



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Studium vlastností vodivých textilií z hlediska EMC

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Vojtěch Vitek**
Vedoucí práce: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.



The study of features of conductive fabric in term of EMC

Master thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering
Author: **Bc. Vojtěch Vítek**
Supervisor: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Vítek**
Osobní číslo: **T16000139**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Studium vlastností vodivých textilií z hlediska EMC**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

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

1. Prostudujte technické parametry jednotlivých typů vodivých textilií.
2. Prostudujte problematiku elektromagnetické kompatibility (EMC).
3. Navrhněte stínění s takovým typem vodivé textilie, která nejvíce zamezí průniku rušivých napětí, jak z elektronického zařízení, tak do elektrického zařízení.
4. Realizujte funkční vzorek a otestujte jej ve zkušebně.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Kaňuch, J., Kováč, D., Kováčová, I.: EMC z hlediska teorie a aplikace, BEN Praha, ISBN 80-7300-202-7
- [2] Ripka, P., Ďaďo, S., Kreidl, M., Novák, J.: Senzory (opr. dotisk). Skripta ČVUT FEL, Praha 2007, ISBN 80-0- -03123-3.
- [3] Šafářová, V.: Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu, dizertační práce, TUL, 2014

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant diplomové práce:

Ing. Veronika Tunáková, Ph.D.

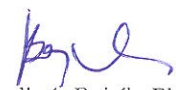
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce: 30. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7. prosince 2018


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 7.12.2018

Podpis:



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Lubomírovi Slavíkovi, Ph.D a konzultantce práce paní Ing. Veronice Tunákové, Ph.D., za odborné rady, věcné připomínky a konzultace při zpracování této diplomové práce. Děkuji také krejčovství ELA za pomoc s ušitím stínících návleků. Dále mé velké díky patří TUV SÚD Czech, s.r.o., která mi poskytla možnost měření v jejich laboratoři. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mým rodičům a blízkému okolí za velkou trpělivost a podporu v době celého magisterského studia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá stíněním elektromagnetického pole za pomoci elektricky vodivého textilu. V rešeršní části je prostudována problematika elektromagnetické kompatibility (EMC) a vlastnosti ucelených stínících krytů z vodivé textilie pro zamezení průniku rušivé energie. V experimentální části práce je zhotoven kryt z elektricky vodivé textilie a následně je zkoumán v EMC laboratoři z hlediska rušivých signálů směrem ke stíněnému zařízení, ale i ze stíněného zařízení do okolí.

Klíčová slova

EMC, elektromagnetická vlna, stínící kryt, efektivita stínění, elektricky vodivá textilie, kovová vlákna

Annotation

This thesis deals with the field of electromagnetic shading with an assistance of electric conductive fabric. Attributes of comprehensive shading covers made out of conductive fabric to stop passage of disruptive energy and problematics of the electromagnetic compatibility (EMC) are studied in the theoretical part.

A cover made out of conductive fabric is made in the experimental part and then studied in the EMC laboratory by the aspects of disruptive signals towards the shaded device but even as well to the surroundings of the shaded device.

Key words

EMC, electromagnetic wave, shielding cover, shielding efficiency, electrically conductive fabric, metallic fibers

Obsah

Úvod	10
REŠERŠNÍ ČÁST	
1 Současný stav problematiky EMC	11
1.1 Rozdělení oboru EMC	11
1.1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů	11
1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů	12
1.2 Měření v elektromagneticky stíněných komorách	15
1.3 Současný stav výzkumu v oblasti využití vodivých textilií v rámci EMC ..	15
2 Stínění elektromagnetického pole	17
2.1 Základní veličiny pro elektromagnetické pole	17
2.2 Elektrické pole	20
2.3 Magnetické pole	20
2.4 Elektromagnetická vlna	21
2.5 Spektrum – popis jednotlivých frekvenčních pásem	21
2.6 Elektromagnetické stínění	24
2.6.1 Charakteristika stínění	25
2.7 Označování stínící účinnosti	30
2.8 Metody přímého měření elektromagnetického stínění	31
2.8.1 Metoda ve stíněné komoře	32
2.8.2 Metoda v odrazivé komoře	33
2.9 Vyhodnocení měřících metod	35
3 Elektricky vodivé textilie	36
3.1 Základní pojmy	36
3.1.1 Elektrický odpor (rezistence)	36
3.1.2 Elektrická rezistivita (měrný odpor)	37
3.1.3 Teplotní součinitel elektrického odporu α	38
3.1.4 Měrná elektrická vodivost σ	38
3.2 Textilie se zvýšenou elektrickou vodivostí	38
3.3 Vyráběné elektricky vodivé textilie	39
3.3.1 Použití vodivých vláken	39
3.3.2 Dalšími metodami výroby	40
3.4 Požadavky pro textilie se stínícím účinkem elektromagnetického pole	40

