Z_S} \right|, \quad (6)$$

kde  $Z_0$  je impedance prostředí (vlny) před kontaktem se stíněním a  $Z_S$  je impedance stínícího materiálu [7], [12], [13], [14].

Jak je uvedeno v publikaci [12], pokud je stínění tvořeno dobrým vodičem, tedy  $Z_0 \gg Z_S$ , je možné útlum odrazem vyjádřit jako

$$R_{dB} = 20 \log \frac{|Z_0|}{4|Z_S|}. \quad (7)$$

### 4.3.2 Útlum absorpcí

Při útlumu absorpcí pomocí kovového stínění dochází k pohlcení energie elektromagnetického záření stínícím materiálem. U dokonalého vodiče je elektrický proud indukován právě na jeho povrchu. V případě reálných vodičů je však situace rozdílná. Pro reálný vodič/ materiál, elektromagnetické pole pronikne do nenulové vzdálenosti pod povrch materiálu. Tato hloubka vniku ( $\delta$ ) se mění v závislosti na vlastnostech materiálu a frekvenci záření. Hloubka vniku vybraných materiálů při určitých frekvencích je uvedena v *Tab. 1*. Útlum absorpcí roste se vzrůstající frekvencí a tloušťkou ( $t$ ) materiálu. Míra absorpce tedy závisí na tloušťce stínícího materiálu a hloubce vniku záření do stínícího materiálu [7], [8], [12], [13], [14]. Na základě publikace [12] je absorpce elektromagnetického záření kovovým stíněním



$$A_{dB} = 20 \log e^{\frac{t}{\delta}}. \quad (8)$$

Hloubka vniku je definována vztahem

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{f\mu\sigma}}, \quad (9)$$

kde  $\mu$  představuje permeabilitu stínícího materiálu a  $\sigma$  představuje elektrickou vodivost stínícího materiálu [12]. Na základě publikace [12] je tedy možné vyjádřit absorpční útlum jako

$$A_{dB} = 8,69 \left( \frac{t}{\delta} \right). \quad (10)$$

Tab. 1. Hloubka vniku u vybraných materiálu. Upraveno [12].

Frekvence	Měď (mm)	Hliník (mm)	Ocel (mm)
60 Hz	1,32	1,69	0,13
100 Hz	1,02	1,31	0,10
1 kHz	0,32	0,41	0,031
10 kHz	0,10	0,13	0,012
100 kHz	0,031	0,043	0,0031
1 MHz	0,012	0,012	0,0012
10 MHz	0,0031	0,0039	0,00039
100 MHz	0,0010	0,0012	0,00031
1000 MHz	0,00031	0,00039	0,00016

### 4.3.3 Mnohonásobné odrazy

K mnohonásobným odrazům dochází po proniknutí vlny do stínění. Dochází k opakovaným odrazům vlny uvnitř stínění, od jednoho rozhraní ke druhému a zase zpět (Obr. 6). Díky tomu, že vlna se odráží uvnitř stínícího materiálu, dojde k její alespoň částečné absorpci materiálem stínění. Mnohonásobné odrazy se týkají zejména tenkých stínících materiálů. Naopak u stínění s velkou tloušťkou materiálu je absorpce vysoká, takže k mnohonásobným odrazům nemusí vůbec docházet [7], [12]. Podle publikace [12] je velikost útlumu mnohonásobnými odrazy je definována jako

$$MR_{dB} = 20 \log \left( 1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right). \quad (11)$$

Pokud  $Z_0 \gg Z_S$  a zároveň je tloušťka stínícího materiálu podstatně větší než hloubka vniku ( $t \gg \delta$ ), pak je pro celkový útlum stínění výskyt mnohonásobných odrazů zanedbatelný [7], [12].

Jiná situace však nastává, pokud je tloušťka stínícího materiálu menší než je hloubka vniku ( $t \ll \delta$ ). Za tohoto předpokladu naopak mnohonásobné odrazy snižují celkovou účinnost stínění. Obr. 8 zobrazuje, jak moc ovlivňují mnohonásobné odrazy účinnost stínění v závislosti na tloušťce materiálu a hloubce vniku. Například pokud je tloušťka stínícího materiálu tisíckrát menší než hloubka vniku, znamená to redukcí celkové účinnosti stínění o 54 dB [7], [12].

$t/\delta$	(dB)
0.001	-54
0.002	-48
0.004	-42
0.006	-38
0.008	-36
0.01	-34
0.05	-20

Obr. 8. Vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění [12].

#### 4.3.4 Celková účinnost

Celková účinnost stínění je ovlivněna také frekvencí, geometrií stínění, typem ovlivňovaného pole a úhlem dopadajícího záření. Jaké množství záření projde skrz stínění je dáno odrazovou schopností stínícího materiálu z vnitřní i vnější strany a schopností stínícího materiálu absorbovat záření. Pokud je tloušťka materiálu nízká oproti hloubce průniku, dochází ke značnému průniku záření stíněním. U kovového stínění se jeho účinnost zvyšuje spolu s rostoucí elektrickou vodivostí a tloušťkou stínění, a pro magnetické pole, i s rostoucí relativní permeabilitou. Relativní elektrická vodivost a relativní permeabilita vybraných materiálů, vztaženo vůči mědi, jsou uvedeny na Obr. 9. Stínící účinnost tenkých stínění je založena na odrazu a ne na absorpci. Pro efektivní útlum odrazem je potřeba, aby tloušťka stínícího materiálu byla nižší než hloubka průniku a impedance stínění musí být nižší než impedance okolního prostředí. Útlum absorpcí je podstatný pro magnetická pole, zatímco pro elektrická pole je účinnější útlum odrazem [7], [13], [14].

Útlum odrazem je nejefektivnější v nízkých frekvencích pro dobře vodivé kovy a s rostoucí frekvencí klesá. Útlum odrazem je vyšší u nemagnetických materiálů. Útlum absorpcí roste spolu s rostoucí frekvencí a je lepší u vodivých feromagnetických materiálů.

V nízkých frekvencích je účinnější útlum odrazem, ve vyšších frekvencích zase dominuje absorpční útlum a to u elektrických i magnetických polí [7], [13], [14].

Materiál	$\sigma_r$	$\mu_r$	$A \sim \mu_r \sigma_r$	$R \sim \sigma_r / \mu_r$
Stříbro	1.05	1	1.05	1.05
Měď	1	1	1	1
Zlato	0.7	1	0.7	0.7
Hliník	0.61	1	0.61	0.61
Mosaz	0.26	1	0.26	0.26
Bronz	0.18	1	0.18	0.18
Cín	0.15	1	0.15	0.15
Olovo	0.08	1	0.08	0.08
Nikl	0.2	600	120	$3.3 \times 10^{-4}$
Nerezová ocel (430)	0.02	500	10	$4 \times 10^{-5}$
Ocel (SAE 1045)	0.1	1000	100	$1 \times 10^{-4}$

*Obr. 9. Relativní elektrická vodivost a relativní permitivita vybraných materiálů. Upraveno [8].*

Na rozdíl od jiných materiálů, elektrická vodivost některých kovů jako měď, hliník nebo stříbro, se nemění s měnící se frekvencí elektrického pole. Pro ostatní nekovové materiály je většinou jejich elektrická vodivost proměnlivá na základě frekvence elektrického pole. V literatuře se uvádí většinou jeden údaj elektrické vodivosti daného materiálu, to může svádět k domněnce, že se elektrická vodivost materiálu nemění v závislosti na frekvenci. Opak je však pravdou a výjimkou nejsou ani dobře vodivé kovy [14].

Relativní permeabilita je funkce s několika faktory, z nichž nejpodstatnější je frekvence. Permeabilita se s rostoucí frekvencí snižuje. Například součin relativní permeability a elektrické vodivosti je pro měď rovný jedné. Pro ostatní nemagnetické kovy, kromě stříbra, je tento součin nižší než jedna. U magnetických materiálů může tento součin dosáhnout hodnoty až několika tisíc [14].

Při výběru materiálu stínění je však nutná jistá obezřetnost, jedním z primárních faktorů pro výběr materiálu je jeho korozivzdornost. Korozí materiálu není možné zanedbat, jelikož kamera spolu se stínicí mřížkou se může vyskytovat ve venkovních prostředích, kde působí povětrnostní vlivy. Koroze je jev, kdy dochází k chemické nebo elektrochemické reakci mezi materiálem a jeho prostředím a samozřejmě v důsledku koroze dochází ke znehodnocování materiálu a jeho vlastností [14].

K chemickým reakcím dochází mezi povrchem materiálu a plynem o vysoké teplotě. Elektrochemická reakce se zase vyskytuje, když na kov působí elektrolytické prostředí

jako voda, vysoká relativní vlhkost vzduchu nebo sůl. Elektrochemická reakce tedy v reálném použití nastane a ve venkovních prostorách postupuje mnohem rychleji. Faktorem však je, že korozi není možné zastavit, je možné ji pouze zpomalit, například nátěrem nebo pokovením/ galvanizací jiným kovem, jako je třeba zinek. Všechny kovy korodují, avšak některé (ocel, železo) korodují rychleji, jiné (mosaz, bronz) korodují pomaleji. U galvanizace je podstatné, aby korodujícího kovu bylo hodně a kovu, kterým se galvanizuje, méně. V opačném případě může docházet k oddělení dvou kovů [14].

#### 4.4 Účinnost stínění – blízké elektromagnetické pole

Pokud se stínění nachází v blízké zóně elektromagnetického pole, tedy ve vzdálenosti  $r$  od zdroje signálu nižší než  $\frac{\lambda}{2\pi}$ , je jeho účinnost výrazně odlišná od stínící přepážky ve vzdáleném poli. Celková účinnost stínění je definována stejným vztahem pro vzdálené i blízké pole. V blízkém elektromagnetickém poli se vyskytují stacionární kvazi-statická pole, tedy dva druhy tohoto pole.

- Kvazi-statické (blízké) elektrické pole.
- Kvazi-statické (blízké) magnetické pole [7].

##### 4.4.1 Blízké elektrické pole

Charakteristická impedance je

$$Z_{0E} = Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r} \gg Z_0. \quad (12)$$

Impedance blízkého pole elementárního elektrického dipólu  $Z_{0E}$  je tedy znatelně vyšší než impedance vlny  $Z_0$  ve vzdáleném elektromagnetickém poli. Elektrický dipól je označován jako vysokoimpedanční zdroj elektromagnetického pole [7].

Útlum absorpcí je dán vztahem

$$A_{dB} = 8,69 \left( \frac{t}{\delta} \right), \quad (13)$$

stejně jako u vzdáleného pole [7].

Pro útlum elektrické vlny odrazem platí

$$R_E = 20 \log \frac{|Z_0 \frac{\lambda}{2\pi r}|}{4|Z_S|} [dB]. \quad (14)$$

V blízkém poli je stínění elektrického pole účinnější než ve vzdáleném poli a velikost útlumu roste s klesající vzdáleností mezi zdrojem záření a stíněním [7].

#### 4.4.2 Blízké magnetické pole

Charakteristická impedance je

$$Z_{0H} = Z_0 \frac{2\pi r}{\lambda} \ll Z_0. \quad (15)$$

Impedance blízkého pole magnetického dipólu  $Z_{0H}$  je tedy mnohem nižší než impedance vlny  $Z_0$ , ve vzdáleném magnetickém poli. Magnetický dipól je označován jako nízkoimpedanční [7].

Útlum absorpcí je dán vztahem

$$A_{dB} = 8,69 \left( \frac{t}{\delta} \right), \quad (16)$$

stejně jako u blízkého elektrického pole a vzdáleného pole [7].

Útlum odrazem pro blízké magnetické pole je určen vztahem

$$R_H = 20 \log \frac{|Z_0 \frac{2\pi r}{\lambda}|}{4|Z_S|} [dB]. \quad (17)$$

Útlum odrazem pro blízké magnetické pole je méně efektivní než u vzdáleného pole a dochází ke snižování útlumu odrazem s klesající frekvencí. Pro účinné utlumení magnetického záření na nízkých frekvencích v blízkém magnetickém poli je tedy nutné použít větší tloušťku stínícího materiálu, nejlépe z kovu s vysokou relativní permeabilitou, aby docházelo k útlumu absorpcí [7].

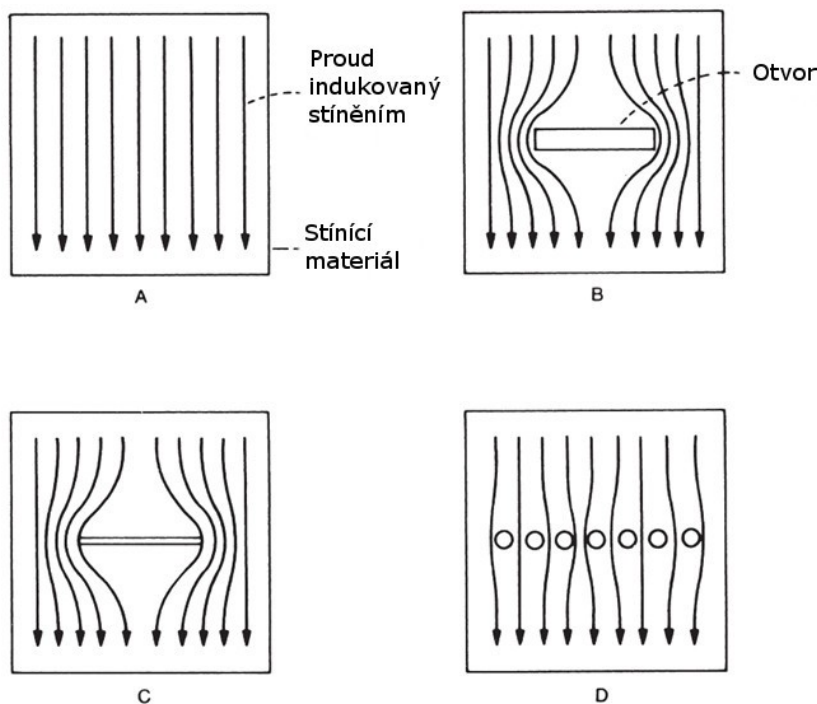
#### 4.5 Otvory ve stínění

Otvory ve stínění mohou být nutné z mnoha různých důvodů, nejčastěji se však jedná o tvory určené k proudění vzduchu, nebo kvůli viditelnosti skrz stínění. Otvory ve stínění mohou znatelně ovlivnit jeho účinnost. Proto vyvstává otázka, zda je vhodnější použít jeden velký otvor nebo více menších otvorů.

Negativní vliv otvorů ve stínění na jeho celkovou účinnost je mnohem vyšší pro magnetická pole než pro elektrická pole. Jaké množství elektromagnetického pole projde skrz otvor ve stínění je dáno zejména:

- Rozměry otvoru.
- Impedancí vlny elektromagnetického pole.
- Frekvencí elektromagnetického pole [12].

Velikost otvoru není ani tak podstatná z pohledu jeho plochy, ale spíše o to, jak je otvor prostorově řešený, kdy na průnik záření otvorem má podstatný vliv rozměr největší strany otvoru. Dopadající elektromagnetické pole způsobuje na povrchu stínění indukci elektrického proudu, tento elektrický proud vytváří další pole. Toto nové pole vyruší původní dopadající elektromagnetické pole v určitých částech prostoru kolem stínění, zejména se jedná o oblast na opačné straně stínění, tedy v prostoru, kde je stíněný objekt. Aby mohlo dojít k tomuto vyrušení pole, musí mít indukované, nové pole, možnost projít nezměněné skrz stínění. Pokud otvor změní cestu šíření tomuto poli, nebude schopné původní elektromagnetické pole zcela vyrušit a dochází ke snížení účinnosti elektromagnetického stínění. Obr. 10 ukazuje, jak otvory ve stínění ovlivňují průchod indukovaného proudu [12], [13], [14].



Obr. 10. Vliv otvorů ve stínění na průchod indukovaného proudu. Upraveno [12].

Z Obr. 10 je zjevné, že stínění bez otvorů nemění cestu šíření indukovaného proudu vůbec, zatímco obdélníkový otvor o velkém rozměru jeho délky, podstatně změní trasu procházejícího indukovaného proudu. Užší otvor má téměř stejný vliv na průchod indukovaného proudu jako otvor širší. Obrázek také ukazuje, při porovnání příkladů *B* a *D*, že větší počet menších otvorů, při stejné ploše jako jeden velký otvor, změní cestu procházejícího indukovaného proudu podstatně méně a tím je tedy použití většího počtu menších otvorů efektivnější pro celkovou účinnost stínění [12], [13], [14].

Pokud je v elektromagnetickém stínění množství otvorů, způsobují samozřejmě, tak jako pouze jeden otvor, redukci účinku stínění. Snížení efektivity stínění vlivem mnohonásobných otvorů závisí na několika faktorech:

- Počet otvorů.
- Frekvence rušivého pole.
- Vzájemná vzdálenost otvorů [12].

V případě, že je vyžadována dobrá propustnost světla, je možné užití pletiva, kdy použití 4 až 10 vodičů na jeden centimetr, zaručuje velmi vysokou viditelnost. Při použití většího množství vodičů na centimetr už dochází ke snížení propustnosti světla skrz pletivo [12].

Účinnost stínění s jedním kruhovým otvorem je dána vztahem

$$SE_{dB} = 40 \log \left( \frac{\lambda}{2r} \right) = 40 \log \left( \frac{c}{2rf} \right). \quad (18)$$

Kde  $r$  je největším rozměrem otvoru, u kruhu tedy průměr otvoru, avšak pouze pokud je menší nebo roven polovině vlnové délky [16].

Pro určení účinnosti stínění s více otvory je nutné definovat následující vztah.

$$SE_{dB} = 40 \log \left( \frac{\lambda}{2r} \right) - 20 \log N. \quad (19)$$

Kde  $N$  je počet otvorů a jejich vzájemná vzdálenost je rovna maximálně polovině vlnové délky [16].

## 4.6 Shrnutí

Útlum odrazem je vysoký pro elektrická pole ale nízký pro nízkofrekvenční magnetická pole. Útlum odrazem se spolu s rostoucí frekvencí snižuje, naopak útlum absorpcí se

zvyšuje. Magnetická pole se stíní obtížněji než elektrická pole. Pro stínění magnetických polí na nízkých frekvencích je vhodný materiál s vysokou relativní permeabilitou, zatímco pro útlum elektrického pole a magnetického pole vyšších frekvencí je vhodné použít materiál s vysokou elektrickou vodivostí. Před návrhem elektromagnetického stínění musí být nejprve stanoveny charakteristiky interferenčního pole. Dále se musí zohlednit materiál, tloušťka a počet a velikost otvorů ve stínění.



## 5 PRINCIP ČINNOSTI KAMER

Kamera je zařízení, které snímá obraz sledované scény, kdy světelná energie odražená od předmětů v zorném poli kamery je kamerou převedena na elektrické signály. Tyto signály jsou určeny k přenosu a zpracování zaznamenaného obrazu. Základní funkci kamery plní zejména **objektiv**, který obstará dopad světla na optický snímač v potřebné kvalitě, **optický snímač**, který transformuje dopadající světlo na elektrický signál a **elektronika kamery** [17], [18].

### 5.1 Lidské oko

Princip činnosti kamer se odvíjí od fungování lidského oka. Lidské oko je orgán, jehož tvar je velice podobný kouli. Světlo nejprve projde skrz průhlednou rohovku. Dále světlo prochází skrz přední oční komoru, která je naplněna komorovou vodou, a následně přes zornici a čočku. Zornice mění svou velikost, od dvou do šesti milimetrů, a tím je ovlivňováno množství procházejícího světla. Čočka se zase dokáže, pomocí svalu, vyklenovat a zplošťovat a tím měnit ohniskovou vzdálenost. Obraz okolních objektů je vytvářen na sítnici a tento obraz je skutečný, zmenšený a převrácený. Barevné vidění je možné díky čípkům, což jsou fotoreceptory citlivé na základní tři barvy (modrá, zelená, červená). Černobílé vidění zase zajišťují tyčinky. Oko je citlivé na elektromagnetické záření o vlnové délce 380 – 720 nanometrů. Tomuto spektru elektromagnetického záření se říká viditelné [18], [19].

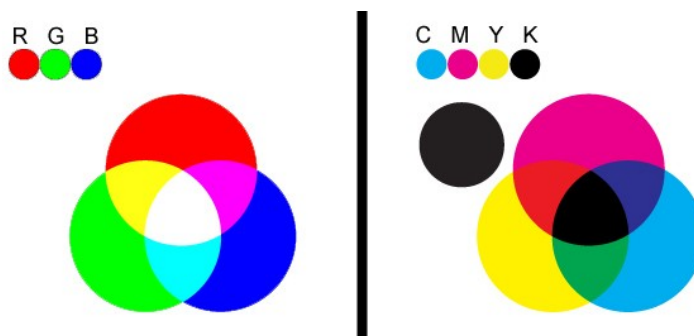
### 5.2 Barevný model

Jedná se o matematický model, který udává základní barvy a jejich vzájemnou kombinaci pro dosažení barev doplňkových. Základní barevné modely jsou:

- RGB – red, green, blue – červená, zelená, modrá.
- CMY(K) – cyan, magenta, yellow, (blacK) – azurová, purpurová, žlutá, (černá).
- HSB – hue, saturation, balance – odstín, sytost, jas.
- HSL – hue, saturation, lightness – odstín, sytost, jas.