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4	Návrh a příprava vzorků pro měření	42
4.1	Konstrukce pro návlek plošné textilie.....	42
4.2	Testované materiály	44
4.3	Ušití stínících krytů – návleků	45
5	Přípravy k testování v laboratoři EMC.....	47
5.1	Označení zkušebních stínících vzorků.....	47
5.2	Použité přístroje v laboratoři EMC	49
5.3	Testy elektromagnetické interference EMI.....	50
5.4	Testy elektromagnetické susceptibility EMS.....	53
6	Zkoumání a testování stíněných krytů v laboratoři EMC	55
6.1	Průzkum elektromagnetického pole uvnitř návleku	55
6.2	Vliv typu nitě na celkovou stínící účinnost návleku	59
6.3	Vliv typu švu na celkovou stínící účinnost návleku	62
6.4	Porovnání stínících materiálů	65
6.5	Porovnání z hlediska vyzařování do okolí	68
6.6	Celkové vyhodnocení.....	71
6.7	Možný další výzkum.....	72
	Závěr	73
	Použitá literatura.....	74
	Seznam obrázků.....	75
	Seznam tabulek.....	77
	Seznam použitých symbolů a zkratk	78
	Seznam příloh.....	80

Úvod

Cílem práce je prostudovat možnosti stínících krytů EMC za pomoci textilního vodivého materiálu. Jednotlivé metodiky měření budou vzájemně porovnány z hlediska vhodnosti použití a následně bude navržen stínící kryt, který bude testován.

Pro měření a testování bude využita akreditovaná laboratoř elektromagnetické kompatibility ve TÜV SÜD Czech s.r.o. v pobočce u Mladé Boleslavi. Tato společnost se sídlem v Praze má k dispozici dvě odstíněné komory pro měření elektrických komponentů pro automobilový průmysl v souladu s normami CISPR25 a ISO 11452.

Tato diplomová práce je rozdělena na rešeršní a experimentální část. V rešeršní části jsou zpracovány teoretické poznatky o daném tématu, včetně vlastností elektricky vodivých textilií a jejich využití v EMC. V experimentální části je popsáno samotné testování v souladu s normou CISPR25 a zkoumání útlumu stínících krytů z různých typů elektricky vodivých textilií.

1 Současný stav problematiky EMC

V dnešní době se všude kolem nás vyskytují elektrická zařízení vyzařující do svého okolí elektromagnetické signály, které potřebují ke své funkci nebo pro komunikaci s ostatními přístroji. Toto neionizační elektromagnetické záření se v přírodě běžně nevyskytuje. Elektromagnetické signály nejsou pouhým okem viditelné, ani je nelze vnímat. Vzhledem ke stále vyvíjející se elektronice jich je tolik, že se navzájem mohou rušit nebo ovlivňovat.

Jednoduchým příkladem je vyzvánění mobilního telefonu u poslechu staršího rádiového přijímače. Před samotným zvoněním lze slyšet z reproduktoru rádia chrčení, vzniklé špatným odrušením rádiového přijímače, které je ovlivňováno frekvencemi používanými pro mobilní telefonní sítě. Podobně může dojít k ovlivnění jiných elektronických zařízení, kde následně může hrozit velké nebezpečí poškození zařízení, nebo k ohrožení lidských životů. Touto problematikou se zabývá elektromagnetická kompatibilita zkráceně EMC.