**RGB** barevný model (*Obr. 11*) tvoří tři základní barvy: červená, zelená a modrá. Tyto tři barvy se míchají a následně vznikají ostatní barvy. Smícháním všech tří základních barev vzniká barva bílá. Je možné dosáhnout 16,8 milionu odstínů barev. RGB model se využívá zejména u monitorů, televizorů a projektorů [18].

**CMY** model (*Obr. 11*) je tvořen třemi barvami: azurová, purpurová, žlutá. Smícháním těchto barev je výsledná barva černá, která však nebude ideálně černá. Proto je tento barevný model velice často doplňován ještě o barvu černou a označuje se **CMYK**. Jelikož je barevný model **CMY** využíván v největším zastoupení u tiskáren, je černý odstín doplněn z ekonomického důvodu. Je levnější tisknout černou barvou, než ji skládat ze třech barevných složek [18].



*Obr. 11. RGB a CMYK [20].*

**HSB** model se skládá z barevného odstínu, sytosti a jasu. Tento model však disponuje nedostatky, kdy není plynulý přechod mezi bílou a černou barvou a není plynulá ani změna barevného odstínu. **HSL** barevný model je v podstatě totéž jako **HSB**, ale odstraňuje některé nedostatky modelu **HSB** [18].

### 5.3 Objektiv

Objektiv zajišťuje dopad zmenšeného obrazu snímané scény na optický snímač. Objektiv je soustava čoček a dalších částí, které jsou opticky centrované. Hlavní parametry objektivu jsou:

- Ohnisková vzdálenost.
- Světelnost.
- Clona.
- Hloubka ostrosti [17], [18].

#### 5.3.1 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost ( $f$ ) je myšlená vzdálenost za objektivem, měřená od optického středu objektivu k rovinně snímání. Rovina snímání je rovina optického snímače. Kdy v této vzdálenosti je zobrazen ostře objekt, který je v nekonečné vzdálenosti. S ohniskovou

vzdáleností souvisí úhel záběru, kdy s klesající ohniskovou vzdáleností roste úhel záběru [17], [18].

Ohniskovou vzdálenost objektivu je možné měnit pomocí zařízení zvaného transformátor. Takovéto objektivy, s proměnlivou ohniskovou vzdáleností se označují pojmem zoom. Objektivy je možné rozdělit na základě změny ohniskové vzdálenosti:

- **Pevné ohnisko** – ohnisková vzdálenost je pevně daná výrobcem.
- **Proměnné ohnisko** – ohnisková vzdálenost je měnitelná pomocí ručního otáčení části objektivu.
- **Elektronicky řízená změna ohniska** – nastavování ohniskové vzdálenosti pomocí motorku zařízení [17], [18].

### 5.3.2 Světelnost objektivu

Světelnost označuje schopnost objektivu přijímat světlo. Hodnota světelnosti je vyjádřena základním clonovým číslem ( $k$ ), kdy základní clonové číslo vyjadřuje poměr ohniskové vzdálenosti k průměru vstupní pupily. Světelnost je vždy vyjádřena nejvyšším možným číslem a používá se zápis např.  $f/1.8$  nebo  $1:1.8$ . Čím větší je světelnost, tím méně světla dokáže objektiv zachytit a tím menší je ostrost obrazu. Nejlepší světelnosti, tedy nejnižší hodnoty, dosahují objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností [17], [18].

### 5.3.3 Clona objektivu

Clona slouží k regulaci množství světla, které prochází objektivem. Nejmenší clonové číslo označuje nejvyšší propustnost světla, clona je maximálně otevřena. Nejvyšší clonové číslo označuje nejnižší propustnost světla, clona je maximálně uzavřena, zůstane jen maličký otvor pro průchod světla. Objektivy lze dělit podle způsobu ovládání clony [17], [18].

- **Objektiv s pevnou clonou** – nastavení clony je pevně dáno a nelze měnit.
- **Objektiv s manuálním nastavením clony** – clonu nastavuje uživatel.
- **Objektiv s automatickým nastavením clony** – elektronika a mechanismus objektivu automaticky přizpůsobí množství světla dopadající na optický snímač [17], [18].

### 5.3.4 Hloubka ostrosti

Není možné exaktně definovat hranici mezi ostrým a neostrým objektem, jedná se tedy o subjektivní záležitost. Hloubka ostrosti objektivu ovlivňuje ostrost jednotlivých objektů na záznamu. Parametry ovlivňující hloubku ostrosti jsou clona objektivu, vzdálenost snímaného objektu, ohnisková vzdálenost a velikost plochy optického snímače [17], [18].

## 5.4 Optický snímač

V dnešní době existuje několik druhů optických snímačů. Nejrozšířenější jsou dvě základní technologie, které jsou známy již několik desítek let. Těmito dvěma druhy optických snímačů jsou CCD a CMOS čipy. Od vlastností optického snímače se odvíjí následná kvalita obrazu. V souvislosti s optickým snímačem jsou podstatnými pojmy rozlišovací schopnost snímače, poměr stran obrazu a dynamický rozsah obrazu.

**Rozlišovací schopnost** se odvíjí od počtu buněk, které tvoří optický snímač. Buňky jsou uspořádány do řádek a sloupců. Počet buněk na snímači se udává v megapixelech nebo se udává údaj o počtu řádků a sloupců. Například 5 megapixelů znamená, že optický snímač tvoří 5 milionů buněk [17]. Dnes se hojně užívá rozlišení s označením SD 576i (720x576; 4:3 nebo 16:9), HDTV 720p (1280x720; 16:9) nebo HDTV 1080i (1920x1080; 16:9). Číslo (576, 720, 1080) značí počet horizontálních řádků. Pokud je za číslem písmeno *i* (*interlaced*) znamená to, že je obraz prokládaný, pokud písmeno *p* (*progressive scan*), obraz prokládaný není [21].

**Poměr stran** vyjadřuje poměr vodorovné a svislé strany obrazu. Dá se říci, že je to poměr mezi počtem řádků a počtem sloupců, do kterých jsou uspořádány jednotlivé pixely. Typicky 4:3 nebo 16:9 [17].

**Dynamický rozsah**, označovaný také jako kontrast scény, je rozdíl mezi nejsvětlejším a nejtmašším místem obrazu snímané scény. Jedná se o rozsah hodnot jasu mezi černou a bílou, který je přístroj schopen zachytit a určuje také rozpoznatelnost jednotlivých objektů v záznamu [17].

### 5.4.1 CCD snímač

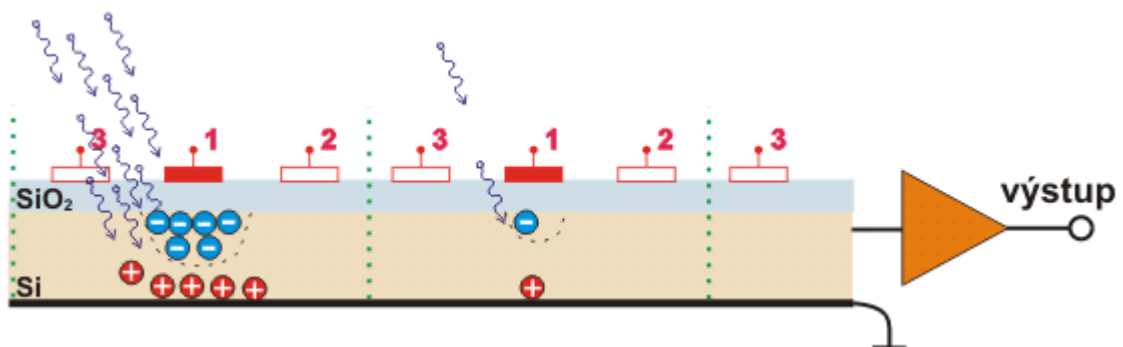
CCD snímač je polovodičová součástka a tvoří jej světlocitlivé prvky (buňky), nejčastěji ve tvaru čtverce nebo obdélníku, které převádějí dopadající světlo na elektrické signály, kdy na plochu snímače dopadá zmenšený obraz sledované scény skrz objektiv. Je

tedy využíváno fotoelektrického jevu, kdy částice dopadajícího světla nárazem do atomu způsobí přechod některého z elektronů atomu do jiné valenční vrstvy. Dopadající světlo se ukládá v jednotlivých buňkách snímače jako elektrický náboj. Intenzita tohoto akumulovaného náboje je dána zejména intenzitou dopadajícího světla a dobou, po kterou je snímač vystaven působení světla. Činnost CCD snímače je možné rozdělit na tři základní části:

1. **Přípravná fáze** – snímač bez přístupu světla, odstraněny zbytky náboje, tedy předchozího obrazu.
2. **Expozice obrazu** – na snímač dopadá světlo.
3. **Snímání obrazu** – přeměna světla na elektrický náboj [17].

Nejzákladnějším typem snímání je **liniový sken** u liniového CCD snímače, je tvořen jednou linií buněk, který je vhodný na snímání jednorozměrného obrazu, jako je například čárový kód. Základ CCD čipu tvoří křemíková deska, tedy polovodič. Na spodní straně je tento polovodič uzemněn, zatímco na vrchní straně je opatřen vrstvičkou izolantu, oxidu křemičitého. Na této vrstvě izolantu, jsou napařeny plošné elektrody [22].

Princip funkce liniového CCD čipu je znázorněn na *Obr. 12*. Na elektrodu označenou číslem 1 je připojen kladný pól zdroje, na uzemnění záporný. Vlivem dopadajícího světla dochází k vyražení valenčních elektronů z atomu křemíku a vzniká pár elektron – díra. Jelikož je přítomno elektrické pole, jsou tyto dva nosiče náboje odděleny a každý se přesouvá na jinou stranu křemíkové destičky. Čím více záření dopadá, tím je uvolněno větší množství nosičů náboje [17], [23].



*Obr. 12. Funkce liniového CCD snímače [22].*

Dále dochází k odpojení kladného náboje od elektrody číslo 1 a jeho následné připojení k elektrodě číslo 2. Náboj nakupený pod elektrodou číslo 1 je posunut pod elektrodu číslo 2. Poté se náboj přesune z elektrody 2 na elektrodu 3 a následně z elektrody 3 na elektrodu 1, náboj se tedy posunul o jednu buňku. Takovýmto způsobem se náboj posunu-

je, až dojde na okraj křemíkové destičky a vstupuje do výstupního zesilovače, kde je elektrický proud zesilován [17], [23].

**Plošný sken**, je užíván, pokud je potřeba snímat dvojrozměrný obraz. Je nutné využít plošný CCD čip, kdy se jedná o spojení několika liniových snímačů do jednoho plošného. Procházející náboje tedy postupně procházejí přes jednotlivé liniové snímače, až nakonec dojdou do zesilovače. Jelikož je dopadajícímu světlu vystavena celá plocha snímače, nesmí v průběhu posunu náboje dopadat světlo na čip, nemůže být tedy snímán další obraz. K zamezení dopadu světla na čip se užívá mechanická závěrka [17].

**Progresivní sken** také označovaný jako elektronická uzávěrka, je technologie, kdy je plocha CCD snímače rozdělena na dvě oblasti a to na plochu trvale zakrytou a na plochu trvale vystavovanou světlu. Do trvale zakryté plochy se v určený časový okamžik překopíruje obsah všech buněk snímače vystavených světlu. Náboje postupují po řadách, tedy vertikálně, do registru, ve kterém se posunují horizontálně. Náboj se tedy načítá po řadách a z registru je směřován do zesilovače. Původní poloha náboje je jednoznačně určena [17], [23].

**Prokládaný sken** je technologie podobná jako progresivní sken, kde je vždy umístěn sloupec pomocného registru, mezi dvěma sloupci buněk čipu. Náboj tedy nejprve jde horizontálně do těchto pomocných registrů, ze kterých jde vertikálně do hlavního registru a z něj do zesilovače. CCD čipy s prokládaným skenováním jsou jednodušší na výrobu, a proto jsou i dostupné [17], [23].

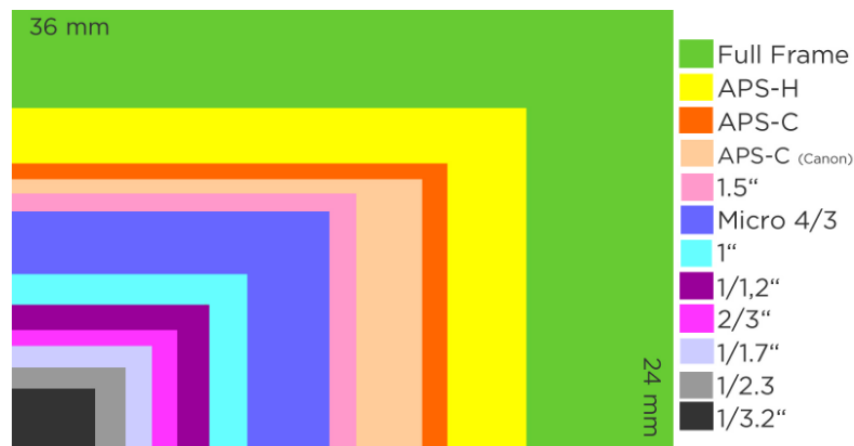
**Super CCD** je založený na poznatku, že lidské oko lépe rozpoznává horizontály a vertikály než diagonály. Struktura je tedy oproti tradičnímu CCD prvku posunuta o 45 stupňů a buňky mají tvar osmiúhelníku. Díky novému tvaru buněk je možné efektivnější rozložení buněk na čipu a při stejném počtu buněk jako u klasického CCD, dosahuje Super CCD lepších vlastností zaznamenaného signálu. U Super CCD jsou jednotlivé buňky opatřeny malými čočkami, které soustřeďují světlo do světlocitlivého prvku [17], [18].

Optické snímače typu CCD tedy nejprve přemění světlo na elektrický náboj. Tyto náboje jsou pomocí registrů přesunuty do zesilovače a z něj proudí signál po vodiči dále z optického čipu. Výsledný signál je ve formě elektrického proudu, tedy analogový, a pro dosažení výstupu v digitální podobě je potřeba ještě převodník analogového signálu na digitální, který není součástí CCD čipu. U všech výše zmíněných metod je náboj posunován pomocí impulzů řídicího obvodu. Každá buňka snímače dokáže rozpoznat jen intenzitu

dopadajícího světla, nedokáže však rozlišit, o jakou barvu se jedná. Výsledný obraz je tedy v odstínech šedi. Pro zachycení barevného obrazu pomocí CCD snímače se užívají dvě základní metody, a to buď kamera se třemi CCD snímači, nebo pouze s jedním. U snímání barevného obrazu z CCD čipu se používá prokládané nebo progresivní skenování [17], [18].

**Kamera se třemi CCD snímači** je tvořena dvěma polopropustnými zrcadly, která jsou umístěna mezi objektivem a čipem. Tyto dvě zrcadla dokážou rozdělit obraz do tří obrazů základních barevných složek (červená, modrá, zelená). Každý ze tří obrazů má vlastní snímač na zpracování. Tyto tři složky obrazu jsou následně spojeny a vzniká barevný obraz. Kamery s tímto řešením jsou však drahé, proto se u většiny dostupných kamer používá technologie pouze s **jedním CCD snímačem**. Technologie pouze jednoho CCD snímače je založena na umístění barevného filtru před snímací prvek. Nejčastěji se jedná o Bayerův mozaikový filtr *Obr. 14*, který je založený na poznatku, že lidské oko je nejcitlivější na zelenou barvu. Tento filtr tedy tvoří vždy čtveřice, kdy na dvě buňky dopadá světlo o vlnové délce odpovídající zelené barvě, na jednu buňku světlo odpovídající modré barvě a na jednu buňku světlo odpovídající červené barvě. Každá buňka tedy reaguje pouze na jednu spektrální složku světla. Po dopadu světla na takovýto snímač vzniká elektrický náboj, kdy jeho velikost závisí na intenzitě světla ale také na barevném složení světla. Při následném zpracování výstupů ze snímače má řídicí obvod kamery informace o tom, na kterou buňku je použit jaký barevný filtr a výsledkem je tedy barevný obraz. Kvůli tomu, že každá buňka snímače reaguje jen na jednu barevnou složku, tedy k získání informace o barvě jednoho obrazového bodu jsou potřeba 4 buňky snímače, je snížena rozlišovací schopnost takového snímače. Řešením je buď použití většího množství buněk snímače, nebo využití principu interpolace, kdy je informace o jasu a barvě dalších bodů dopočítána [17].

Snímače CCD se vyrábí v mnoha velikostech, kdy mezi velikostí snímače a velikostí objektivu je přímá úměra. Čím větší je snímač, tím větší musí být objektiv a lze říci, že s rostoucí velikostí snímače je vyšší i kvalita obrazu. Na větší snímač dopadá větší množství světla a výsledný obraz obsahuje nižší množství šumu. Pokud jsou dva snímače se stejným rozlišením ale různou velikostí, lepší výsledný obraz bude z většího snímače, jelikož má sice stejný počet buněk jako menší snímač ale každá buňka má větší plochu, je tedy mnohem lépe citlivá na světlo [24]. Používané velikosti CCD snímačů ukazuje *Obr. 13*.



Obr. 13. Velikost CCD snímače [24].

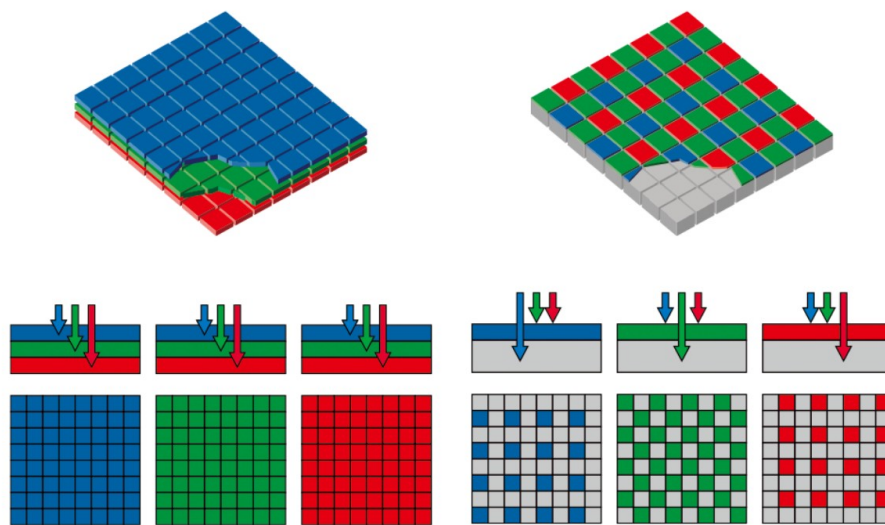
#### 5.4.2 CMOS snímač

CMOS snímače jsou konstrukčně velmi složité, avšak výrobní proces je totožný s výrobou procesorů. Náklady na výrobu jsou tedy nižší než u CCD snímače. Rozdíl mezi CCD a CMOS čipem je zejména v technologii čtení obrazu [17].

U CMOS snímačů má každá buňka svůj vlastní elektronický obvod. Celá plocha snímače je tedy vyhodnocena v jeden okamžik, což zkracuje dobu potřebnou pro přečtení obrazu a tím je dosaženo nižší spotřeby energie. Většinu plochy CMOS snímače tvoří digitalizační obvody a samotné světlocitlivé buňky zaujímají jen malou část čipu. Jednotlivé buňky CMOS snímače mají tedy každá svůj zesilovač a převodník analogového signálu na digitální. Po dopadu světla na CMOS snímač jsou obrazové informace zesíleny, převedeny do digitální podoby, samotným čipem, a po vodiči odváděny z čipu. Každá buňka CMOS čipu je opatřena čočkou, která soustřeďuje světelné paprsky do míst čipu, která jsou citlivá na světlo. Podobně jako u CCD je i CMOS čip doplněn barevným filtrem pro snímání barevného obrazu [18].

U CMOS čipů se k záznamu barevného obrazu používá technologie **Foveon X3** (Obr. 14), která odstraňuje nedostatky Bayerova barevného filtru. Jedná se o druh čipu, kdy jednotlivé světlocitlivé vrstvy jsou umístěny nad sebou. Je využíváno přímo vlastností křemíku, kdy jednotlivé složky světla pronikají do různé hloubky křemíkového čipu. První vrstva zachytí světlo odpovídající modré části barevného spektra, prostřední vrstva zelené a spodní vrstva červené. V porovnání s klasickým CMOS čipem se stejným počtem buněk je objem informací o snímaném obraze technologií Foveon X3 trojnásobný [25].





Obr. 14. Vlevo Foveon X3, vpravo Bayerův filtr [26].