Definice elektromagnetické kompatibility:

„Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) EMC je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení.“ [1]

1.1 Rozdělení oboru EMC

Problematiku EMC lze rozdělit na dvě hlavní oblasti: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení.

1.1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá vlivy elektromagnetického pozadí na živé organismy. Určuje přípustné úrovně rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. Dosavadní biologický a biofyzikální výzkum i po delší době pozorování vlivů rušení na živé organismy nemá v této

souvislosti jednoznačné výsledky. Biologické účinky závisí nejen na charakteru elektromagnetického pole, době jeho působení, ale i na vlastnostech organismu. Protože nejsou známy vstupy elektromagnetického pole do organismu, posuzují se tyto účinky pouze podle nespecifických reakcí organismu.

Problematikou EMC biologických systémů se zabývají výzkumná lékařská pracoviště s cílem posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům, mechanismy jejich působení apod. U vysokofrekvenčních a mikrovlňných polí jsou nejvíce relativně objasněny tzv. tepelné účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí. Účinky elektromagnetického pole na centrální nervový systém, srdečně cévní, krevtovorný a imunitní systémy se přisuzují tzv. netepelným účinkům, tj. déle trvajícím expozicím polí s relativně nízkou výkonovou úrovní. Ani tyto, ani genetické či karcinogenní účinky však zatím nebyly jednoznačně prokázány. Všechny tyto skutečnosti v obtížnosti posuzování EMC biologických systémů jsou příčinou toho, že v příslušných hygienických normách ve světě existují velké rozdíly, např. v přípustných dávkách elektromagnetického záření. [1]

V České republice je tato problematika definována nařízením vlády č. 291/2015 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením se dnem účinnosti od 18. 11. 2015. V tomto nařízení jsou definovány limity působení záření na lidský organismus. Tato práce se biologickými systémy nezabírá, proto tato kapitola není déle rozvinuta.

1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Tato oblast, tedy EMC technických systémů a zařízení se zabývá vzájemným působením a kompatibilitou elektrotechnických a elektromagnetických přístrojů. EMC obor, který byl nejprve založen pro ochranu proti rušení radiového příjmu, se v dnešní době právě kvůli obecně vysokému nárůstu elektroniky člení do několika dalších podoborů a skupin. Při vývoji elektronických a elektromagnetických zařízení je nutné už při samotném vývoji dbát na jeho limity vyzařování radiových vln do okolí, ve kterém se bude vyskytovat, a také je odolnost vůči ostatním zařízením v okolí, tak aby nebylo okolím zařízení ovlivněno.

Ze základního řetězce EMC lze vycházet pro technický i biologický systém. Tento systém je znázorněn níže na obr. 1 a ukazuje na jeho tři základní složky. První oblastí je zdroj elektromagnetického rušení, který zahrnuje vznik rušení, jeho charakter a intenzitu. Do této oblasti patří přírodní (přirozené) zdroje, jako jsou záření ze Slunce a kosmu, elektrické procesy v atmosféře a jiné. Další rušení vzniká z technických zařízení vyrobených člověkem, jako jsou zapalovací systémy, elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, různé typy spotřebičů apod.

Elektromagnetický přenos prostředím a elektromagnetická vazba je druhou částí řetězce, což jsou způsoby a cesty, kterými se energie za zdroje dostává do objektů – přijímačů rušení.



Obrázek 1 - Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

Třetí, konečnou oblastí je problematika rušeného objektu, respektive přijímačů, rušení zabývající se klasifikací typu a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů, z čehož plyne jejich elektromagnetická odolnost.

Reálně je však řetězec na obrázek 1. mnohem složitější. Každý systém nebo zařízení, či jeho určitá část, může být současně jak zdrojem rušení (vysílačem), tak i přijímačem elektromagnetického rušení. V řetězci se rovněž nikdy nejedná o působení pouze jednoho zdroje rušení a jednoho přijímače, ale řeší se vždy vzájemné vazby více systémů, které se všestranně ovlivňují. V praxi se obvykle postupuje tak, že se jeden ze systémů považuje za zdroj rušení a všechny ostatní systémy za systémy ovlivňované, tedy přijímače rušení. Pak tento vybraný systém považujeme naopak za ovlivňovaný a hodnotíme důsledky jeho možného rušivého působení ve zkoumaném systému, které se může projevat různými způsoby. To může vyvolat změny kvality systémových parametrů nebo částečné, či úplné selhání systémových funkcí - až po havarijní a nebezpečné stavy. [1]



Obrázek 2 - Základní členění problematiky EMC

Celá problematika EMC se dělí podle obrázek 2 na dvě základní podskupiny. První skupinou je **elektromagnetická interference (EMI)**, neboli elektromagnetické rušení, což je proces, při kterém se zkoumají příčiny a zdroje rušivých signálů do okolního prostředí. Generované signály, přenášené prostřednictvím elektromagnetické vazby musí dodržovat limity určené normou daného zařízení, nebo předpisem, který se vztahuje na testovaný typ výrobku. Limitní meze jsou určeny podle typů frekvenčního pásma a jejich mez je vždy nastavena tak, aby v daném pásmu nevzniklo nežádoucí rušení na zařízeních, které v testovaném frekvenčním pásmu pracují. V případě, že jsou maximální limitní meze překročeny nežádoucím rušením ze zdroje, je nutné příčiny rušení najít a odstranit. [1]

Druhou podskupinou je **elektromagnetická susceptibilita (EMS)** neboli imunita, a také elektromagnetická odolnost vůči rušení, která umožňuje zařízení pracovat v prostředí, ve kterém se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS tak vyjadřuje schopnost zařízení, nebo systému pracovat bez poruch a nežádoucích vlivů v prostředí, ve kterém se vyskytuje elektromagnetické rušení. Tato část je založena na odrušení okolních rušivých signálů do objektu (přijímače rušení), za pomoci technického opatření. EMS není zcela založena na měření a odečítání hodnot, ale především na dohlížení veškerých funkcí zařízení během jeho ozařování, tedy na důsledky rušení. Úrovně ozařování jsou určeny příslušnými normami a předpisy, kterým testované zařízení podléhá. [1]

Obě tyto skupiny spolu úzce souvisí a technickým opatřením pro zlepšení jedné respektive druhé skupiny tak může ovlivnit skupinu druhou respektive první. Samotné zařízení se také může stát zdrojem a současně přijímačem rušivých signálů. Rozdíl mezi maximální přípustnou úrovní EMI a mezi vyzařování pro EMS vyjadřuje rezervu návrhu daného zařízení z hlediska EMI.

Již v samotném vývoji zařízení, nebo jeho návrhu je třeba dbát na možné důsledky EMC. Pro návrh zařízení se tak využívají počítačové simulace a modelové případy pro EMS a EMI. Tato opatření jsou důležitá hlavně z ekonomických důvodů, jelikož dodatečné technické opatření sebou mohou nést spoustu dalších úprav. Ve všech průmyslových zemích světa existují normy pro EMC, kterým musí vyhovovat každé zařízení. Definice pro každé zařízení jsou u nás v České republice vypsány v Mezinárodním elektrotechnickém slovníku ČSN IEC 50 v podkapitole elektromagnetická kompatibilita. Zařízení tak před uvedením na trh musí být podrobena zkouškám z obou odvětví EMI a EMS. Testování probíhá v uzavřené komoře určené pro testování elektromagnetické kompatibility.