## 5.5 Elektronické obvody kamer

Po dopadu světla skrz objektiv na snímací čip, je světlo převedeno na elektrický signál. Tento signál je však nutné dále upravit. Prvním krokem je digitalizace signálu, aby mohl být signál dále zpracováván. Po převedení signálu na digitální dochází k jeho následné kompresi, tedy zmenšení objemu dat, a poté je signál (číslicový) odeslán do zobrazovacího nebo záznamového zařízení. Může být použit ještě D/A převodník, tedy převodník digitálního signálu na analogový, pokud je požadován analogový výstup z kamery. Kromě objektivu a snímacího čipu je tedy kamera vybavena ještě převodníkem signálu, procesorem, který je řídicím prvkem kamery, operační pamětí RAM a úložištěm, na kterém jsou řídicí algoritmy procesoru [17], [18], [27].

### 5.5.1 Digitalizace obrazu

Jedná se o proces převodu napěťového analogového signálu na signál v číslicové podobě. Pro uskutečnění digitalizace je potřeba v určitých časových intervalech číst hodnotu napětí a tuto hodnotu převést na číslo. Digitalizace je založena na procesu vzorkování a následném kvantování [17].

**Vzorkování signálu** přichází na řadu jako první a jedná se o odebírání vzorků signálu po určitých časových intervalech. Nejprve je nutné stanovit frekvenci, jakou budou vzorky signálu odebírány, tzv. vzorkovací frekvence. Pro stanovení této frekvence je užíván Shannon - Kotělnikovův vzorkovací teorém, který udává, že pro dosažení přesné re-

konstrukce signálu musí být frekvence vzorkování alespoň dvojnásobně vyšší než nejvyšší frekvence vzorkovaného signálu. Dále je potřeba zvolit vhodnou vzorkovací mřížku, jelikož je obraz dvourozměrný. Používají se mřížky složené z různých objektů, nejčastěji však čtverce. Vzorkovací mřížka rozdělí celý obraz na části, kdy každá takováto část obrazu představuje jeden obrazový bod [17].

Pokud je signál pouze navzorkován, jeho objem dat je stále moc velký. Proto je dalším krokem **kvantování signálu**. Signál je rozdělen do kvantovacích úrovní, kdy počet kvantovacích úrovní udává i počet hodnot jasu obrazu. Od počtu kvantovacích úrovní se odvíjí velikost objemu dat v bitech potřebná k záznamu informace o hodnotě jasu jednoho obrazového bodu. Vztah mezi počtem úrovní jasu a velikostí informace s hodnotou jasu jednoho bodu je

$$k = 2^n. \quad (20)$$

Kde  $k$ , je počet úrovní jasu a  $n$  je počet bitů, tedy velikost jasové informace jednoho pixelu. Digitalizovaný obraz obsahuje informace o intenzitě jasu tří základních barev, tedy červená, zelená a modrá. Pro jiné míchání barev je nutné provést jiný způsob kódování výsledných dat [17].

### 5.5.2 Komprese obrazu

Slouží ke snížení objemu dat obrazu, což je žádoucí pro přenos, uchování i zpracování dat, jelikož kvalita záznamu se stále zlepšuje a je náročná na paměť, dochází k neustálému zvyšování účinnosti kompresních algoritmů. Komprese je založená na snižování redundance dat. Dekomprese je proces opačný ke kompresi. U stacionárních obrazů se vychází z toho, že není potřeba přenášet informace o každém obrazovém bodu, když se v obraze vyskytují sousedící obrazové body se stejnou hodnotou jasu i barvy. U pohyblivého obrazu je zase princip komprese založen na tom, že při snímání scény je potřeba přenést jeden úplný snímek a dále už stačí jen informace o tom, zda změna v obraze nastala nebo nenastala [17], [18]. Pro kompresi obrazu se používají čtyři základní druhy:

- **Beztrátová komprese** – komprese bez ztráty informací, nízký kompresní poměr, např. Huffmanovo kódování.
- **Ztrátová komprese** – redukuje obsah přenášené informace, dosahuje vyšších kompresních poměrů než komprese beztrátová, např. MPEG -4.
- **Symetrická komprese** – komprese i dekomprese dat trvá stejnou dobu.

- **Asymetrická komprese** – jedna z operací, komprese nebo dekomprese, vyžaduje výrazně více času [17], [18].

Efektivitu komprese je možné vyjádřit pomocí několika identifikátorů:

- **Kompresní poměr** – udává poměr objemu vstupních a výstupních dat.
- **Faktor komprese** – udává poměr objemu výstupních a vstupních dat, je převrácenou hodnotou kompresního poměru.
- **Datový tok** – udává objem dat za časovou jednotku, bit za sekundu, který je zpracován při práci s videem. Čím vyšší hodnota datového toku, tím vyšší kvalita přenosu obrazu. Datový tok může být konstantní nebo proměnný v závislosti na složitosti scény [17], [18].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

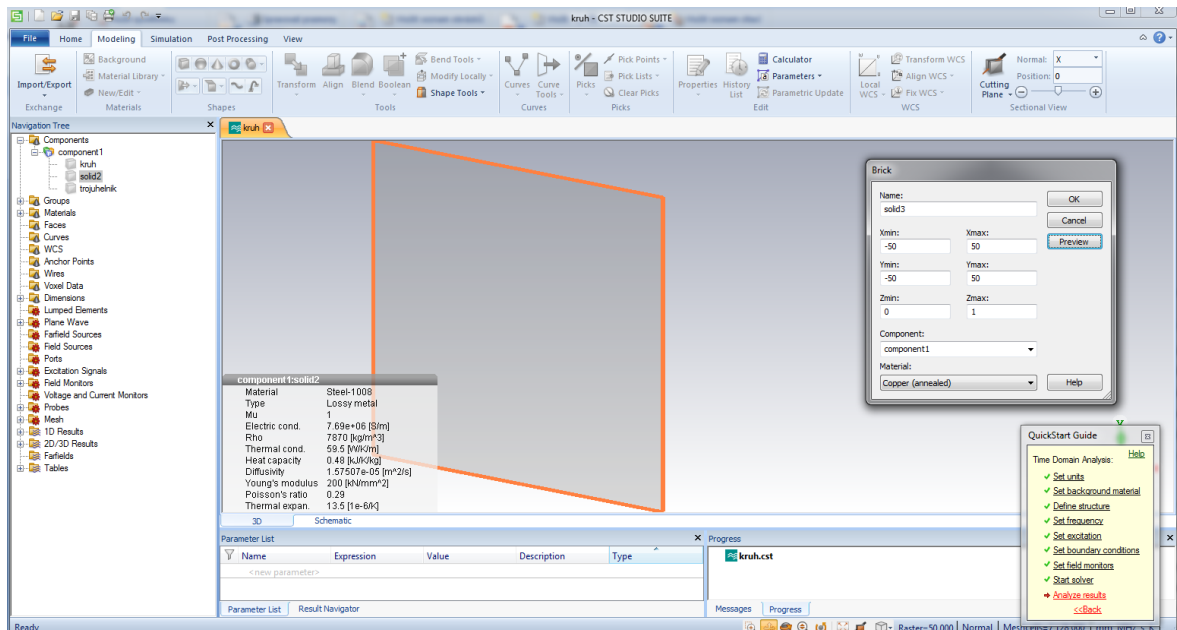
## 6 SIMULACE STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI NÁVRHU

Před samotnou realizací a otestováním navrhnuté stínící mřížky v laboratoři, je nejprve nutná modelace mřížek a simulace měření jejich účinnosti ve stínění elektromagnetického záření pomocí simulačního softwaru. Díky simulačnímu softwaru bylo možné experimentovat a zkoušet různé verze návrhu stínící mřížky, díky čemuž bylo možné zhodnotit, který návrh je vhodný k elektromagnetickému stínění čočky kamery více a který naopak méně. Avšak zhodnocení vlivu mřížky na optické vlastnosti kamery je obtížné odhadnout pouze z návrhu v programu.

Jako simulační software byl použit program CST Microwave Studio ve kterém probíhalo modelování veškerých mřížek a následná simulace stínění. Tento software slouží k návrhu, simulaci a optimalizaci elektromagnetických systémů. Je vhodný k návrhu virtuálních prototypů k ušetření nákladů při vývoji produktu nebo simulaci stavu za různých podmínek, jejichž reálné testování je jen velice obtížně uskutečnitelné nebo velice finančně náročné. Disponuje možností výběru z několika řešících (výpočetních) mechanismů pro nízké i vysoké frekvence. Kromě zaměření na výpočty a simulaci různých stavů se software pyšní výborným modelovacím prostředím. V simulacích jsou navrhnuté struktury zobecněny a jsou využívány metody pro urychlení výpočtů jako např. hardwarová akcelerace. CST Microwave Studio tvoří klíčovou část rozsáhlejšího ekosystému, kdy dochází k propojení, spolupráci a komunikaci několika softwarových řešení [28].

Program CST Microwave Studio je poměrně dost náročný na výpočetní výkon. Modelování jedné stínící mřížky trvá několik desítek minut, většinou kolem půl hodiny avšak simulace měření je podstatně časově náročnější a náročnost simulace se zvyšuje s rostoucí jemností mřížek, tedy s rostoucím počtem otvorů v mřížce. Typicky simulace měření jedné mřížky trvá okolo jedné hodiny, avšak u jemných mřížek už se jednalo i o několik hodin.

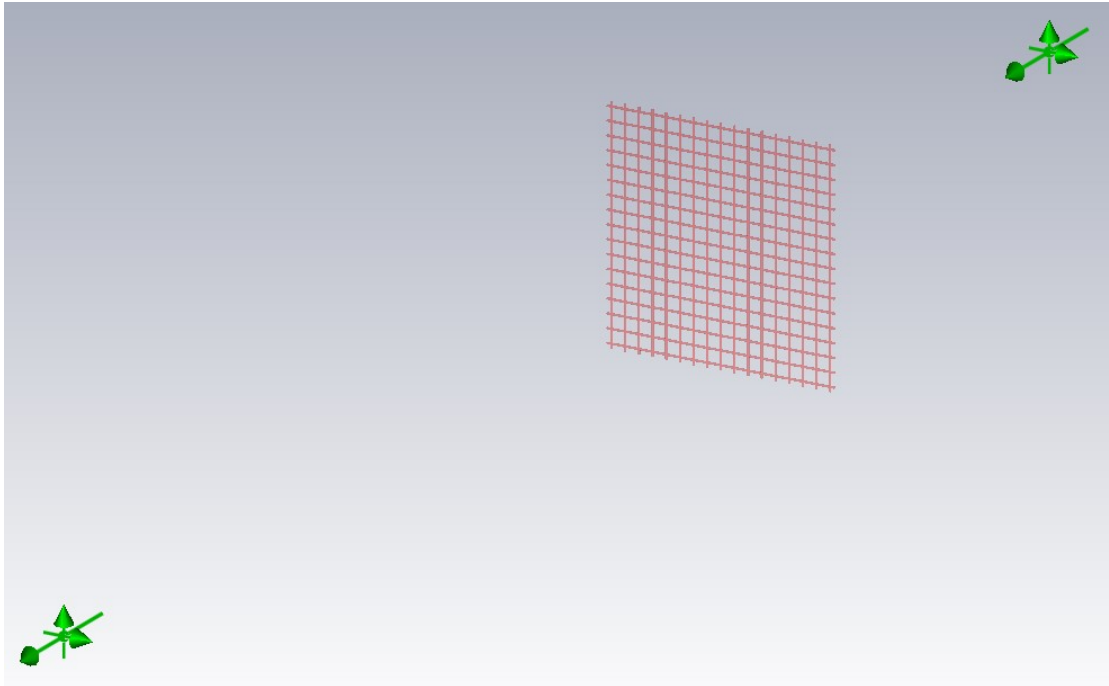
Po instalaci a spuštění programu je nutné zvolit požadovaný režim programu a nastavit základní parametry jako jednotky nebo frekvenční rozsah. Po úvodním nastavení je spuštěn projekt s prostředím programu, kde je nutné nastavit další parametry programu. V programu je k dispozici i pomocník, který pomáhá se základním nastavením programu.



Obr. 15. Volba rozměrů a materiálu.

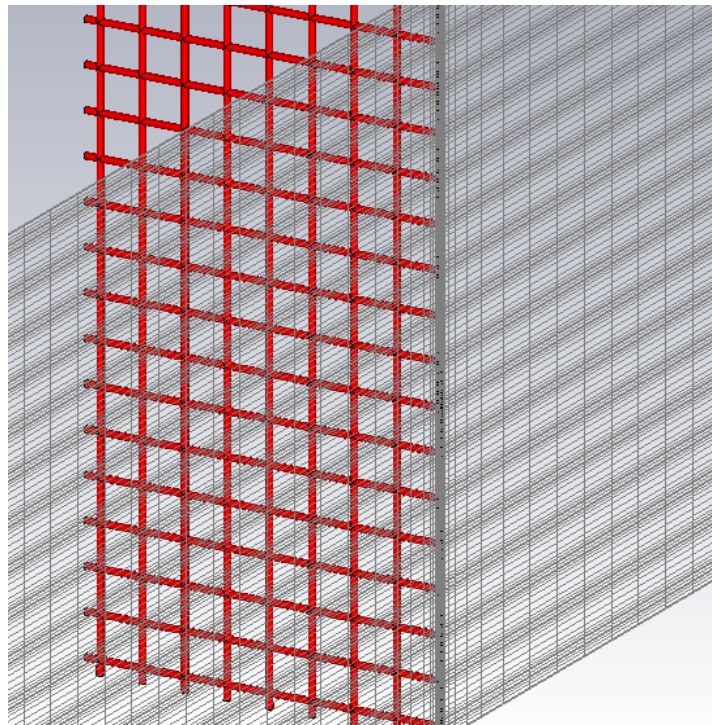
Jako první, po nastavení jednotek, přichází na řadu volba materiálu prostředí. Materiál prostředí je nastaven na typ *Normal*. Následuje modelování samotné struktury, což je v tomto případě stínící mřížka. Nejprve je vybrán tvar, v tomto případě *Brick*, což je krychle nebo kvádr. Po výběru útvaru je nutné určit rozměry a materiál struktury, viz Obr. 15. Toto je postup k vytvoření stínící desky bez otvorů. K modelaci mřížky je nutné vymodelovat strukturu o tvaru požadovaného otvoru a pomocí této struktury je na požadovaných místech desky odebrán materiál, tedy vytvořen otvor s totožnými rozměry jako vymodelovaná struktura. Toto je tedy postup, kdy je vytvořena kovová deska a do ní jsou udělány otvory. Při modelování mřížek složených z drátů je postup jiný. Jsou vymodelovány dráty tvořící požadovanou strukturu mřížky a všechny tyto modely drátů jsou spojeny do jednoho celku, jedné mřížky.

Dále je potřeba stanovit zdroj záření. V tomto případě zdroj elektrického pole. Magnetické pole nebylo měřeno a to z mnoha důvodů. Efektivní stínění magnetického pole je většinou velmi nákladné, objemné a má vysokou hmotnost, jelikož je potřeba velké množství materiálu a navíc je stínění většinou efektivní jen pro určité frekvence. Proto je simulace zaměřena na elektrické pole, které je možné do jisté míry stínit i s pomocí tenké mřížky.



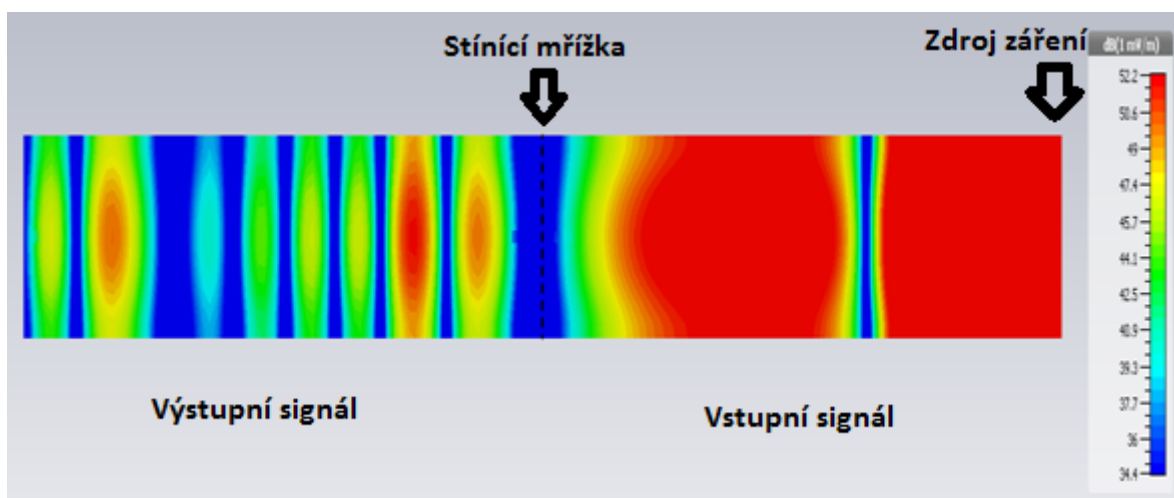
*Obr. 16. Rozmístění jednotlivých sond.*

Po nastavení zdroje záření je nutné nastavit hranice prostoru, ve kterém se bude elektrické pole šířit a jakými směry. Následuje nastavení a rozmístění sond, tedy přijímačů signálu. Sonda vstupního signálu je umístěna mezi mřížkou a zdrojem signálu a to ve vzdálenosti 25 centimetrů od zdroje signálu i do stínící mřížky. Sonda výstupního signálu je umístěna 50 centimetrů od mřížky, tedy je od mřížky stejně vzdálená jako zdroj signálu na opačné straně. Rozmístění sond je zobrazeno na *Obr. 16*. Toto je vše potřebné a může být spuštěna simulace měření, kdy však čas, výpočetní náročnost simulace a také přesnost výsledků nejvíce ovlivňuje nastavení parametrů *Mesh*, viz *Obr. 17*, tedy jakési mřížky, pomocí které je stínící mřížka a její okolí určitým způsobem segmentováno na větší počet částí. Čím je mřížka (*Mesh*) hustší, tím více je sektorů k vyhodnocení a tím narůstá náročnost výpočtu.



Obr. 17. Ukázka Mesh.

Frekvence vyzařovaného elektrického pole byla stanovena na spektrum frekvencí od 0 MHz do 3 000 MHz. Intenzita elektrického pole byla nastavena na 10 V/m. Velikost nastavených hodnot byla určena na základě předešlého testování elektromagnetické odolnosti kamery zaměstnanci univerzity, kdy na základě tohoto testování byly vyhodnoceny frekvence do 3 GHz a intenzita elektrického pole 10 V/m jako podmínky způsobující největší elektromagnetické rušení kamery [29]. Veškerá simulace v simulačním programu probíhala s identickým nastavením.



Obr. 18. Vizualizace elektrického pole při průchodu stínicí mřížkou.

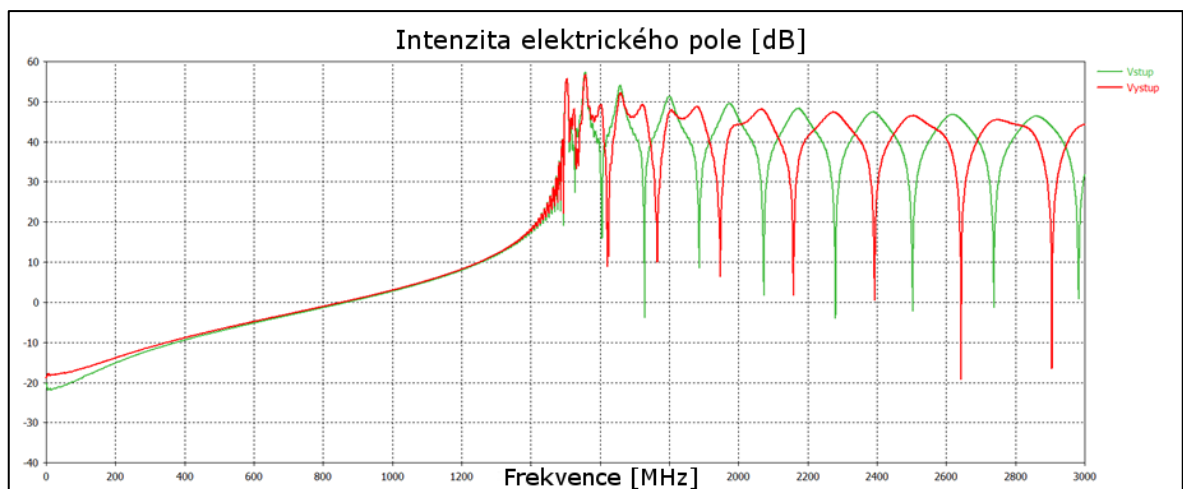


## 6.1 Vliv materiálu na stínící účinnost mřížky

Pro určení vhodnosti materiálu stínící mřížky bylo v simulačním programu vytvořeno 9 desek z různých materiálů a bez otvorů, s různou elektrickou vodivostí, kdy 8 navržených desek je kovových a elektricky vodivých a jedna deska je z polykarbonátu pro demonstraci rozdílu útlumu elektrického pole mezi elektricky vodivým materiálem a izolantem. Všechny desky mají rozměry 100x100x1 mm, jejich tloušťka je tedy 1 mm.