1.2 Měření v elektromagneticky stíněných komorách

Pro měření a testování elektromagnetické kompatibility anténními metodami je zapotřebí stíněný prostor. Bez vhodného stíněného prostoru je měření zkresleno blízkými signály z rozhlasových a televizních vysílačů, mobilních vysílačů, nebo jiné průmyslové elektroniky. S přibývajícím radiotechnikou je signálů stále více, proto se galvanicky stíněné komory staly nedílnou součástí testování EMC. Elektromagneticky stíněný prostor, včetně dveří a větracích otvorů plní funkci nejen pro odstínění okolních signálů, ale při zkouškách EMS chrání ostatní zařízení a organismy v blízkém okolí. Tyto komory mají většinou plechový základ a z vnitřní strany jsou obloženy absorpčními materiály, které snižují nežádoucí odrazy elektromagnetických vln od vodivé konstrukce komory. Absorpčními materiály jsou feritové destičky a tzv. absorbéry, které mají tvary jehlanů nebo kuželů vyrobených z polyuretanu, nebo polystyrenu s grafitovou impregnací.

1.3 Současný stav výzkumu v oblasti využití vodivých textilií v rámci EMC

Velké množství výzkumných týmů se věnuje vývoji textilních materiálů se zvýšenou elektrickou vodivostí. V oboru EMC se vodivé textilie používají většinou jako stínící přepážky. S kombinací stínícího textilu, a vodivého lepidla jsou používány jako stínící náplast, nebo lepicí pásy pro odstínění elektroniky a mikroelektroniky. Celé obaly jsou pak běžně používány jako např. bezpečnostní stínící pouzdra na dálkové ovládání od aut, nebo ochranné kryty bezkontaktních platebních karet. Velký zájem o vytvoření elektricky vodivých textilií je dán výhodami oproti kovovým deskám, ať už jde o flexibilitu, hmotnost, prodyšnost, nebo také cenu.

Pro materiály určené ke stínění elektromagnetického pole je třeba docílit nízké hodnoty měrného odporu, neboli povrchové rezistivity a to menší než $10 \Omega \cdot m$. U většiny syntetických typů textilií se rezistivita pohybuje v řádech $10^{12} \Omega \cdot m$ a vyšších. Vícesložkové materiály jsou vůči měrné vodivosti závislé na obsahu vodivé složky. Aby u materiálu došlo ke zvýšené vodivosti, musí poměr vodivé složky překročit tzv. perkolační práh, u kterého se vícesložkový materiál začne chovat podobně jako spojitá vodivá struktura [13]. Docílením vyšší elektrické vodivosti a vyšší magnetické permeability u textilií dochází za pomoci povrchových úprav pokovením, lakováním, nebo povrstvením vodivými částicemi. Experiment s měřením stínící účinnosti u textilií s pokovením za pomoci potahové vrstvy a vakuového napařování je popsán v článku Elektromagnetického stínění s metalizovanými polyesterovými vlákny [2], kde bylo plošné stínění textilie vyhodnoceno pomocí koaxiální metody ASTM D-4935. Výsledky zde prokázaly závislost na typu použitého povlaku a na tloušťce povlakového

vodivého filmu. Relativně nízkých změn výsledků bylo dosaženo otáčením textilie, tedy orientací elektromagnetického pole, což ukazuje na vhodné použití tohoto typu textilie pro vytvoření uceleného krytu.

Další možností, jak vyrobit elektricky vodivou textilií je použitím elektricky vodivého vlákna, ty mohou být například kovová, uhlíková, nebo vyrobena za pomoci vodivých polymerů. Těmito typy se zabývají práce [3, 4, 5], kde byly výsledky opět vyhodnocovány metodou ASTM D-4935. Podobně tomu bylo i v disertační práci Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu [6], kde bylo použito i jiných metod avšak stále pro hodnocení plošného stínění. Pro měření stínění celých krytů se používá standard IEEE Std 299, kde se k testování využívá odrazové komory, pro získání rovnoměrného rozložení elektromagnetického pole, které tak působí na všechny strany zkoumaného krytu. Dalším testováním celých boxů, avšak v bezodrazové komoře se zabývá norma ČSN EN 61000-5-7, ve které je popsáno testování za pomoci různých typů antén umístěných ve zkoumaných krytech. To se však týká krytů o velikosti 2,5 m x 2,5 m x 2,5m a větších. Jako alternativní metoda je v příloze C této zmiňované normy pouze informativní zmínka o možném testování malých krytů pomocí páskového vedení, nebo buňky TEM. V americkém standardu i normě ČSN jsou popsány stínící boxy jako pevné kryty z tuhého materiálu, který má stálý tvar, na rozdíl od flexibilního textilního návleku. Odborné články, které by se věnovaly problematice vývoje a testování krytů z vodivé textilie nebyly nalezeny.

2 Stínění elektromagnetického pole

Tato kapitola se věnuje stínění a stínících účinnostem elektromagnetického pole založených na fyzikálních vlastnostech a zákonech. Hlavním zdrojem této kapitoly byly knihy [12, 14].

2.1 Základní veličiny pro elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole působí na bodový náboj Q pohybující se relativní rychlostí v , vzhledem k jisté pozorovací soustavě silou, která je nazývána Lorentzova.

$$\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

Vektory intenzity elektrického pole \mathbf{E} a magnetické indukce \mathbf{B} jsou základní vektory elektromagnetického pole. Kromě vektorů \mathbf{E} a \mathbf{B} se běžně uplatňují také vektory elektrické indukce \mathbf{D} a intenzity magnetického pole \mathbf{H} . Maxwellovy rovnice udávají základními zákony makroskopické elektrodynamiky, které v roce 1865 zformuloval James Clerk Maxwell. Elektromagnetické pole působící v oblasti popisují v integrálním, zatímco v diferenciálním tvaru popisují bod v oblasti elektromagnetického pole. Jednotlivé rovnice jsou níže rozepsány.

Ampérův zákon

Ampérův zákon o celkové velikosti proudu říká, že součet celkového vodivého proudu I a proudu posuvného $d\Psi/dt$, které prochází plochou ohraničenou libovolnou uzavřenou křivkou l v kladném směru, je roven cirkulaci vektoru intenzity magnetického pole \mathbf{H} po této křivce. Ampérův zákon říká, že pohybem elektrického pole vzniká pole magnetické. Tento zákon může být v integrální formě vyjádřen jako: [12]

$$\oint \mathbf{H} \, dl = I + \frac{d\psi}{dt}, \quad \psi \equiv \int_S \mathbf{D} \, dS. \quad (2)$$

Kde \mathbf{H} je vektor intenzity magnetického pole [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$] a \mathbf{D} je vektor elektrické indukce. Diferenciální tvar tohoto zákona je možno zapsat ve tvaru:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (3)$$

Faradayův indukční zákon

Druhá Maxwellova rovnice je Faradayův indukční zákon, někde také zákon elektromagnetické indukce, který je definovaný následovně. Cirkulace vektoru intenzity elektrického pole E po libovolně orientované uzavřené křivce l , je rovna záporně vzaté časové změně magnetického indukčního toku v ploše, kterou libovolná křivka obepíná. Integrální tvar druhé rovnice je definovaná vztahem:

$$\oint \mathbf{E} dl = + \frac{d\phi}{dt}, \quad \phi \equiv \int_S \mathbf{B} dS. \quad (4)$$

kde E je vektor intenzity elektrického pole [$V \cdot m^{-1}$], B je vektor magnetické indukce [T] a ϕ je indukční tok. Zákon říká, že pohybem magnetického pole je indukováno pole elektrické. V diferenciálním tvaru je možné zákon zapsat vztahem:

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}. \quad (5)$$

Gaussův zákon elektrostatiky

Třetí Maxwellova rovnice představuje Gaussovu větu elektrostatiky: Elektrický tok vektoru elektrické indukce D směrem ven z libovolné uzavřené plochy S je roven náboji Q prostoru ohraničeném křivkou S . Rovnice je dána vztahem:

$$\oint_S \mathbf{D} dS = Q, \quad Q = \int_V \rho dV. \quad (6)$$

Kde ρ je objemová hustota volného náboje a V je objem rozloženého náboje. Integrální tvar lze převést na tvar diferenciální, který vypadá následovně:

$$\nabla \times D = \rho. \quad (7)$$

Zákon spojitosti indukčního toku

Čtvrtou Maxwellovou rovnicí je zákon spojitosti siločár magnetické indukce: Magnetický indukční tok libovolně zvolenou uzavřenou plochou S je roven nule.

$$\oint_S \mathbf{B} dS = 0 \quad (8)$$

kde \mathbf{B} je vektor magnetické indukce, S je libovolně zvolená plocha a Δ je diferenciální operátor divergence.