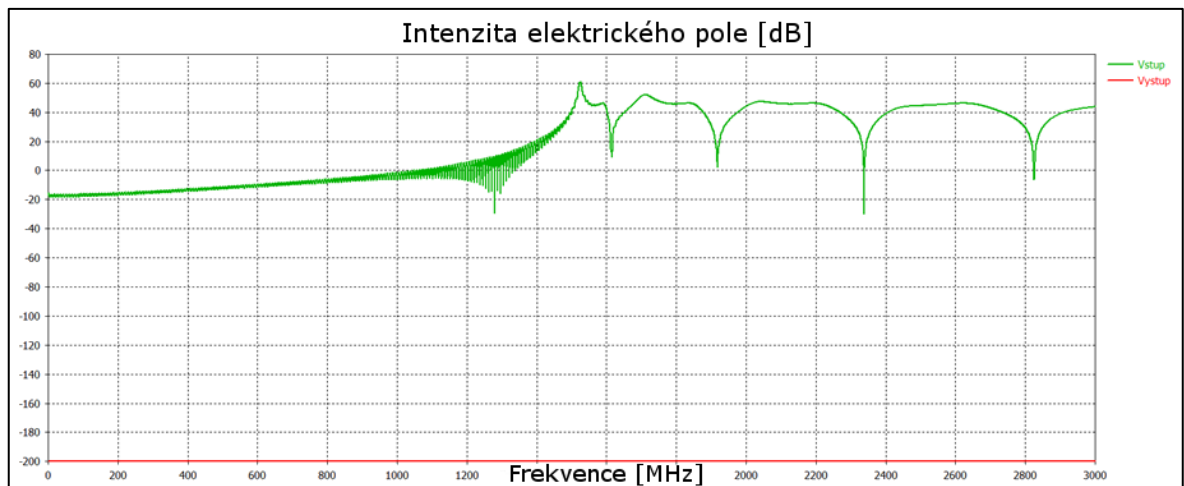
Testované materiály:

- Hliník.
- Chrom.
- Měď.
- Mosaz.
- Nikl.
- Ocel.
- Zinek.
- Stříbro.
- Polykarbonát.



Obr. 19. Elektrické pole – elektricky nevodivý polykarbonát.

Na Obr. 19 je zobrazena zelenou barvou intenzita elektrického pole před průchodem polykarbonátovou deskou a červenou barvou intenzita elektrického pole po průchodu polykarbonátem. Z Obr. 19 je patrné, že útlum elektrického pole polykarbonátovou deskou je naprosto minimální.



Obr. 20. Elektrické pole – elektricky vodivé kovy.

Obr. 20 zobrazuje zelenou barvou vstupní a červenou barvou výstupní signál, tedy intenzitu elektrického pole před průchodem ocelovou deskou a intenzitu elektrického pole po průchodu ocelovou deskou. Naměřená hodnota -200 dB je pro všechny navrhované kovové desky totožná. Je tedy zřejmé, že žádná z desek nepropustí elektrické pole.

Na základě výsledků (Obr. 19 a Obr. 20) simulace měření z programu CST Microwave Studio, je zřejmé, že kovové materiály mají vysokou úroveň účinnosti stínění elektrického pole. Naopak elektricky nevodivý polykarbonát, který vykazuje podstatně nižší úroveň útlumu na všech měřených frekvencích, je pro použití při stínění elektromagnetického pole naprosto nevhodný. Při návrhu elektromagneticky stínící mřížky je tedy podstatné, aby byl materiál kovový a elektricky vodivý.

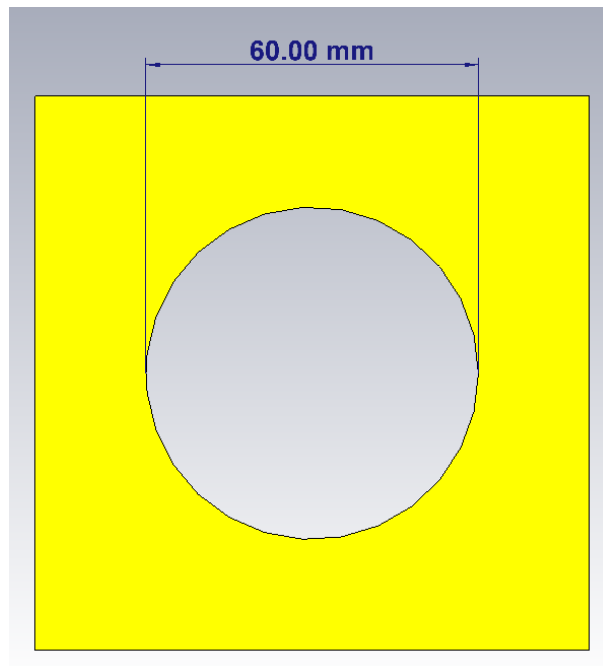
## 6.2 Vliv počtu otvorů na stínící účinnost mřížky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.5, je vhodnější použít více menších otvorů než jeden velký, o stejné ploše. Proto byly navrhnuty 3 mřížky, kdy jejich celkový útlum elektrického pole je demonstrován pomocí simulací v simulačním programu. Nejprve byla navrhnutá mřížka s jedním kruhovým otvorem a dále mřížky se 49 a 225 kruhovými otvory, se stejnou celkovou plochou otvorů jako u mřížky s jedním kruhovým otvorem. Tyto tři mřížky mají totožný rozměr, materiál a celkovou plochu otvorů. Rozměry mřížek jsou 100x100x1 mm a jsou z mědi.

### 6.2.1 Mřížka s jedním kruhovým otvorem

Jako první je vymodelována mřížka s jedním kruhovým otvorem o poloměru 30 mm (Obr. 21). Pro následnou modelaci mřížek s více otvory, je potřeba znát obsah kruhového otvoru. Ten se určí jako

$$S_C = \pi r^2 = \pi * 30^2 = 2827,433388 \text{ mm}^2. \quad (21)$$



Obr. 21. Jeden kruhový otvor o průměru 60 mm.

### 6.2.2 Mřížka se 49 otvory

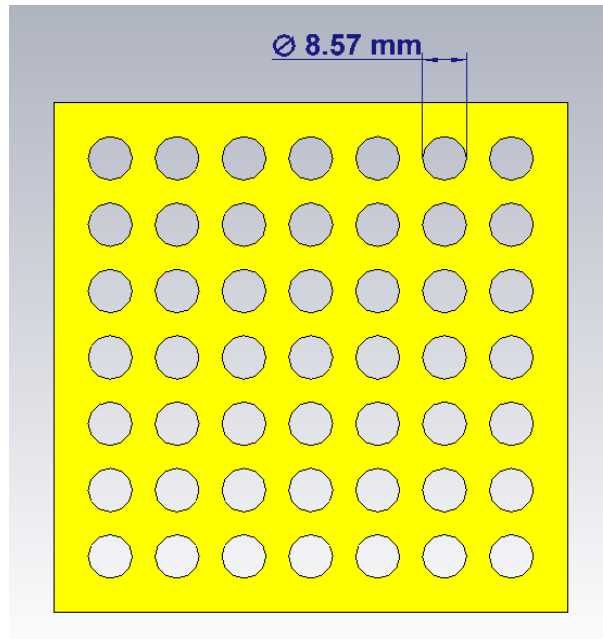
Další mřížkou je mřížka se 49 kruhovými otvory, kdy otvory jsou v mřížce v sedmi sloupcích a sedmi řadách. Je nutné určit plochu a poloměr jednoho kruhového otvoru v mřížce. Plocha jednoho otvoru se vypočítá jako podíl plochy otvoru v předchozí mřížce a počtu požadovaných otvorů.

$$S = \frac{S_C}{N} = \frac{2827,433388}{49} = 57,70272221 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

Následně je určen poloměr jednoho otvoru.

$$S = \pi r^2 \quad (23)$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{57,70272221}{\pi}} = 4,285714286 \text{ mm} \quad (24)$$



Obr. 22. Mřížka se 49 kruhovými otvory o průměru 8,57mm.

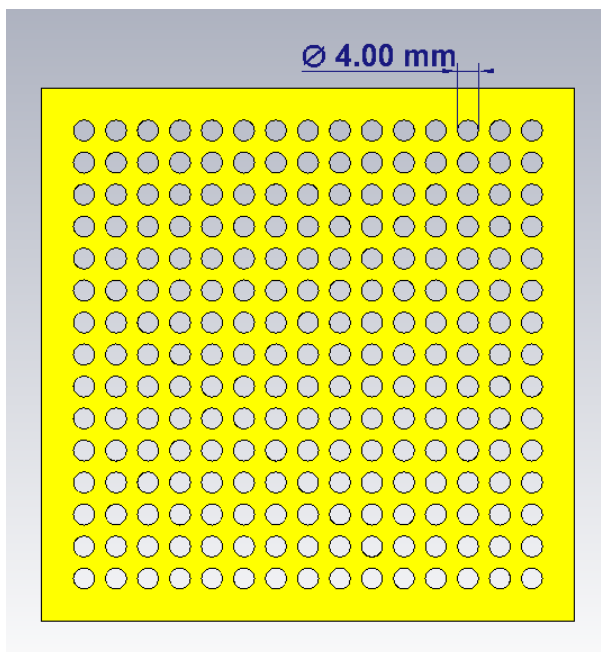
### 6.2.3 Mřížka s 225 otvory

Mřížku tvoří 225 kruhových otvorů rozložených do 15 řad a 15 sloupců. Opět je nutné určit plochu a poloměr jednotlivých otvorů. Plocha každého otvoru se vypočte jako

$$S = \frac{S_c}{N} = \frac{2827,433388}{225} = 12,56637061 \text{ mm}^2. \quad (25)$$

Průměr jednotlivých kruhových otvorů v mřížce:

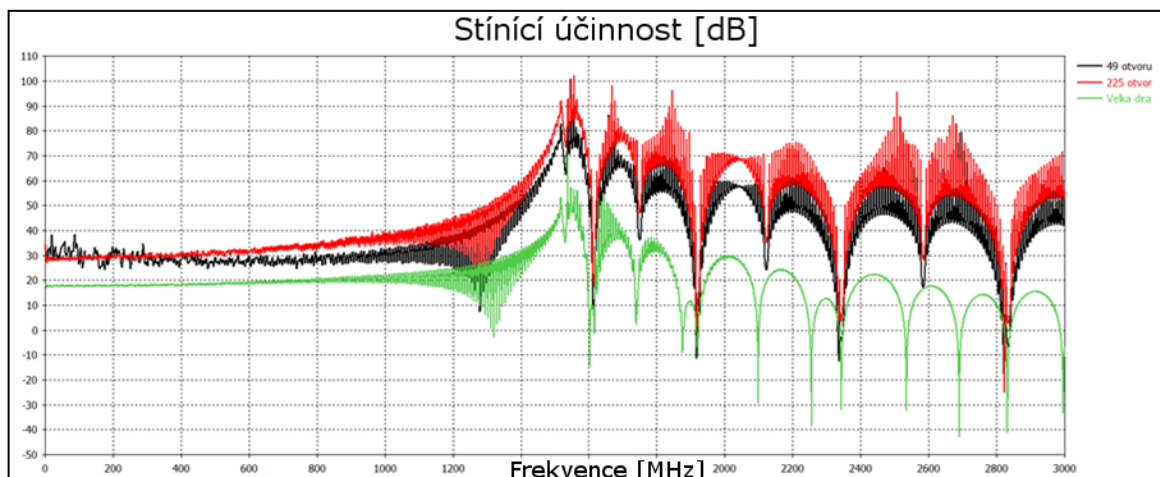
$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{12,56637061}{\pi}} = 2 \text{ mm}. \quad (26)$$



Obr. 23. Mřížka s 225 kruhovými otvory o průměru 4mm.

#### 6.2.4 Výsledky simulace měření

Výsledkem simulace měření tří mřížek s různým počtem otvorů, avšak stejnou plochou je Obr. 24, který dokazuje, že je vhodné zvolit více menších otvorů, než jeden velký otvor. Mřížka s počtem 225 otvorů (červená) dosahuje nejlepšího výsledku, mřížka se 49 otvory (černá) již dosahuje nižší účinnosti stínění a mřížka s jedním velkým kruhovým otvorem (zelená) disponuje nejnižší účinností stínění, v rámci porovnávaných tří mřížek. Na Obr. 24 je vidět, že rozdíl mezi mřížkou se 49 a 225 otvory není nijak výrazný, zatímco rozdíl mezi mřížkou s jedním otvorem a mřížkou se 49 otvory už není zanedbatelný, kdy do asi 1300 MHz je rozdíl v útlumu mřížek okolo 10 dB, ale ve vyšších frekvencích už je rozdíl asi 20dB. Je tedy zřejmé, že čím více otvorů je použito namísto jednoho otvoru o stejné ploše, tím vyšší je účinnost stínící mřížky.

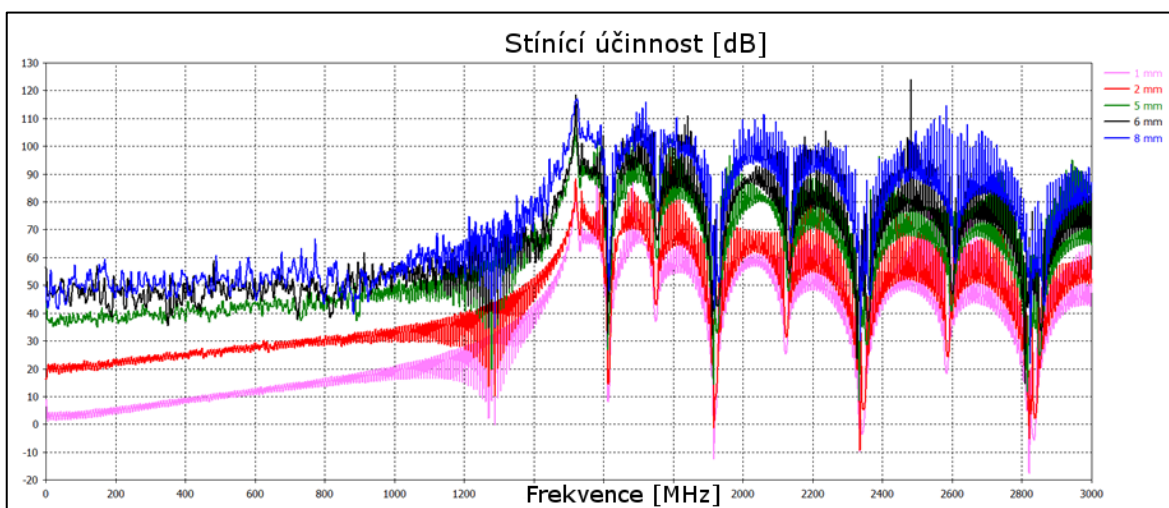


Obr. 24. Stínící účinnost mřížek s různým počtem otvorů.

### 6.3 Vliv tloušťky mřížky na její stínící účinnost

Pro realizaci návrhu stínící mřížky je nutné také stanovit vliv tloušťky materiálu na celkovou účinnost elektromagnetického stínění mřížky. K tomuto bylo použito několik návrhů mřížek. Navržené mřížky jsou ze stejného materiálu, mědi. Všechny mřížky mají stejnou plochu i tvar otvorů. Mřížky jsou tedy všechny totožné, jen jejich tloušťka je rozdílná. Zvolené měřené tloušťky mřížek:

- 1 mm; 2 mm; 5 mm; 6 mm; 8 mm.



Obr. 25. Účinnost stínění mřížek s různou tloušťkou.

Obr. 25 zobrazuje účinnost stínění elektrického pole jednotlivých stínících mřížek s různou tloušťkou. Z Obr. 25 je patrné, že rostoucí tloušťka použitého materiálu znatelně

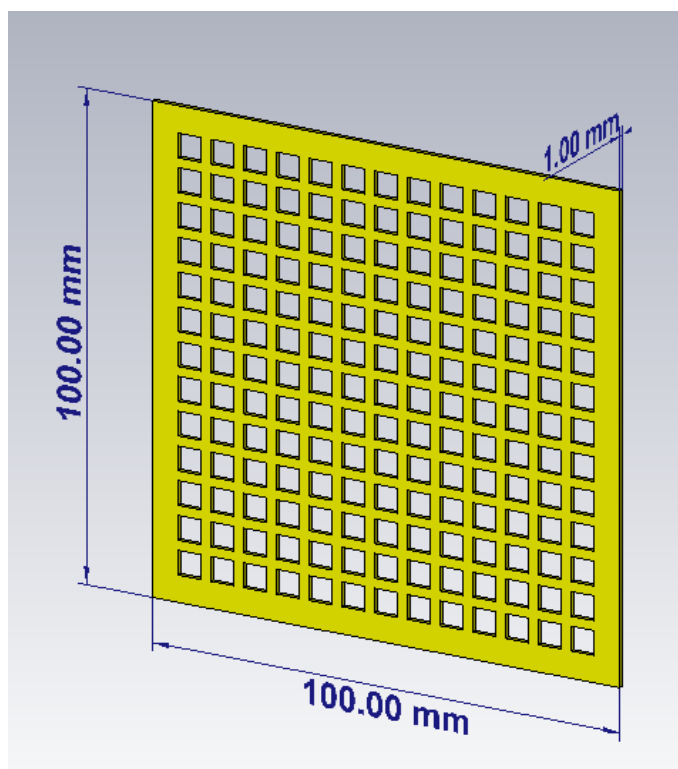
ovlivňuje stínící účinnost mřížky, a to v celém měřeném frekvenčním spektru. Lze tedy říci, že čím větší je tloušťka materiálu, tím lepší je účinnost stínící mřížky.

#### 6.4 Vliv tvaru otvoru na stínící účinnost mřížky

Různých tvarů, které mohou být použity k vytvoření otvorů ve stínící mřížce, je velké množství ale je nutné posoudit jejich vhodnost k elektromagnetickému stínění. Byly zvoleny čtyři tvary otvorů, které byly navrženy a otestovány pomocí simulačního softwaru:

- Čtverec.
- Kruh.
- Rovnostranný trojúhelník.
- Šestiúhelník.

Byly tedy navrženy čtyři různé mřížky, kdy na každé z nich, byly jen otvory téhož tvaru. Aby byly výsledky porovnatelné, bylo nutné zajistit stejnou celkovou plochu otvorů na každé ze čtyř navrhnutých mřížek. Všechny čtyři mřížky mají totožný rozměr, materiál, počet otvorů a celkovou plochu otvorů.



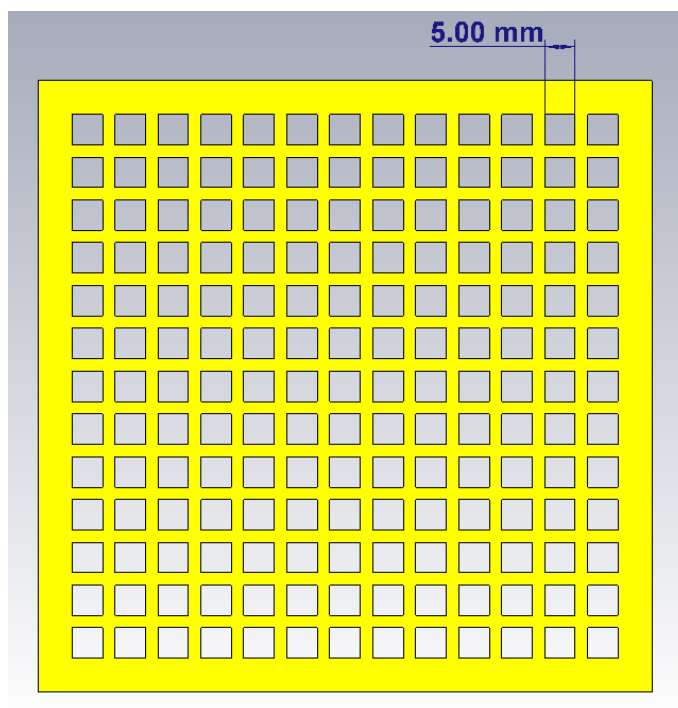
Obr. 26. Rozměry stínících mřížek.

Všechny čtyři mřížky jsou o rozměru 100x100x1 mm, viz *Obr. 26*. Jsou tvořeny ze stejného materiálu – mědi. Počet otvorů je zachován stejný na všech čtyřech mřížkách a jejich počet je 169. Každá mřížka má tedy 169 otvorů, kdy jejich celková plocha je na každé ze čtyř mřížek totožná a tedy i obsah každého jednoho otvoru, nehledě na jeho tvar, je totožný.

#### 6.4.1 Otvor čtverec

Jako první, byla vymodelována mřížka s otvory ve tvaru čtverce (*Obr. 27*) a od této mřížky, přesněji od celkové plochy všech jejích otvorů, byl odvozen návrh dalších třech mřížek s rozdílnými tvary otvorů.