Diferenciální tvar této rovnice je:

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0. \quad (9)$$

Vektory \mathbf{E} , \mathbf{H} , \mathbf{B} , \mathbf{D} a \mathbf{J} jsou závislé na jejich prostředí (materiálovými konstantami). V homogenním izotropním lineárním prostředí je:

Vektor elektrické indukce \mathbf{D} přímo úměrný vektoru elektrické intenzity \mathbf{E} , kde konstantou úměrnosti je permitivita prostředí:

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}. \quad (10)$$

Vektor magnetické indukce \mathbf{B} je přímo úměrný vektoru magnetické intenzity \mathbf{H} , kde konstantou úměrnosti je permeabilita prostředí:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}. \quad (11)$$

Vektor plošné hustoty vodivého proudu \mathbf{J} je přímo úměrný vektoru elektrické intenzity, kde konstantou úměrnosti je měrná vodivost:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}. \quad (12)$$

Permitivita prostředí ε lze rozepsat jako součin permitivity vakua ε_0 , která je přibližně $8.85 \cdot 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ a relativní permitivity prostředí ε_r ($\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$). Z fyzikálního hlediska permitivita prostředí popisuje schopnost prostředí polarizovat se. Čím větší je permitivita prostředí, tím více je v prostředí zeslabována elektrická intenzita vnějšího pole. [12]

Podobné rozložení na součin platí i pro permeabilitu prostředí $\mu = \mu_0 \mu_r$, která popisuje schopnost prostředí magnetizovat se. Podle velikosti magnetické permeability jsou látky děleny na feromagnetické ($\mu_r \gg 1$), paramagnetické ($\mu_r > 1$) a diamagnetické ($\mu_r < 1$). Čím větší je permeabilita prostředí, tím více je zvětšována (zesilována) magnetická indukce vnějšího pole. Permeabilita vakua μ_0 je přibližně $4\pi \cdot 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$. [12]

2.2 Elektrické pole

Elektrické pole je fyzikální pole (veličina přiřazená každému bodu pole), intenzita elektrického pole \mathbf{E} . V kterémkoli bodě existuje magnetické pole, ve kterém působí na elektricky nabitě těleso silou \mathbf{F} . [14]

Elektrická pole jsou výsledkem napětí, mezi dvěma elektrickými póly. Čím blíže jsou póly k sobě, nebo je mezi nimi vyšší napětí, tím silnější je elektrické pole vytvořené mezi nimi. Z toho vyplývá, že elektrická pole jsou přítomná, i když v obvodu není žádný proud. Každý kabel je potenciálním zdrojem. Ochrana proti tomuto typu pole spočívá v umístění každého potencionálního zdroje – spotřebič, vodiče (kabely) do uzavřeného elektricky vodivého uzemněného obvodu.

Jednotkou intenzity elektrického pole je $[\text{Vm}^{-1}]$.

Elektrické pole může být konstantní, nebo proměnné. Konstantní jsou známé jako statická elektřina, nebo také blesky u bouřky. Proměnné jsou uměle vytvořené a mají různou frekvenci, např.: běžné elektrické a vysokonapěťové rozvody 50/60 Hz. Proměnné elektrické pole se už i při nízkých intenzitách šíří do okolních zařízení a vodičů, kterými jsou zařízení spojené. Tímto způsobem vzniká elektrosmog, který je všude kolem nás. [14]

2.3 Magnetické pole

Magnetické pole je fyzikální pole, ve kterém jsou veličiny pole (veličiny přiřazené každému bodu pole) intenzita magnetického pole \mathbf{H} a hustota magnetického toku \mathbf{B} . V kterémkoli bodě existuje elektromagnetické pole, které v tomto bodě působí na pohybující se elektrické náboje, nebo magnetické síla \mathbf{F} . [14]

Vznikají v okolí magnetů, nebo v elektrických vodičích, ve kterých protéká elektrický proud. Čím větší je elektrický proud, nebo průřez vodiče a více vrstev umístěných na sobě, tím silnější magnetické pole vzniká v okolí vodiče.