Mřížku tvoří 169 otvorů ve tvaru čtverce s délkou strany 5 mm. Otvory v mřížce jsou rozvrženy na 13 řad a 13 sloupců. Rozteč jednotlivých děr je 7 mm, tedy materiál mezi každým otvorem na mřížce je o velikosti 2 mm.



*Obr. 27. Mřížka s otvory ve tvaru čtverce.*

Celkovou plochu všech otvorů ( $S_C$ ) mřížky lze vypočítat jako součin plochy jednoho otvoru ( $S$ ) a celkového počtu otvorů ( $N$ ) na mřížce.

$$S_C = S * N \quad (27)$$



Pro výpočet celkové plochy všech otvorů v mřížce je nejprve nutné vypočítat plochu jednoho otvoru pomocí vzorce pro výpočet obsahu čtverce:

$$S = a * a, \quad (28)$$

kde  $S$ , je plocha jednoho otvoru, a délka strany je označena písmenem  $a$ .

$$S = 5 * 5 = 25 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

$$S_c = 25 * 169 = 4225 \text{ mm}^2 \quad (30)$$

Po dosazení do vzorce je tedy výsledná plocha jednoho čtvercového otvoru  $25 \text{ mm}^2$  a plocha všech otvorů celkem tvoří  $4225 \text{ mm}^2$ .

#### 6.4.2 Otvor kruh

Dalším testovaným tvarem otvoru byl kruh. Byl zvolen počet 169 kruhových otvorů v mřížce, stejně jako u mřížky s otvory ve tvaru čtverce. Pro zachování porovnatelnosti výsledků musel být dodržen totožný celkový obsah otvorů v mřížce. Je tedy nutné, aby celkový obsah otvorů v mřížce byl  $4225 \text{ mm}^2$ . Pokud je totožný počet otvorů v mřížce i jejich společná plocha jako u předchozí mřížky, je zřejmé, že obsah jednoho otvoru je také totožný ( $25 \text{ mm}^2$ ). Je tedy nutné vypočítat jen poloměr jednoho kruhového otvoru, aby bylo možné mřížku vymodelovat. Pro výpočet poloměru ( $r$ ) kruhového otvoru je zapotřebí vztah pro výpočet obsahu kruhu

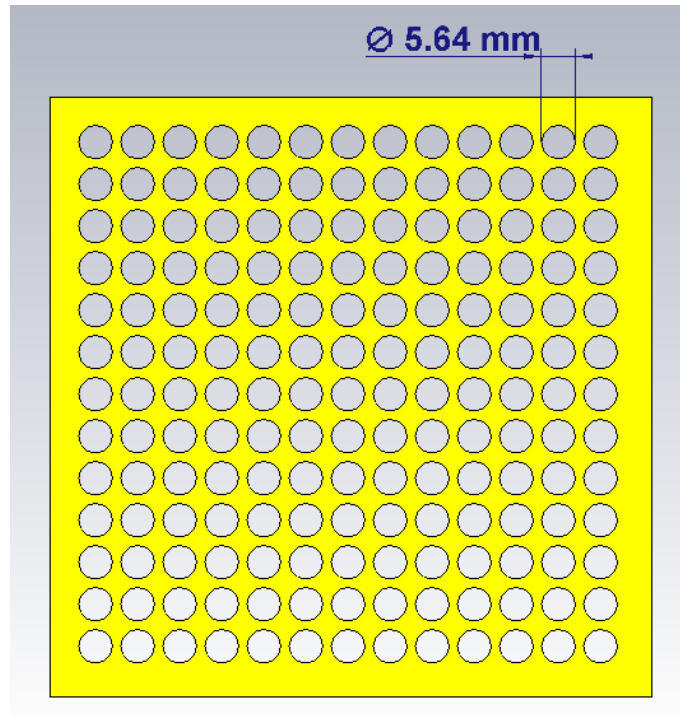
$$S = \pi r^2, \quad (31)$$

kdy po úpravě je vztah pro výpočet poloměru kruhu

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (32)$$

$$r = \sqrt{\frac{25}{\pi}} = 2,820947918 \text{ mm} \quad (33)$$

Po dosazení do vzorce je zřejmé, že poloměr jednoho kruhového otvoru musí být  $2,820947918 \text{ mm}$ . Následující obrázek (*Obr. 28*), zobrazuje mřížku s kruhovými otvory.



Obr. 28. Mřížka s otvory ve tvaru kruhu.

### 6.4.3 Otvor rovnostranný trojúhelník

Třetí mřížkou je mřížka s otvory ve tvaru rovnostranného trojúhelníku, viz Obr. 29. Otvor ve tvaru trojúhelníku se již nemodeluje tak snadno, jako otvory ve tvaru kruhu nebo čtverce. Při modelování je nejprve nutné vytvořit kvádr s délkou strany, jaká je požadována u délky strany rovnostranného trojúhelníku. Tento kvádr je postupně ořezán druhým identickým kvádrem do tvaru rovnostranného trojúhelníku. Stejně jako u předchozích dvou mřížek je i v této mřížce 169 otvorů s celkovou plochou  $4225 \text{ mm}^2$  a plochou jednoho otvoru  $25 \text{ mm}^2$ . Pro výpočet délky stran otvoru je tedy nutné definovat vztah pro výpočet obsahu rovnostranného trojúhelníku:

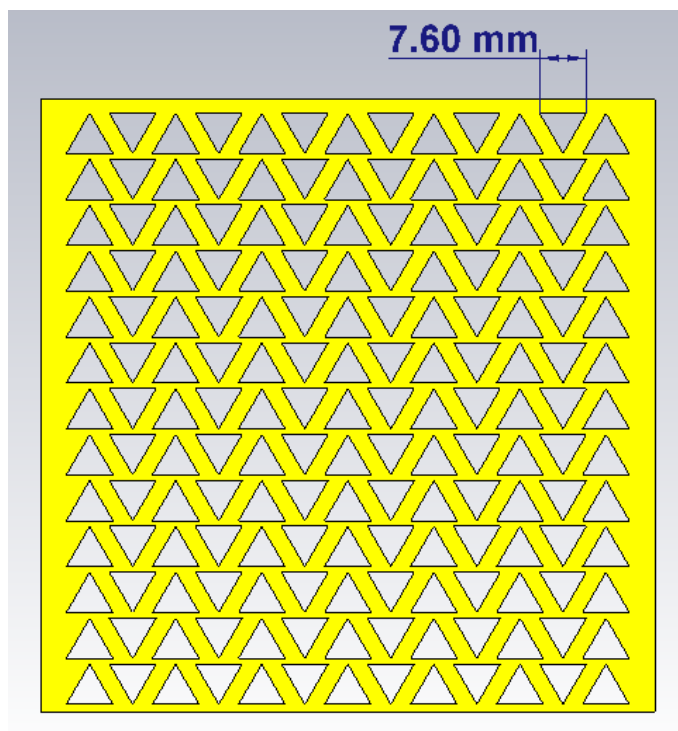
$$S = a^2 \frac{\sqrt{3}}{4}. \quad (34)$$

Po úpravách vzorce pro výpočet obsahu rovnostranného trojúhelníku, je vztah pro výpočet délky jeho strany

$$a = \sqrt{\frac{4S}{\sqrt{3}}} \quad (35)$$

$$a = \sqrt{\frac{100}{\sqrt{3}}} = 7,598356857 \text{ mm} \quad (36)$$

Po dosazení do vzorce je výsledná velikost délky strany otvoru rovnostranného trojúhelníku rovna  $7,598356857 \text{ mm}$ . Tento rozměr je tedy vše potřebné k modulaci mřížky s otvory ve tvaru rovnostranného trojúhelníku, modulačním softwarem.



Obr. 29. Mřížka s otvory ve tvaru rovnostranného trojúhelníka.

#### 6.4.4 Otvor rovnostranný šestiúhelník

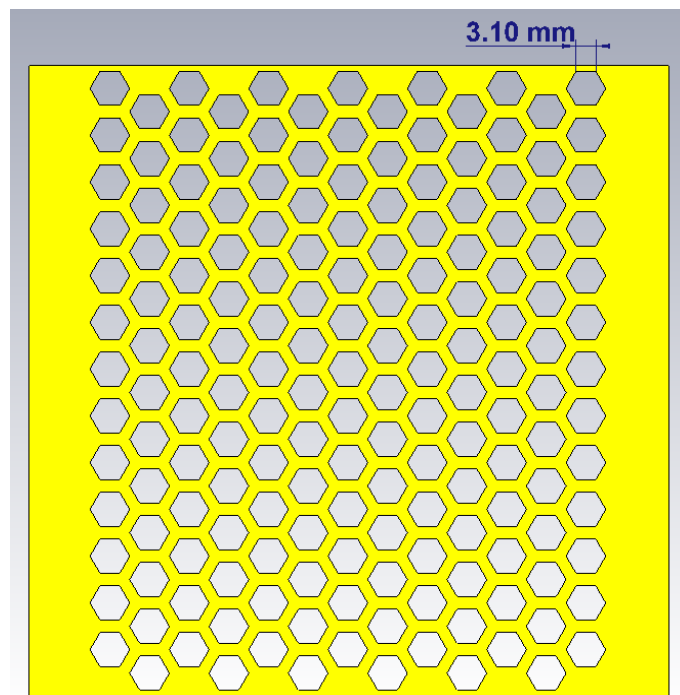
Mřížka s otvory tvaru rovnostranného šestiúhelníku má také 169 otvorů, celková plocha otvorů tvoří  $4225 \text{ mm}^2$  a obsah jednoho otvoru je  $25 \text{ mm}^2$ . Modelování šestiúhelníku je ještě o něco náročnější než modelování trojúhelníku. Nejprve je nutné vymodelovat rovnostranný trojúhelník, který je potřeba dále 5x zkopírovat a přesunout a otočit tak, aby společně vytvořili šestiúhelník. K modelaci otvoru o tvaru šestiúhelníku je tedy potřeba 6 stejných rovnostranných trojúhelníků. Pro určení parametrů šestiúhelníku je nejprve nutné určit rozměry trojúhelníku, ze kterého je šestiúhelník složen. Je tedy potřeba určit obsah jednoho trojúhelníku, který je možné spočítat jako podíl požadované plochy jednoho otvoru a počtu potřebných trojúhelníků.

$$S_P = \frac{25}{6} = 4,1667 \text{ mm}^2 \quad (37)$$

Poté je vypočtena délka strany trojúhelníku, pomocí vztahu z předchozí mřížky, a tím tedy i délka strany rovnostranného šestiúhelníku.

$$a = \sqrt{\frac{4S}{\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{16,667}{\sqrt{3}}} = 3,102016197 \text{ mm} \quad (38)$$

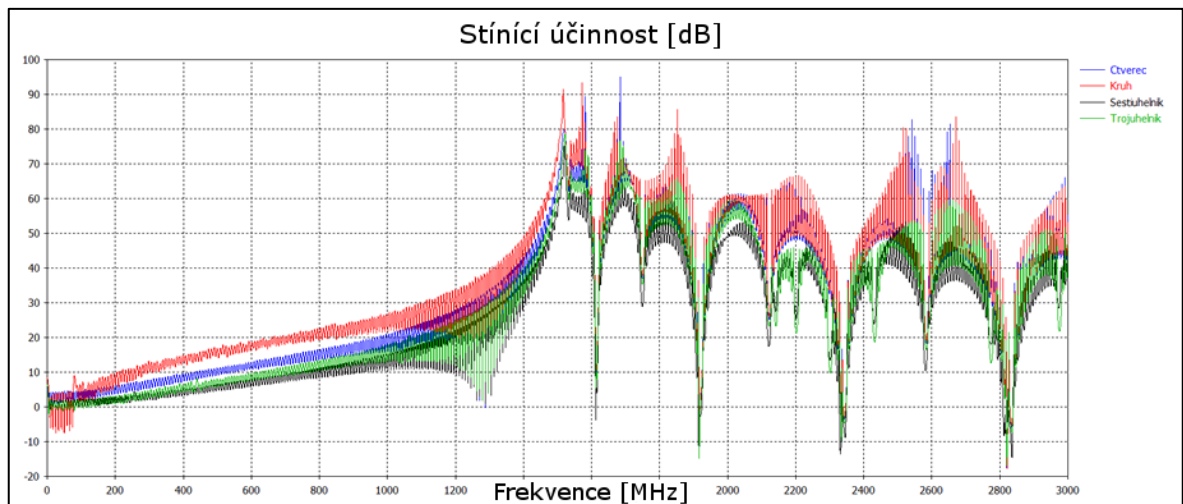
To je vše potřebné k modulaci rovnostranného šestiúhelníku. Mřížka s otvory o tvaru rovnostranného šestiúhelníku je znázorněna na následujícím obrázku.



Obr. 30. Mřížka s otvory ve tvaru šestiúhelníku.

#### 6.4.5 Výsledky simulace měření

Z výše uvedených znázornění mřížek je patrné, že otvory ve tvaru trojúhelníku jsou náročné na prostor, zatímco otvory tvaru šestiúhelníku využívají prostoru nejlépe.



Obr. 31. Účinnost stínění mřížek s rozdílným tvarem otvoru.

Z výsledků simulace měření v programu CST Microwave Studio (Obr. 31) vyplývá, že nejvhodnější tvar otvoru z hlediska stínící účinnosti mřížky, je otvor ve tvaru kruhu (červená) nebo čtverce (modrá), kdy mřížka s otvory ve tvaru kruhu vykazuje nejvyšší stínící účinnost z porovnávaných mřížek při frekvencích do asi 1500 MHz. Při frekvencích vyšších než 1500 MHz je účinnost stínící mřížky s otvory ve tvaru kruhu i čtverce téměř totožná. Rozdíl jednotlivých mřížek, s rozdílným tvarem otvoru, v účinnosti stínění elektrického pole je však v řádu jednotek decibelů, tudíž tvar otvoru nehraje podstatnou roli při návrhu elektromagneticky stínící mřížky.

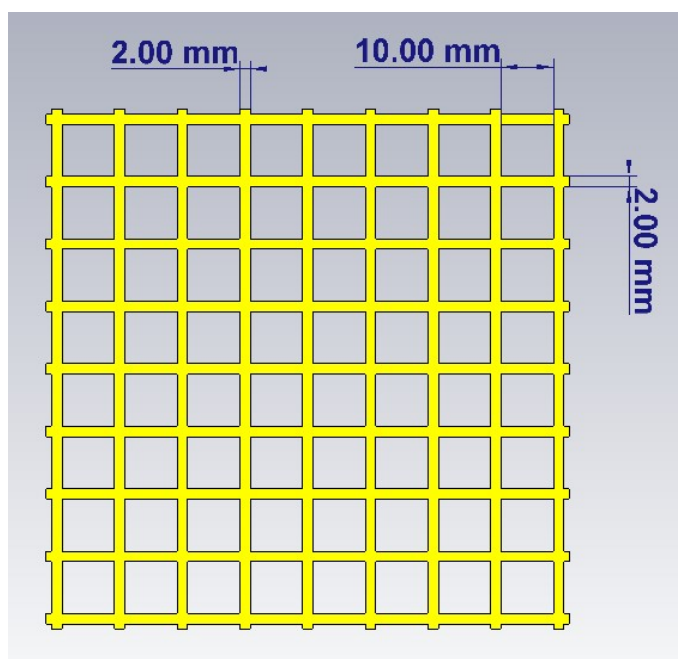
## 6.5 Návrh stínící mřížky

Při navrhování vhodné stínící mřížky bylo vymodelováno a následně otestováno simulačním softwarem několik (desítek) mřížek, kdy bylo experimentováno s různými kombinacemi velikostí otvorů a jejich vzájemným rozstupem. Musel být zvolen kompromis mezi stínící účinností a vlivem na optické vlastnosti kamery. Jelikož navrhnuté mřížky je možné vidět pouze v simulačním softwaru, je vcelku obtížné odhadnout, jaký vliv bude mít mřížka na optické vlastnosti kamery. S ohledem na tyto faktory a na základě teoretických základů bylo vybráno 5 mřížek, kdy se vycházelo z faktu, že čím více je otvorů v mřížce, tím lepší účinnost stínění a zároveň vysoká propustnost světla, jelikož většinu plochy mřížky tvoří otvory. Tyto mřížky budou dále v textu označovány písmeny A – E. Mřížky jsou navrhovány s různými tvary otvorů kvůli možnému rozdílnému vlivu na optické vlastnosti kamery a všechny mřížky jsou navrhovány z elektricky vodivého kovu. Mřížky A, B a C jsou navrhovány jako děrovaný plech, zatímco mřížky D a E jsou „upleteny“ z drátů.

Při simulacích většinou dosahovaly navrhované mřížky nízkou účinností stínění elektrického pole při nižších frekvencích. Tento nedostatek je možné řešit větší tloušťkou materiálu, avšak mřížka s velkou tloušťkou materiálu není vhodná k umístění před objektiv kamery, ale spíše jako ventilace, což je první nedostatek takové mřížky. Dalšími nedostatky jsou hmotnost mřížky a spotřebovaný materiál, tedy i finanční náročnost. Proto bylo od tohoto řešení upuštěno.

### 6.5.1 Mřížka A

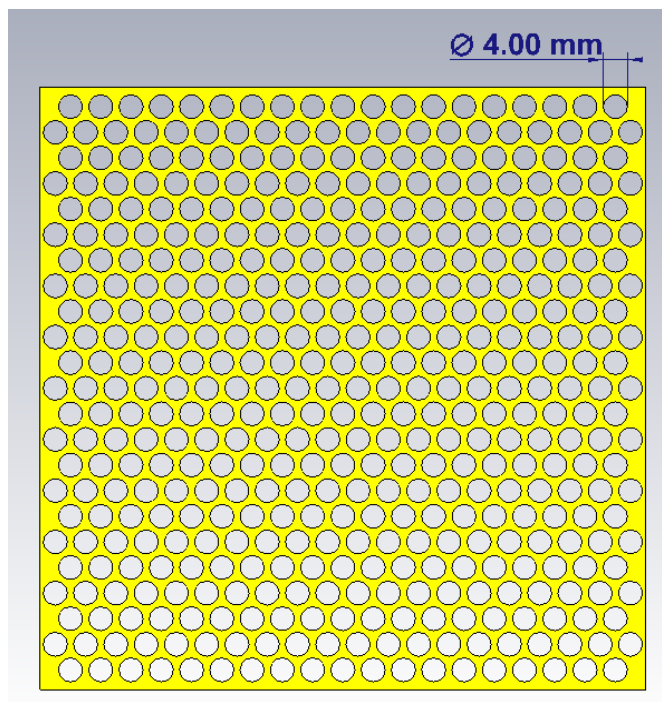
Tato mřížka byla vybrána jako zástupce mřížky s velkými otvory, kdy sice stínící účinnost této mřížky je nízká, avšak větší otvory vypadají vhodné pro umístění před objektiv kamery a nemusela by tedy znatelně narušovat optické vlastnosti kamery. Mřížka má tloušťku 1 mm a je vyobrazena i s rozměry na *Obr. 32*.



*Obr. 32. Návrh mřížky A.*

### 6.5.2 Mřížka B

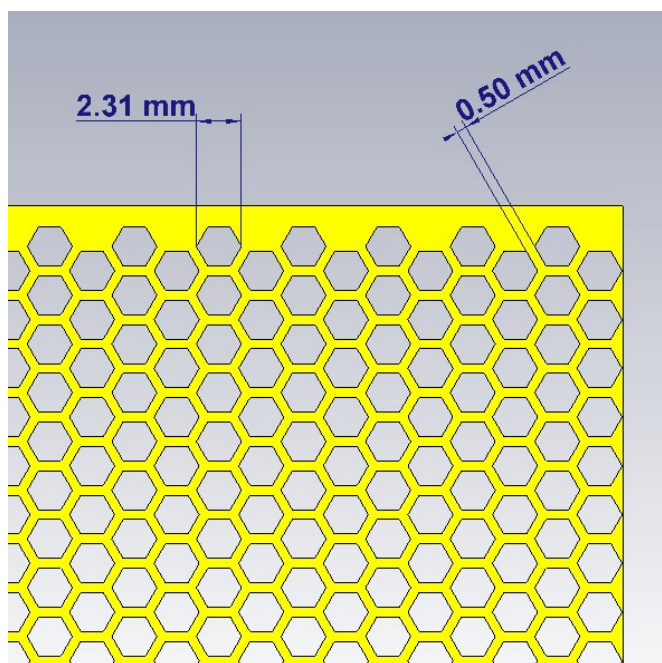
Tato mřížka má kruhové otvory o průměru 4 mm a vzájemná rozteč otvorů je 5 mm. Tloušťka mřížky je 1 mm. Z *Obr. 33* je patrné, že hustota otvorů je podstatně vyšší než u mřížky A.



Obr. 33. Návrh mřížky B.

### 6.5.3 Mřížka C

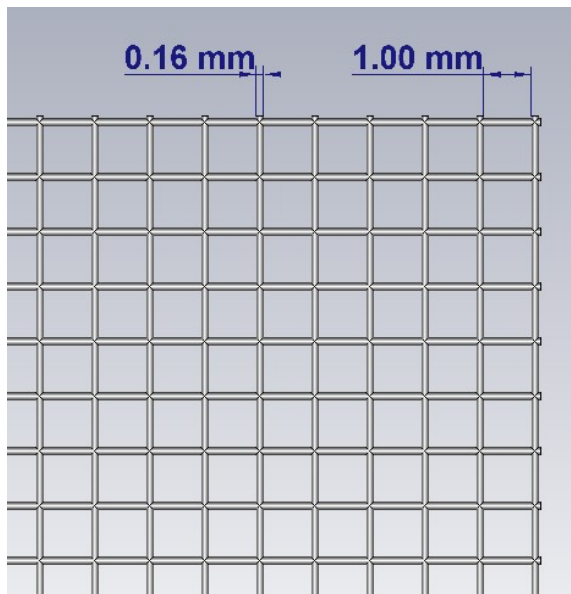
Mřížka má otvory ve tvaru šestiúhelníku a je už dosti jemná. Tloušťka mřížky je 1 mm. Návrh mřížky s rozměry otvorů a materiálu mezi nimi je vyobrazen na Obr. 34, kde je pro přehlednost vyobrazena jen část mřížky C.



Obr. 34. Návrh mřížky C.

#### 6.5.4 Mřížka D

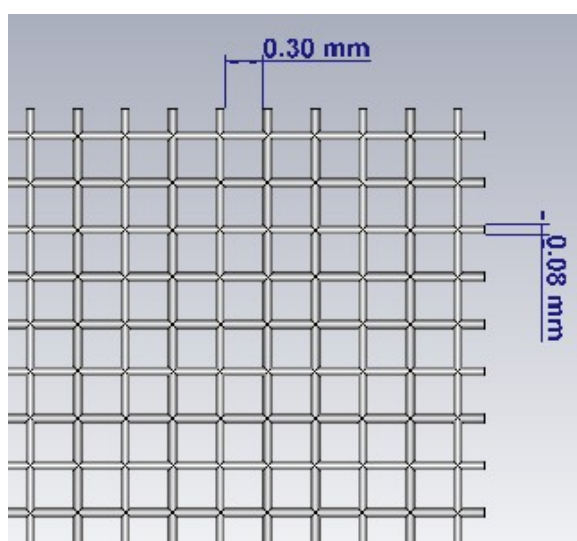
Tato mřížka, *Obr. 35*, je složena z drátů o průměru 0,16 mm a mezera mezi dráty je 1 mm. Mřížka je hodně jemná, a proto je na *Obr. 35* zobrazena pouze část mřížky D.



*Obr. 35. Návrh mřížky D.*

#### 6.5.5 Mřížka E

Mřížka s označením E je nejjemnější ze zvolených mřížek. Má tedy nejmenší otvory i nejmenší množství materiálu, kdy průměr drátu je pouhých 0,08 mm a mezera mezi jednotlivými dráty je 0,3 mm. *Obr. 36* zobrazuje pouze část mřížky E, jelikož je velice jemná a na obrázku celé mřížky by nebyla rozlišitelná její struktura.

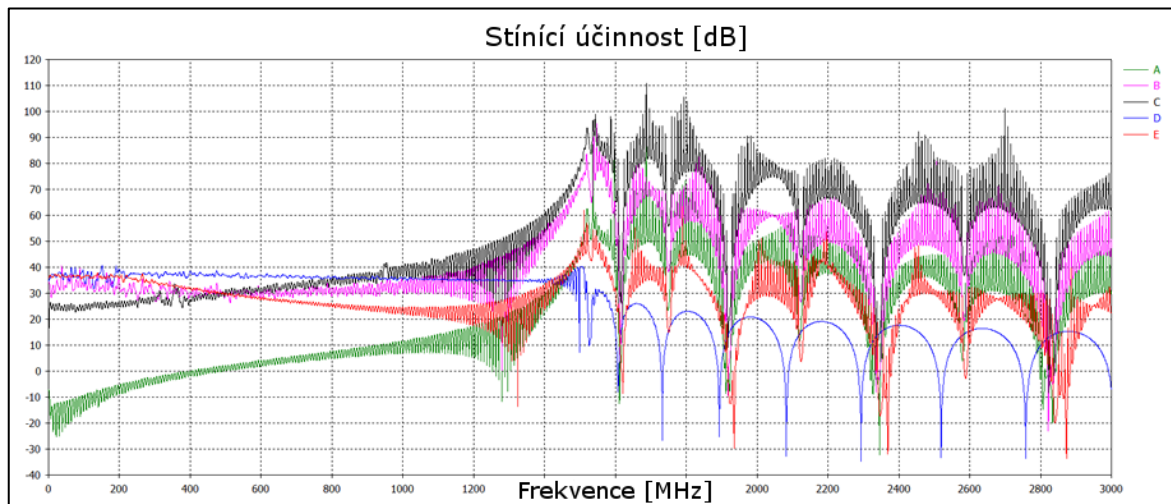


*Obr. 36. Návrh mřížky E.*



### 6.5.6 Výsledky simulace měření

Výše popsaných pět mřížek bylo po modelaci také podrobena simulaci testování účinnosti vůči elektrickému poli, pomocí simulačního softwaru CST Microwave Studio.

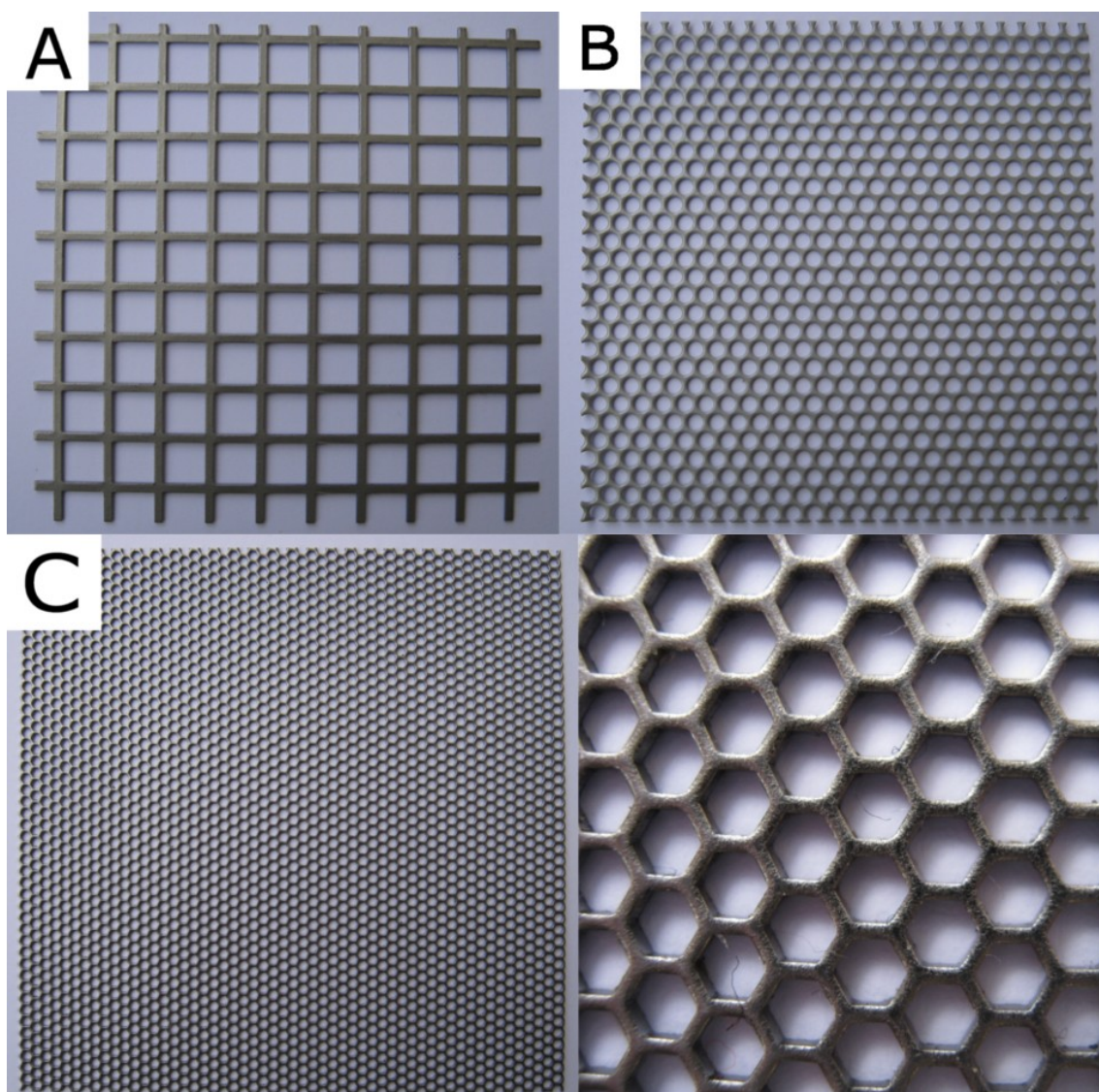


Obr. 37. Stínící účinnost mřížek A – E.

Podle Obr. 37, který zobrazuje výsledky simulace měření, je patrné, že nejlepší výsledky účinnosti stínění mají mřížky C (černá) a B (růžová). Naopak mřížky D (modrá) a E (červená) disponují poměrně vysokou účinností pouze při frekvencích do asi 1500MHz. Výsledky mřížek D a E nejsou sice optimální, ale teoreticky by měly být nejlepším kompromisem mezi účinností stínění a propustností světla. Mřížka A (zelená), která byla zvolena pro svou odlišnost od ostatních čtyř mřížek svou velikostí otvorů, nemá až tak špatné stínící vlastnosti od frekvence cca 1400MHz, avšak do této frekvence je stínící účinnost této mřížky dosti nízká.

## 7 REALIZACE STÍNÍCÍ MŘÍŽKY

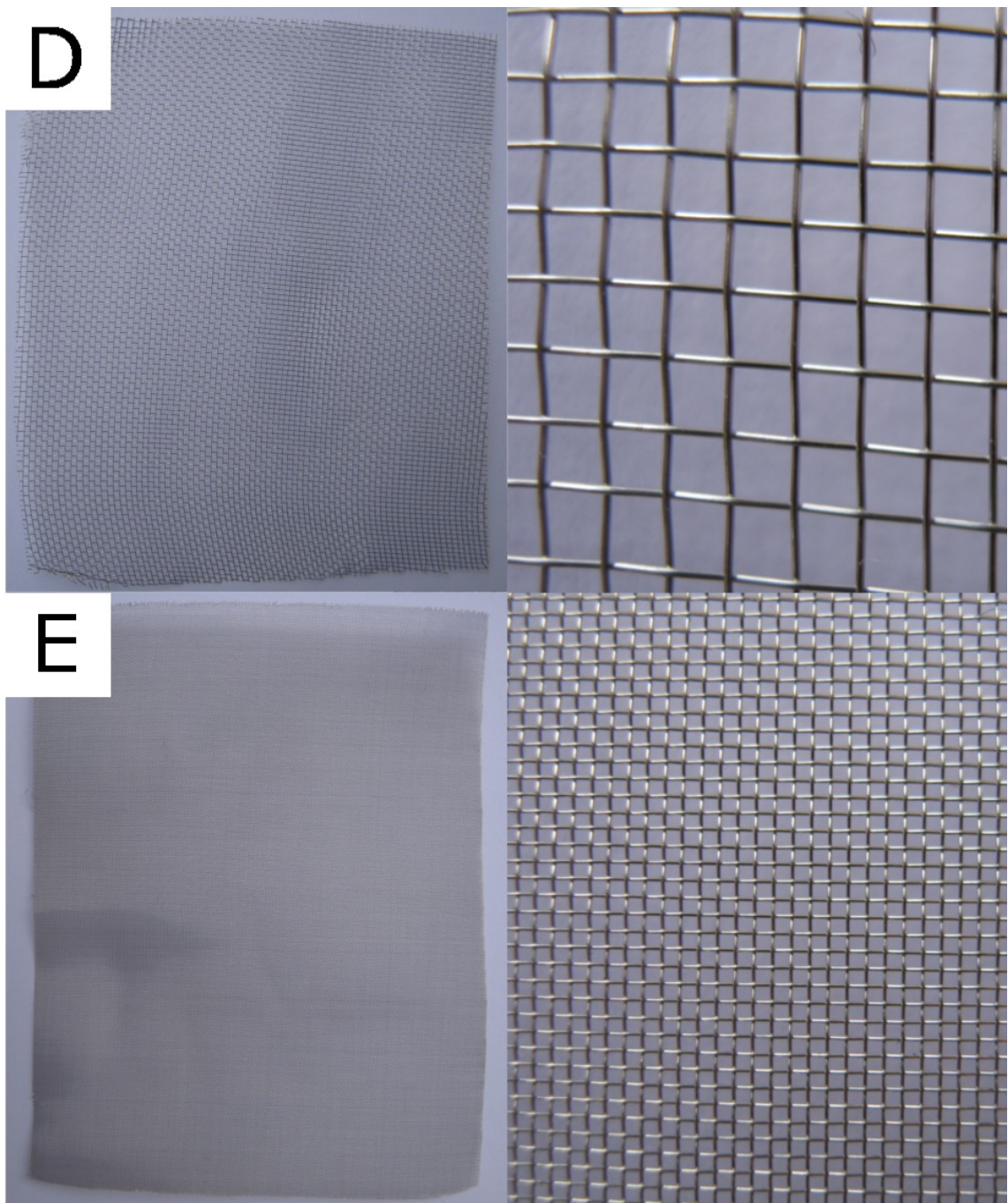
Nejprve byla plánována výroba navrhnutých mřížek na zakázku. Po kontaktování několika firem byla zjištěna, dle mého názoru, extrémní finanční náročnost výroby mřížek, kdy cena za výrobu jedné mřížky o rozměru 25x25 centimetrů se pohybovala minimálně od tisíce korun výše v závislosti na materiálu. Kromě ceny mřížky byl dalším problémem termín dodání, který je v řádu minimálně několika týdnů nebo dokonce i měsíců v závislosti na výrobních kapacitách a množství zakázek dané výrobny. Dnes mají tyto firmy zakázek velké množství a takovéto malé zakázky nejsou zpracovávány prioritně. Proto, z důvodu jak časové tak zejména finanční náročnosti výroby mřížek, bylo přistoupeno k jinému způsobu obstarání mřížek.



Obr. 38. Mřížky A, B a C, vpravo dole detail mřížky C.



Na základě popisu navrhnutých mřížek byly mřížky A, B a C poskytnuty zdarma ve formě vzorku firmou Perfolinea. Nevýhodou však byla nemožnost výběru materiálu. Poskytnuté vzorky jsou ocelové, některé s povrchovou úpravou. Mřížky měly být původně z nerezového plechu, kvůli jejich korozivzdornosti, avšak na jejich vlastnosti z hlediska účinnosti útlumu elektromagnetického pole by to nemělo mít vliv, na základě výsledků měření v simulačním softwaru. Mřížky A, B a C jsou poměrně dost pevné a jejich hmotnost je výrazně vyšší než hmotnost mřížek D a E.



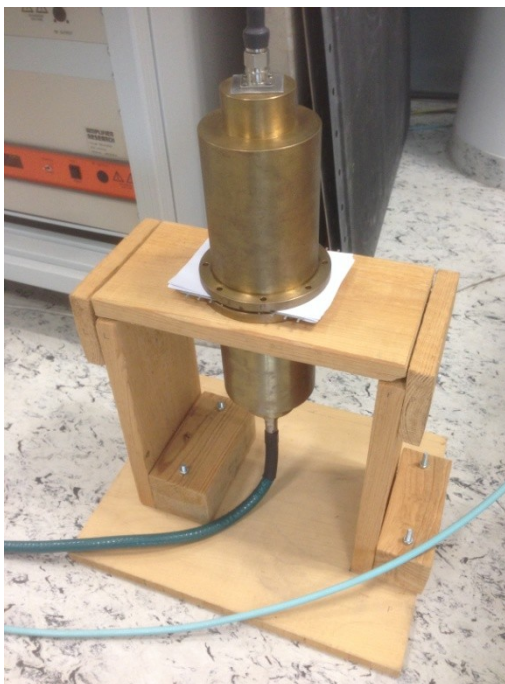
Obr. 39. Mřížky D a E, vpravo detail mřížky.

Při realizaci mřížek D a E přišlo na řadu nejprve pátrání, zda se takovéto mřížky již nacházejí v sortimentu firem, ať už k jakémukoliv účelu, a nemuselo se přistoupit k nákladné zakázkové výrobě. Nebyl nalezen výrobce na území České republiky, v zahraničí se však výrobou takovýchto mřížek zabývají. Mřížky, v požadovaném materiálu - nerez, byly pořízeny v Německu a to konkrétně ve firmě Yshield. Cena mřížky D je 13,9 €, tedy asi 355 Kč. Cena mřížky E je 11,9 €, tedy asi 305 Kč. Tyto ceny jsou však za jeden plošný metr. Tudíž náklady na jednu mřížku, dejme tomu o rozměru 10x10cm, by se pohybovaly okolo 3,55 Kč respektive 3,05 Kč, což už je cena velice zajímavá. Mřížky D a E disponují nízkou hmotností a jsou velice dobře tvarovatelné.

## 8 MĚŘENÍ STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI MŘÍŽEK

Měření stínící účinnosti mřížek probíhalo v budově Vědecko - technický park „Informační a komunikační technologie“ při Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Měření bylo uskutečněno pomocí měřicího koaxiálního vedení (*Obr. 40*), které bylo připojeno ke generátoru a přijímači signálu. Testovaná mřížka byla umístěna mezi sondami těchto dvou zařízení. Jako generátor bylo použito zařízení s označením SMB100A RF and Microwave Signal Generator od firmy ROHDE&SCHWARZ s frekvenčním rozsahem 100 kHz až 40 GHz. Jako přijímač signálu bylo použito zařízení taktéž od firmy ROHDE&SCHWARZ, nesoucí označení ESU EMI Test Receiver, které slouží k měření elektromagnetické interference, s frekvenčním rozsahem 20 Hz až 8 GHz.



*Obr. 40. Měřicí koaxiální vedení.*

Měření probíhalo tak, že mezi sondy byla vložena testovaná mřížka a následně musela být nastavena frekvence generovaného signálu a stejná frekvence musela být nastavena i na přijímači. Před započítím měření s mřížkami, musela být změřena intenzita signálu bez mřížky, tento signál bude označován jako *Background (BG)*. Měření tedy probíhalo manuálně a každá testovaná frekvence musela být nastavena jak na vysílači, tak na přijímači signálu a následně zapsána naměřená hodnota. Měření probíhalo na frekvencích od 80 MHz do 3 GHz, kdy první měřená frekvence byla 80 MHz, další 200MHz a následně se

postupovalo po 200 MHz. Každá mřížka byla tedy testována pro 16 různých frekvencí a měření každé mřížky bylo několikrát opakováno. Výsledkem tedy byly hodnoty představující intenzitu signálu po průchodu mřížkou. Průměrné naměřené hodnoty uvádí *Tab. 2*. K dosažení hodnoty celkového útlumu jednotlivých mřížek je nutné od výsledků odečíst hodnotu signálu bez mřížky, tedy *BG*. Výsledné hodnoty celkového útlumu jednotlivých mřížek jsou uvedeny v *Tab. 3*.

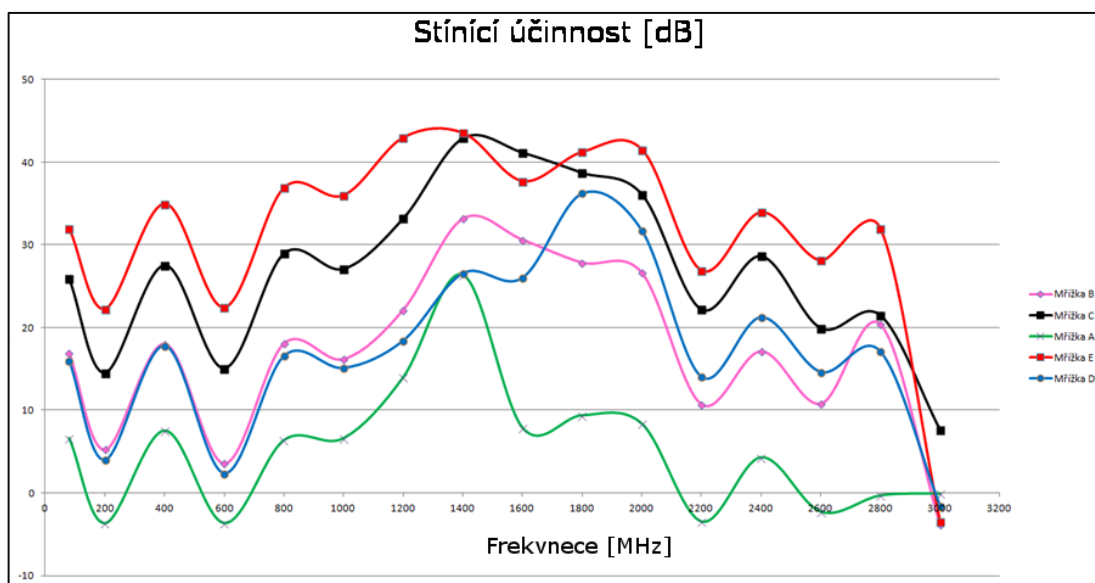
*Tab. 2. Průměrné naměřené hodnoty signálu bez mřížky a po průchodu jednotlivými mřížkami.*

Frekvence	BG	Mřížka A	Mřížka B	Mřížka C	Mřížka D	Mřížka E
[MHz]	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[dBm]
80	-30,06	-36,67	-46,98	-55,94	-46,03	-62,04
200	-34,09	-30,43	-39,34	-48,61	-38,06	-56,34
400	-30,03	-37,55	-48,05	-57,55	-47,81	-65,00
600	-34,11	-30,46	-37,70	-49,17	-36,45	-56,54
800	-34,04	-40,42	-52,11	-62,98	-50,59	-70,95
1000	-34,11	-40,72	-50,30	-61,19	-49,20	-70,10
1200	-34,38	-48,37	-56,52	-67,56	-52,78	-77,36
1400	-34,31	-60,65	-67,46	-77,20	-60,85	-77,85
1600	-34,40	-42,26	-64,99	-75,55	-60,40	-72,11
1800	-34,61	-43,99	-62,45	-73,31	-70,80	-75,84
2000	-32,18	-40,53	-58,78	-68,28	-63,88	-73,71
2200	-34,95	-31,49	-45,67	-57,11	-48,95	-61,84
2400	-35,19	-39,49	-52,31	-63,81	-56,41	-69,12
2600	-35,05	-32,77	-45,86	-54,94	-49,64	-63,15
2800	-35,18	-34,87	-55,55	-56,63	-52,23	-67,13
3000	-35,73	-35,66	-31,86	-43,31	-34,10	-32,21

Tab. 3. Stínící účinnost mřížek.

Frekvence	Mřížka A	Mřížka B	Mřížka C	Mřížka D	Mřížka E
[MHz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
80	6,61	16,92	25,88	15,97	31,98
200	-3,66	5,25	14,52	3,97	22,25
400	7,52	18,02	27,52	17,78	34,97
600	-3,65	3,59	15,06	2,34	22,43
800	6,38	18,07	28,94	16,55	36,91
1000	6,61	16,19	27,08	15,09	35,99
1200	13,99	22,14	33,18	18,40	42,98
1400	26,34	33,15	42,89	26,54	43,54
1600	7,86	30,59	41,15	26,00	37,71
1800	9,38	27,84	38,70	36,19	41,23
2000	8,35	26,60	36,10	31,70	41,53
2200	-3,46	10,72	22,16	14,00	26,89
2400	4,30	17,12	28,62	21,22	33,93
2600	-2,28	10,81	19,89	14,59	28,10
2800	-0,31	20,37	21,45	17,05	31,95
3000	-0,07	-3,87	7,58	-1,63	-3,52
<b>Průměr</b>	5,24	17,09	26,92	17,24	31,80

Na základě hodnot uvedených v Tab. 3 je zřejmé, že nejlepší účinnosti stínění dosahují mřížky C a E. Mřížky B a D dosahují již nižší účinnosti stínění. Mřížka A dosahuje nejnižší účinnosti stínění z testovaných mřížek, ale tato mřížka byla vybrána z důvodu velikosti otvorů a možné vhodnosti pro umístění před objektiv kamery.



Obr. 41. Celková účinnost útlumu signálu jednotlivých stínících mřížek.

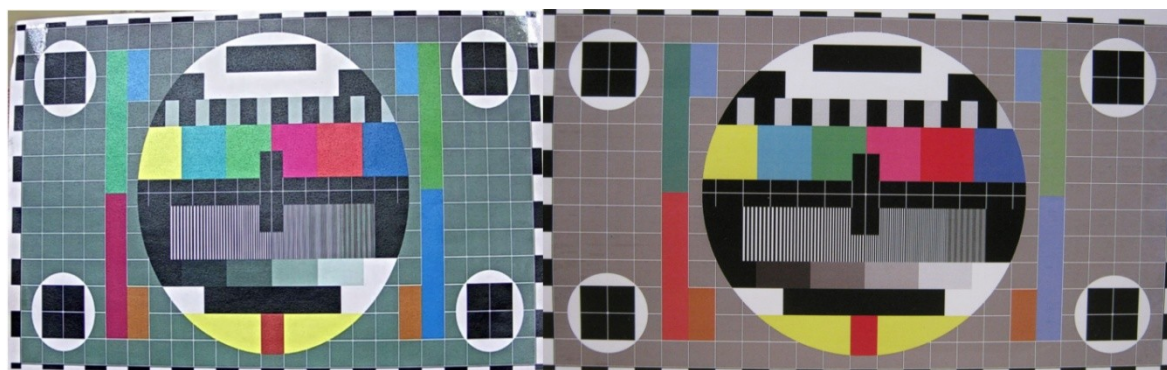
Samozřejmě, stejně jako *Tab. 3*, zobrazuje i *Obr. 41* hodnoty účinnosti stínící mřížky při určitých frekvencích. Stínící účinnost mřížek roste s rostoucí frekvencí do frekvence interferenčního signálu asi 1400 MHz. Od této frekvence stínící účinnost mřížek zase klesá. Lze říci, že stínící účinnost navrhovaných mřížek je nejvyšší pro interferenční elektromagnetická pole o frekvencích cca 1200 – 2000 MHz.

Při srovnání výsledků měření v laboratoři a výsledků měření simulačním softwarem (*Obr. 37*) je patrné, že ve skutečnosti dosahuje mřížka A (zelená) ještě mnohem horších výsledků. Překvapivým výsledkem je stínící účinnost mřížky E (červená), která v simulacích dosahovala srovnatelné úrovně účinnosti jako v reálném měření. U mřížek B (růžová) a C (černá) je jejich naměřená reálná stínící účinnost nižší než v simulacích. Výsledek stínící účinnosti mřížky D (modrá) je srovnatelný s výsledkem simulovaného měření avšak až od frekvence asi 1700 MHz, do této frekvence jsou reálné výsledky znatelně horší než v simulaci. Nejlepší účinnost stínění elektromagnetického záření tedy mají mřížky C a E. Obecně lze říci, že naměřená stínící účinnost při reálném měření je nižší než účinnost, kterou vykazují mřížky v simulačním softwaru.



## 9 TESTOVÁNÍ OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ KAMERY

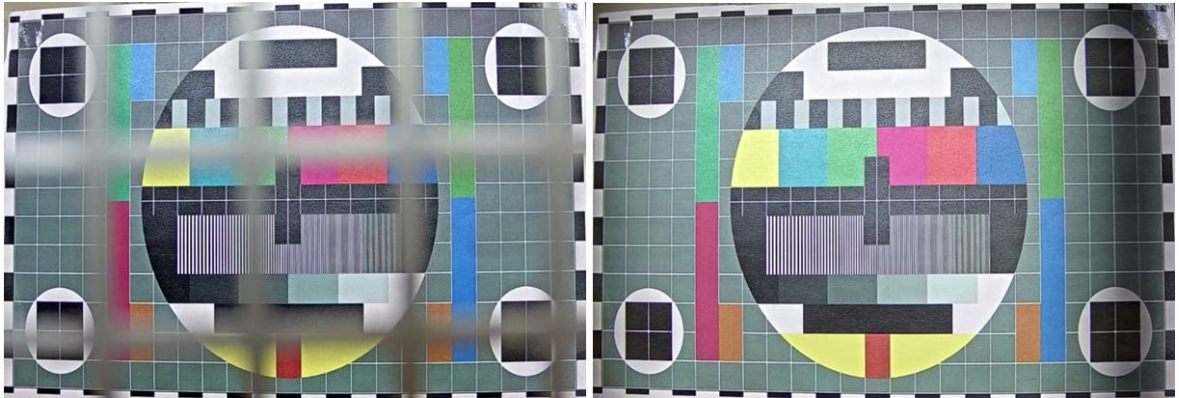
Již při návrhu stínící mřížky je nutné věnovat pozornost struktuře mřížky a pokusit se ji navrhnout tak, aby dostatečně propouštěla světlo a nepřípustně neovlivňovala optické vlastnosti kamery. Vliv stínící mřížky na optické vlastnosti kamery se odhaduje poměrně obtížně. Jediný způsob, jak zjistit zda je mřížka vhodná k umístění před objektiv kamery či nikoliv, je postavit mřížku před objektiv kamery. Všech 5 navržených mřížek bylo tedy podrobena zkoušce pro zjištění jejich vlivu na optické vlastnosti kamery. Testování probíhalo v Laboratoři kamerových systémů na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Testování probíhalo na dvou zařízeních. Jedno zařízení s manuální změnou ohniskové vzdálenosti objektivu a druhé zařízení s automatickým nastavením ohniskové vzdálenosti objektivu.



*Obr. 42. Televizní zkušební obrazec.*

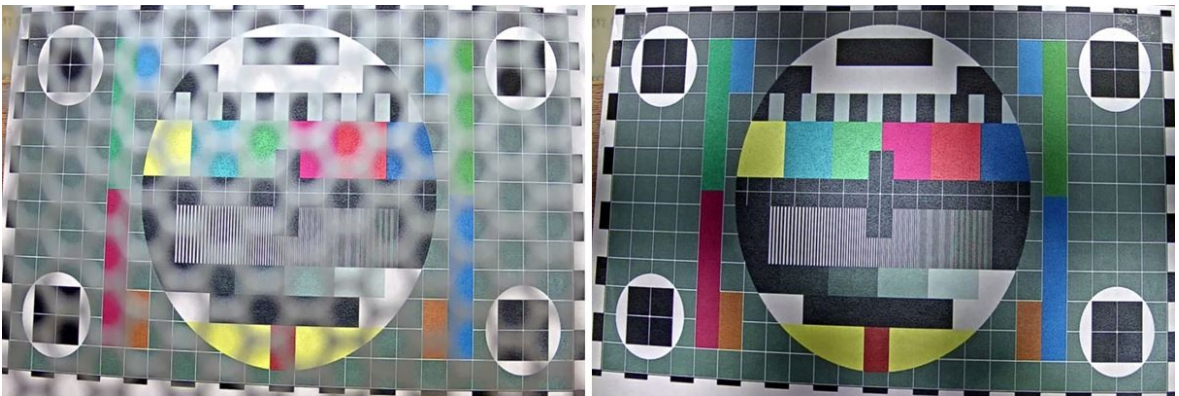
### 9.1 Manuální změna ohniskové vzdálenosti

Nejprve byla zvolena kamera Axis M1125, která nemá funkci automatického ostření a nastavení ohniskové vzdálenosti probíhá manuálně na objektivu kamery. Jako snímaná scéna byl zvolen televizní zkušební obrazec, který slouží k nastavení kamery. Na *Obr. 42* vlevo, je televizní zkušební obrazec zaznamenán kamerou Axis, který slouží pro porovnání záznamu s obrázy s mřížkami umístěnými před objektiv kamery. Televizní zkušební obrazec, byl umístěn ve vzdálenosti 40 centimetrů od objektivu kamery. Následně byly umístěny jednotlivé mřížky před objektiv kamery a to ve vzdálenosti cca 5 centimetrů od objektivu kamery a poté také těsně před objektiv kamery. Pro komunikaci s kamerou byl použit program Microsoft Visual Studio. Zdrojový kód byl využit vlastní, který byl vytvořen předešlý semestr v předmětu Kamerové systémy.



*Obr. 43. Mřížka A. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

Při umístění mřížky A ve vzdálenosti 5 cm před objektivem kamery (Obr. 43) je patrná struktura mřížky a poměrně dost narušuje obraz. Pokud je mřížka A umístěna těsně před objektiv (Obr. 43), nemusí být téměř ani patrná, záleží na pozici mřížky před objektivem. Pokud je mřížka umístěna tak, že čočka objektivu je veprostřed otvoru, potom dochází k nejnižšímu ovlivnění optických vlastností kamery.



*Obr. 44. Mřížka B. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

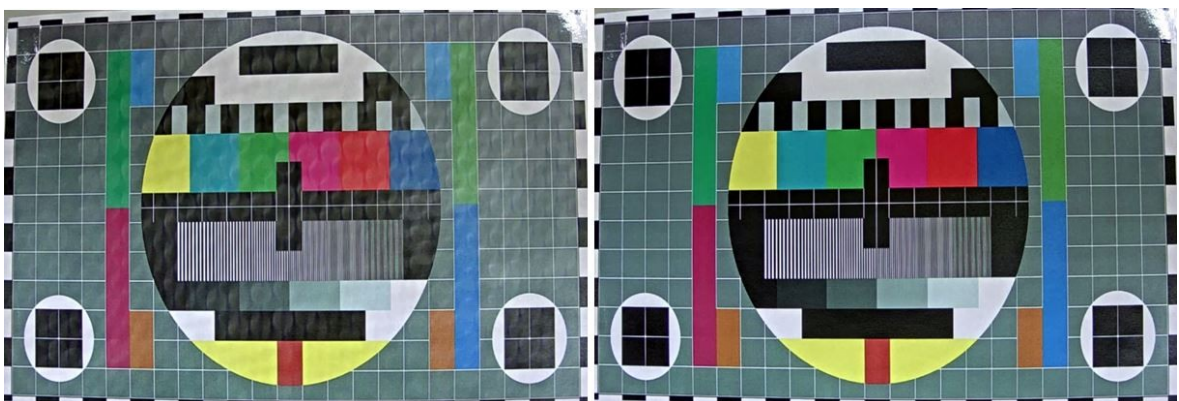
Mřížka B, při umístění 5 cm před objektiv kamery (Obr. 44) výrazně narušuje obraz snímané scény. Při umístění mřížky B těsně před objektiv kamery (Obr. 44) vznikají v obraze tmavší místa, je tedy ovlivněn jas a sytost barev určitých částí obrazu.





*Obr. 45. Mřížka C. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

Pokud je mřížka B umístěna 5 cm před objektiv kamery (Obr. 45) vznikají v obraze světlejší body a obraz je celkově o malinko tmavší. Při umístění mřížky B těsně před objektiv kamery (Obr. 45) není patrná žádná změna obrazu.



*Obr. 46. Mřížka D. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

Mřížka D umístěná 5 cm před objektivem kamery (Obr. 46) způsobuje vznik pravidelných útvarů v obraze. Obraz je však ovlivněn minimálně. Při umístění mřížky D těsně před objektiv kamery (Obr. 46) není patrná žádná změna v obraze.



*Obr. 47. Mřížka E. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

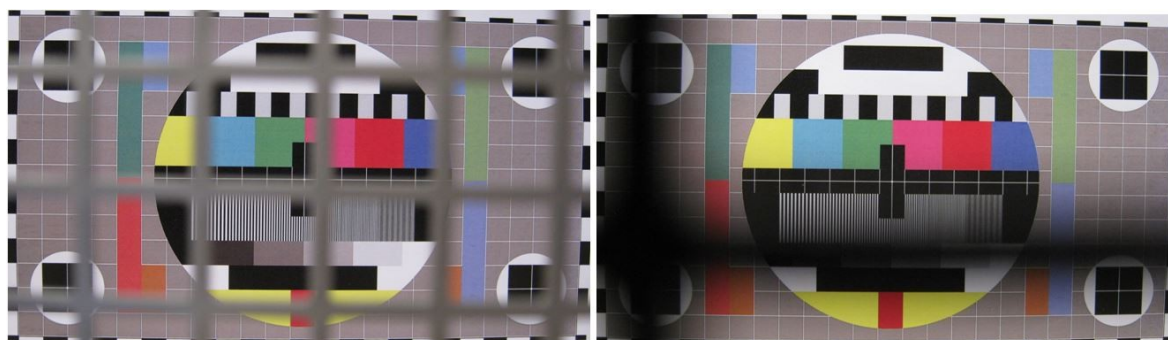
Při umístění mřížky E 5 cm před objektiv kamery (*Obr. 47*) je pouze patrný snížený jas obrazu. Pokud je mřížka E umístěna těsně před objektiv kamery (*Obr. 47*) není patrná změna obrazu.

U kamery s manuálním nastavením ohniskové vzdálenosti, je obraz zaostřen vždy na požadovaný objekt snímané scény a není přeostrřován na strukturu mřížky. Při umístění mřížek do vzdálenosti 5 cm před objektiv kamery jsou nejlépe vhodné mřížky C, D a E. Pro umístění mřížky těsně před objektiv kamery jsou vhodné všechny mřížky, tedy A – E.

Při zohlednění stínící účinnosti navržených mřížek (*Obr. 41*) a jejich vlivu na optické vlastnosti kamery, dosahuje nejlepších vlastností v obou směrech mřížka E, následována mřížkou C. Tyto dvě stínící mřížky jsou vhodné pro umístění před objektiv kamery s manuální změnou ohniskové vzdálenosti, kdy je zajištěna poměrně vysoká stínící účinnost a minimální dopad na optické vlastnosti kamery.

## 9.2 Elektronická změna ohniskové vzdálenosti

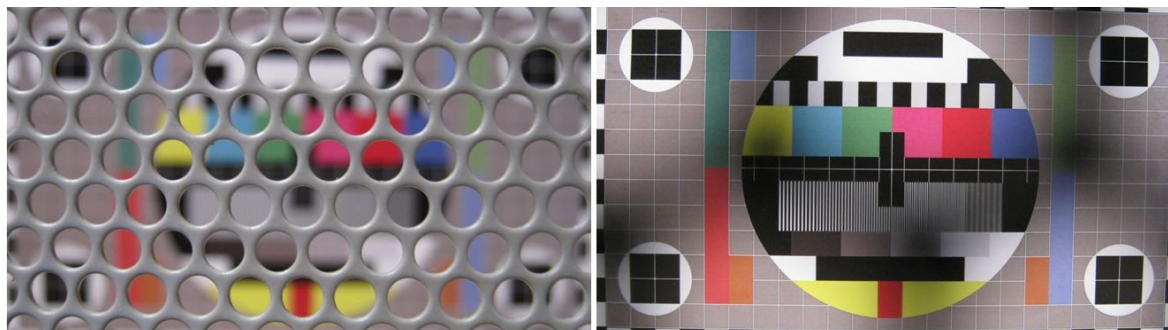
Jako zástupce kamery s automatickým ostřením byl zvolen digitální fotoaparát Canon PowerShot A480, jelikož ve škole nebyla k dispozici bezpečnostní kamera s automatickým ostřením, tedy změnou ohniskové vzdálenosti. Fotoaparát byl umístěn 30 centimetrů od televizního zkušební obrazce a testované mřížky byly umístovány do vzdálenosti 5 cm a následně těsně před objektiv. Obraz snímané scény bez mřížek před objektivem fotoaparátu je zobrazen na *Obr. 42* vpravo. Tento obraz televizního zkušební obrazce slouží pro porovnání s fotografiemi, na kterých jsou umístěny jednotlivé mřížky před objektivem.



*Obr. 48. Mřížka A. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

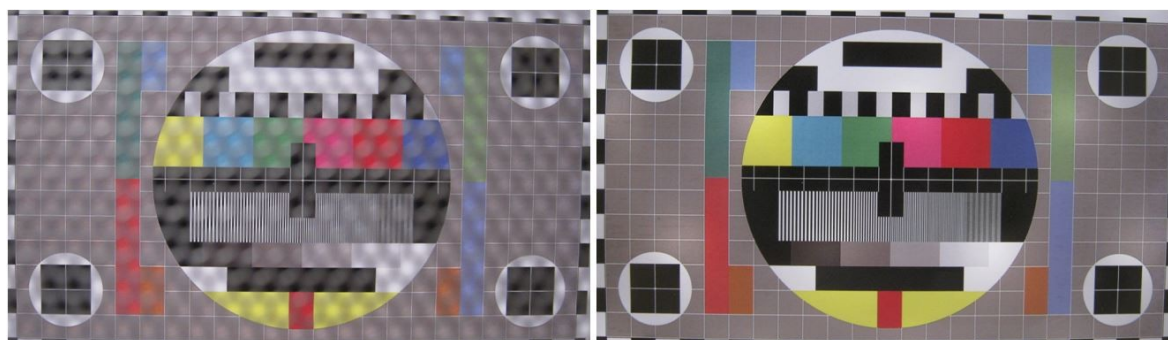
V případě umístění mřížky A ve vzdálenosti 5 cm před objektivem (*Obr. 48*) je zřetelná struktura mřížky, podobně jako v případě použití kamery s manuálním nastavením

ohniskové vzdálenosti. Pokud je mřížka A umístěna těsně před objektivem (Obr. 48), části mřížky zcela zakrývají určité části obrazu.



Obr. 49. Mřížka B. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.

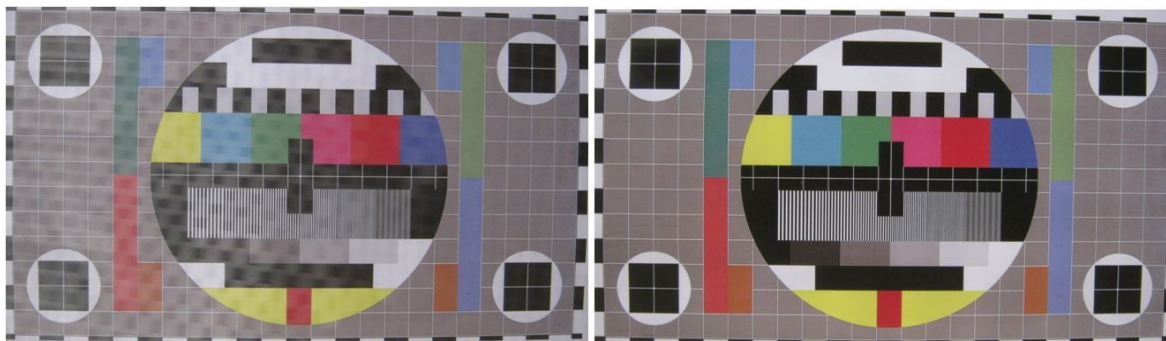
U mřížky B umístěné 5 cm před objektiv (Obr. 49) je zřejmé, že zařízení ostří na mřížku, nikoliv na požadovanou scénu. Pokud je mřížka umístěna těsně za objektiv (Obr. 49), jsou v obraze patrné tmavé skvrny.



Obr. 50. Mřížka C. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.

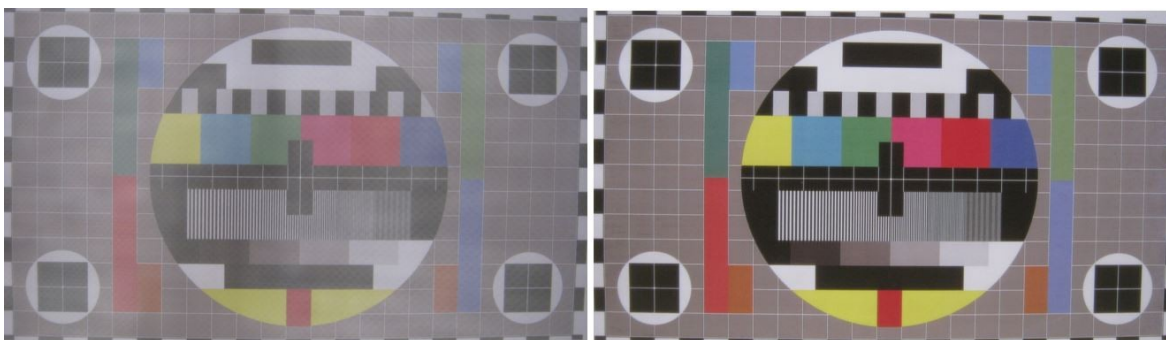
Pokud je mřížka C umístěna 5 cm před objektivem (Obr. 50), stále je zaostřeno na snímanou scénu, avšak mřížka ovlivňuje výsledný obraz zejména útvary, způsobenými strukturou mřížky. Při umístění mřížky C těsně před objektiv (Obr. 50) jsou v obraze patrná světlejší místa.





*Obr. 51. Mřížka D. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

Mřížka D, umístěna 5 cm před objektivem způsobuje v obraze přítomnost tmavších teček. V případě umístění mřížky D těsně před objektiv není patrná žádná změna.



*Obr. 52. Mřížka E. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.*

V případě mřížky E umístěné ve vzdálenosti 5 cm před objektivem (*Obr. 52*) je obraz jakoby zamlžený. Pokud je mřížka E umístěna těsně za objektiv (*Obr. 52*), potom je výsledný obraz lehce rozostřený a dochází ke snížení sytosti barev.

V případě umístění stínící mřížky do vzdálenosti 5 cm před objektiv kamery s automatickým ostřením je nejvhodnější použít mřížku C nebo D. Pokud bude mřížka umístěna těsně za objektivem, potom jsou nejvhodnější volbou mřížky C, D a E.

Při zohlednění obou hlavních faktorů, stínící účinnosti a vlivu stínící mřížky na optické vlastnosti kamery, je nejlepší volbou mřížka C následována mřížkou E.

Obecně lze říci, že vliv mřížek na optické vlastnosti kamery, je při umístění mřížky těsně před objektiv téměř totožný jak v případě zařízení s manuálním tak elektronickým nastavením ohniskové vzdálenosti. Naopak při umístění mřížky do vzdálenosti 5 cm před objektiv zařízení, jsou patrné horší výsledky optických vlastností kamery v případě automatické změny ohniskové vzdálenosti oproti manuálnímu nastavování.

Umístění stínící mřížky těsně před objektivem a ve vzdálenosti 5 cm před objektivem má své opodstatnění v předpokládaném způsobu aplikace stínící mřížky. Příklad umístění stínící mřížky do těsné blízkosti objektivu simuluje aplikaci stínící mřížky do nebo na vstupní pupilu objektivu. Vzdálenost 5 cm před objektivem kamery představuje implementaci stínící mřížky do krytu kamery.

Nejlepších výsledků na základě stínící účinnosti a vlivu na optické vlastnosti kamery dosáhly mřížky C a E o kterých lze říci, že jsou vhodné pro použití při elektromagnetickém stínění bezpečnostních kamer.

## ZÁVĚR

Teoretická část práce pojednává o elektromagnetickém poli, jeho vzniku a složení. Následuje objasnění pojmu elektromagnetická kompatibilita, členění rušivých signálů a způsob jejich přenosu. Práce popisuje faktory ovlivňující stínící účinnost kovových materiálů, a způsoby útlumu elektromagnetického pole stínící přepážkou. Taktéž je vysvětlen princip fungování bezpečnostní kamery a její základní části kamery.

Praktická část práce se věnuje popisu simulačního software CST Microwave Studio a procesu návrhu stínící mřížky pomocí tohoto softwaru. V první řadě byl zkoumán vliv druhu materiálu na účinnost stínění. Výsledkem simulací je poznatek, že jediným podstatným faktorem při výběru vhodného materiálu, z hlediska účinnosti elektromagnetického stínění, je splnění požadavku na elektrickou vodivost materiálu. Předmětem experimentu bylo také stanovit vliv tloušťky stínícího materiálu na celkovou účinnost stínění. Z výsledků simulací vyplývá, že účinnost je úměrná k tloušťce materiálu, což potvrzuje poznatky z teorie. Jinými slovy, zvyšující se tloušťka materiálu zlepšuje stínící účinnost. Poté byl zhodnocen vliv počtu otvorů ve stínící mřížce na její účinnost. Byly navrhнутy tři stínící mřížky s různým počtem kruhových otvorů, avšak celková plocha otvorů všech mřížek byla totožná. Výsledkem simulací je rostoucí stínící účinnost mřížky s rostoucím počtem otvorů při zachování totožné celkové plochy děr, což je způsobeno rozložením děr na ploše materiálu. Práce se rovněž zabývala vlivem tvaru otvorů na celkovou účinnost stínění. Simulace odhalila rozdíly v účinnosti stínění v závislosti na tvaru otvoru, avšak tyto rozdíly byly minimální, tudíž tvar otvoru nehraje významnou roli při návrhu stínící mřížky. Při návrhu stínící mřížky bylo tedy podstatné, aby byl materiál elektricky vodivý a stínící mřížku tvořil velký počet otvorů.

Bylo navrhнuto několik desítek modelů různých mřížek, z nichž bylo vybráno 5 mřížek. Mřížky byly vybrány s ohledem na jejich simulovanou stínící účinnost, odhadovanou propustnost světla a také s přihlédnutím k možnostem realizace. V práci je uveden návrh těchto mřížek spolu s výsledky jejich stínící účinnosti zprostředkované simulačním softwarem.

Navrhнутé mřížky byly následně realizovány, ne však prostřednictvím původně plánované zakázkové výroby. Zakázková výroba by byla finančně, technologicky a hlavně časově značně náročná. Mřížky A, B a C byly poskytnuty jako vzorky zdarma firmou Per-



folinea. Mřížky D a E byly zakoupeny v Německu, z důvodu nedostupnosti na českém trhu.

Všechny realizované mřížky byly podrobeny měření jejich stínící účinnosti pomocí měřicího koaxiálního vedení, kdy nejlepších hodnot dosáhly mřížky C a E. Výsledky simulací se rozcházejí s reálnými výstupy měření, kdy reálná stínící účinnost mřížek je nižší než jejich simulovaná účinnost.

Po měření účinnosti navržených mřížek bylo nutné zhodnotit vliv stínících mřížek na optické vlastnosti bezpečnostních kamer. Test optických vlastností kamery probíhal na dvou různých zařízeních a stínící mřížky byla vždy umístěna 5 cm před objektiv a následně těsně před objektiv kamery z důvodu simulace případné implementace stínící mřížky do krytu kamery nebo přímo do vstupní pupily objektivu. Prvním zařízením byla kamera Axis M1125, u které je ohnisková vzdálenost nastavována manuálně na objektivu kamery, kdy snímaná scéna zůstala zaostřena i po umístění stínící mřížky mezi snímanou scénu a objektiv a nezaostřovala tedy na stínící mřížku. Druhým zařízením, jelikož nebyla k dispozici bezpečnostní kamera s automatickým ostřením, byl zvolen digitální fotoaparát Canon A480, který disponuje automatickým ostřením. Obraz zaznamenaný oběma zařízeními je srovnatelný při umístění mřížky těsně před objektiv kamery. Když byla mřížka umístěna ve vzdálenosti 5 cm před objektivem, byl znatelný horší záznam obrazu u zařízení s automatickým ostřením.

Výsledkem jsou dvě vhodné stínící mřížky (C a E), pomocí kterých je možné efektivně stínit čočku kamery při minimálním vlivu na optické vlastnosti kamery, a v případě mřížky E jsou její výrobní náklady naprosto minimální.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KÖNIG, Holger a Peter ERLACHER. *Neviditelná hrozba?: elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-86167-15-1.
- [2] JANDORA, Radek. ELEKTRICKÝ PROUD V LÁTKÁCH. Neoficiální internetová fakulta všeho možného: Maturitní otázky do fyziky [online]. Bučovice, 2000 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/fl4.htm>
- [3] WBJEE: Important Questions and Preparation Tips – Electrostatics. In: JAGRAN Josh [online]. 2017 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.jagranjosh.com/articles/wbjee-important-questions-and-preparation-tips-electrostatics-1508838858-1>
- [4] Vzájomné silové pôsobenie vodičov s prúdom a magnetov. In: Fyzika.sk [online]. 2013 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://fyzika-cz.webnode.sk/stacionarne-magneticke-pole/vzajomne-silove-posobenie-vodicov-s-prudom-a-magnetov/>
- [5] Elektromagnetické záření. Gymnázium, Český Krumlov [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [https://www.gymck.cz/storage/1364980243\\_sb\\_2s\\_4o\\_34\\_35\\_elmag\\_vlneni\\_01.pdf](https://www.gymck.cz/storage/1364980243_sb_2s_4o_34_35_elmag_vlneni_01.pdf)
- [6] Elektromagnetické záření. In: Wikisofia [online]. 2013 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [https://wikisofia.cz/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://wikisofia.cz/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
- [7] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 8021418737.
- [8] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, c2006, xxi, 983 s. Wiley series in microwave and optical engineering. ISBN 0471755001. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0625/2005049400-d.html>

- [9] URBANCOKOVA, Hana, Stanislav KOVAR, Ondrej HALASKA, and Jan VALOUCH: Immunity of electronic devices against radio-frequency electromagnetic fields. In: MATEC Web of Conferences. 2017, 125. DOI: 10.1051/mateconf/201712502039. ISSN 2261-236x.
- [10] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Establishing a Dialogue on Risks From Electromagnetic Fields [online]. 2002, 67 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [http://www.who.int/peh-emf/publications/en/EMF\\_Risk\\_ALL.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/en/EMF_Risk_ALL.pdf)
- [11] KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů. Praha: BEN - technická literatura, 2013, 372 s. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [12] OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken: Wiley, c2009, xxv, 843 s. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [13] SENGUPTA, Dipak L. a Valdis V. LIEPA. Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005, xxii, 486 s. Wiley series in microwave and optical engineering. ISBN 0471165492.
- [14] KAISER, Kenneth L. Electromagnetic shielding. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 0-8493-6372-1. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0653/2005050484-d.html>
- [15] EM Plane Waves. In: MINI PHYSICS [online]. 2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.miniphysics.com/uy1-electromagnetic-spectrum-sinusoidal-em-plane-waves.html>
- [16] SHE, Brian. Analysis on Shielding Effectiveness of Board Level Shielding with Apertures. INTERFERENCE TECHNOLOGY [online]. 2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://interferencetechnology.com/analysis-shielding-effectiveness-board-level-shielding-apertures/#>
- [17] LOVEČEK, Tomáš a Peter NAGY. Bezpečnostné systémy: kamerové bezpečnostné systémy. Žilina: Žilinská univerzita, 2008, 283 s. Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-8070-893-1.
- [18] ADÁMEK, Milan. Kamerové systémy - prezentace k přednáškám [online]. 2017 [cit. 2018-05-18].

- [19] KRÁLOVÁ, Magda. LIDSKÉ OKO. Techmania Science Center: EDUPORTÁL [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/lidske-oko>
- [20] KLEINFELD, Mark. RGB vs CMYK. In: PostcardsRus [online]. 2012 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.postcardsrus.com/blog/post.cfm?id=6&rgb-vs-cmyk>
- [21] MOULÍK, Karel. Co je to SD, qHD a HD?. Česká televize [online]. 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/obraz-s-vysokym-rozlisenim/co-je-to-hdtv/>
- [22] BŘEZINA, J. Princip CCD kamery. WIKISKRIPTA [online]. 2014 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Princip\\_CCD\\_kamery](https://www.wikiskripta.eu/w/Princip_CCD_kamery)
- [23] ŽBÁNKOVÁ, Pavla. Projekt ke zkoušce ze Základů obrazového inženýrství - CCD senzory [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/presentace\\_2002/07\\_ccd\\_senzory.pdf](http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/presentace_2002/07_ccd_senzory.pdf)
- [24] JAŠEK, Marcel. PROČ JE DŮLEŽITÁ VELIKOST SNÍMAČE FOTOAPARÁTU. FOTOLAB [online]. 2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.fotolab.cz/blog/velikost-snimace/>
- [25] NOVÁČEK, Petr. MODERNÍ PROSTŘEDKY PRO DIGITÁLNÍ SNÍMÁNÍ SCÉNY [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=99967](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=99967). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] X3 vs Bayer. In: Pic By Derek [online]. 2015 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://picbyderek.blogspot.cz/2015/04/x3-sigma-dp2m.html>
- [27] HROBAŘ, Michal. IP kamerové systémy a využití analýzy obrazu [online]. Zlín, 2012 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://portal.utb.cz/stag?urlid=prohlizeni-prace-detail&praceIdno=26165>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [28] CST STUDIO SUITE® 2016 [online]. 2016 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.cst.com/Content/Articles/article909/CST-STUDIO-SUITE-2016.pdf>

- [29] KOVÁŘ, Stanislav a Jan VALOUCH. Electromagnetic susceptibility of IP camera [online]. 2016 [cit. 2018-05-18]. DOI: 10.15199/48.2016.05.40. Dostupné z: <http://www.red.pe.org.pl/articles/2016/5/40.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

€	Euro
A	Útlum absorpcí/ Ampér
a	Délka strany
BG	Background
c	Rychlost světla
CCD	Charge – coupled device
CMOS	Complementary – Metal – Oxide - Semiconductor
dB	Decibel
E	Elektrické pole
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
F	Síla
f	Frekvence
H	Magnetické pole
HDTV	High – definitiv television
Hz	Hertz
k	Úrovně jasu
Kč	Česká koruna
kHz	Kilohertz
m	Metr
MHz	Megahertz
MR	Mnohonásobné odrazy
N	Počet otvorů

---

n	Počet bitů
NATO	North Atlantic Treaty Organization
R	Útlum odrazem
r	Vzdálenost / Průměr
RAM	Random – access memory
s	Sekunda
S	Obsah
SE	Stínící účinnost
T	Perioda
t	Tloušťka
USA	United States of America
V	Volt
W	Watt
WHO	World Health Organization
Z	Impedance
$\delta$	Hloubka vniku
$\lambda$	Vlnová délka
$\mu$	Permeabilita
$\pi$	Pí
$\sigma$	Elektrická vodivost
$\Omega$	Ohm

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Elektrické pole v okolí kladného a záporného náboje [3]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Magnetické pole vodiče s procházejícím proudem [4]</i> . ....	12
<i>Obr. 3. Elektromagnetické spektrum [6]</i> . ....	13
<i>Obr. 4. Základní řetězec EMC [7]</i> . ....	16
<i>Obr. 5. Dělení interferenčních zdrojů [11]</i> .....	17
<i>Obr. 6. Průchod elektromagnetické vlny kovovou přepážkou [7]</i> . ....	23
<i>Obr. 7. Elektromagnetická vlna, vzdálené elektromagnetické pole [15]</i> .....	23
<i>Obr. 8. Vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění [12]</i> . ....	26
<i>Obr. 9. Relativní elektrická vodivost a relativní permitivita vybraných materiálů. Upraveno [8]</i> .....	27
<i>Obr. 10. Vliv otvorů ve stínění na průchod indukovaného proudu. Upraveno [12]</i> . ....	30
<i>Obr. 11. RGB a CMYK [20]</i> . ....	34
<i>Obr. 12. Funkce liniového CCD snímače [22]</i> . ....	37
<i>Obr. 13. Velikost CCD snímače [24]</i> . ....	40
<i>Obr. 14. Vlevo Foveon X3, vpravo Bayerův filtr [26]</i> . ....	41
<i>Obr. 15. Volba rozměrů a materiálu</i> . ....	46
<i>Obr. 16. Rozmístění jednotlivých sond</i> . ....	47
<i>Obr. 17. Ukázka Mesh</i> . ....	48
<i>Obr. 18. Vizualizace elektrického pole při průchodu stínící mřížkou</i> . ....	48
<i>Obr. 19. Elektrické pole – elektricky nevodivý polykarbonát</i> . ....	49
<i>Obr. 20. Elektrické pole – elektricky vodivé kovy</i> . ....	50
<i>Obr. 21. Jeden kruhový otvor o průměru 60 mm</i> . ....	51
<i>Obr. 22. Mřížka se 49 kruhovými otvory o průměru 8,57mm</i> . ....	52
<i>Obr. 23. Mřížka s 225 kruhovými otvory o průměru 4mm</i> . ....	53
<i>Obr. 24. Stínící účinnost mřížek s různým počtem otvorů</i> . ....	54
<i>Obr. 25. Účinnost stínění mřížek s různou tloušťkou</i> . ....	54
<i>Obr. 26. Rozměry stínících mřížek</i> . ....	55
<i>Obr. 27. Mřížka s otvory ve tvaru čtverce</i> . ....	56
<i>Obr. 28. Mřížka s otvory ve tvaru kruhu</i> . ....	58
<i>Obr. 29. Mřížka s otvory ve tvaru rovnostranného trojúhelníka</i> . ....	59
<i>Obr. 30. Mřížka s otvory ve tvaru šestiúhelníku</i> . ....	60
<i>Obr. 31. Účinnost stínění mřížek s rozdílným tvarem otvoru</i> . ....	61



<i>Obr. 32. Návrh mřížky A.</i> .....	62
<i>Obr. 33. Návrh mřížky B.</i> .....	63
<i>Obr. 34. Návrh mřížky C.</i> .....	63
<i>Obr. 35. Návrh mřížky D.</i> .....	64
<i>Obr. 36. Návrh mřížky E.</i> .....	64
<i>Obr. 37. Stínící účinnost mřížek A – E.</i> .....	65
<i>Obr. 38. Mřížky A, B a C, vpravo dole detail mřížky C.</i> .....	66
<i>Obr. 39. Mřížky D a E, vpravo detail mřížky.</i> .....	67
<i>Obr. 40. Měřicí koaxiální vedení.</i> .....	69
<i>Obr. 41. Celková účinnost útlumu signálu jednotlivých stínících mřížek.</i> .....	71
<i>Obr. 42. Televizní zkušební obrazec.</i> .....	73
<i>Obr. 43. Mřížka A. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	74
<i>Obr. 44. Mřížka B. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	74
<i>Obr. 45. Mřížka C. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	75
<i>Obr. 46. Mřížka D. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	75
<i>Obr. 47. Mřížka E. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	75
<i>Obr. 48. Mřížka A. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	76
<i>Obr. 49. Mřížka B. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	77
<i>Obr. 50. Mřížka C. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	77
<i>Obr. 51. Mřížka D. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	78
<i>Obr. 52. Mřížka E. Vlevo 5 cm před objektivem, vpravo těsně před objektivem.</i> .....	78

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Hloubka vniku u vybraných materiálů. Upraveno [12].</i>	25
<i>Tab. 2. Průměrné naměřené hodnoty signálu bez mřížky a po průchodu jednotlivými mřížkami.</i>	70
<i>Tab. 3. Stínící účinnost mřížek.</i>	71