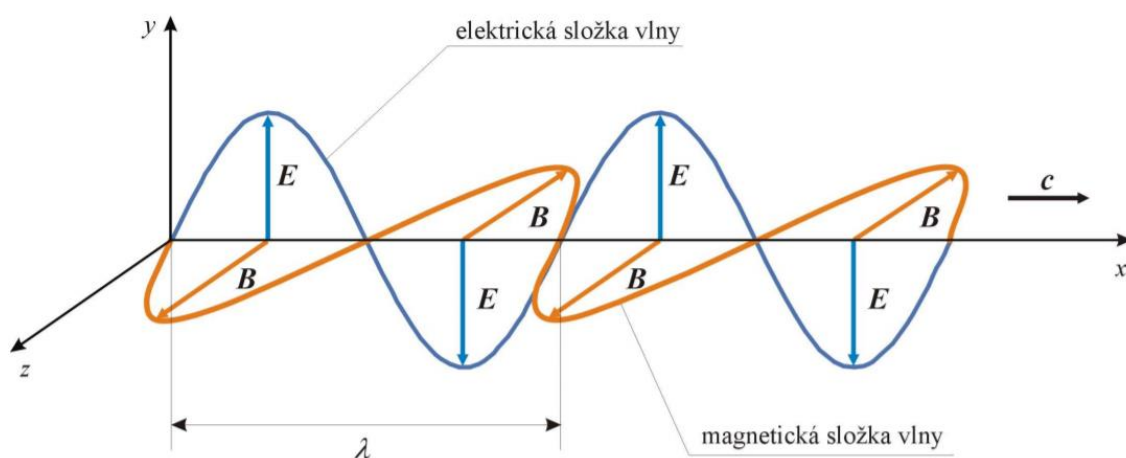
Jednotkou intenzity magnetického pole je Tesla [T].

Magnetické pole může být stejně jako elektrické pole konstantní a střídavé. Konstantní jsou nejznámější v okolí pevných magnetů (1-5 T) a magnetik (5-10 mT). Střídavé jsou uměle vytvářené a mají různou frekvenci, např.: transformátory 50/60 Hz. Střídavé magnetické pole se intenzivně šíří do okolí, a podobně jako pole elektrické může ovlivnit jiné elektrické, nebo magnetické zařízení. [14]

2.4 Elektromagnetická vlna

Elektromagnetické záření je děj, při kterém se navzájem kolmé elektrické a magnetické pole, tedy pole elektromagnetické šíří prostorem. U elektromagnetické vlny jde o přenos energie v prostoru, např. vzduchu. Na tomto typu přenosu pracují elektrická zařízení například televizní, nebo radiové přijímače. Elektromagnetickou vlnou je ale i přenos tepla, nebo energie od Slunce.

V případě šíření rovinné elektromagnetické vlny, jsou magnetické a elektrické pole na sebe kolmé a šíří se kolmo k rovině obsahující tyto dvě složky, viz obrázek 3, kde λ je vlnová délka.



Obrázek 3 - Složky rovinné vlny

Ve volném prostoru se elektromagnetická vlna šíří rychlostí světla c definovaného vzorcem:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (15)$$

Rychlost světla ve vakuu je přibližně $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Rychlost šíření elektromagnetické vlny v prostoru je definováno relativní permitivitou a permeabilitou.

2.5 Spektrum – popis jednotlivých frekvenčních pásem

Elektromagnetické záření je zahrnuto v elektromagnetickém spektru. Elektromagnetické spektrum tvoří rozsah veškerých záření: gama záření, rentgenové záření, ultrafialové záření, viditelné záření, infračervené záření, mikrovlnné záření a radiové záření. Kvantová elektromagnetická záření se nazývají fotony.

Elektromagnetické záření se dělí na ionizující a neionizující záření:

Neionizující záření

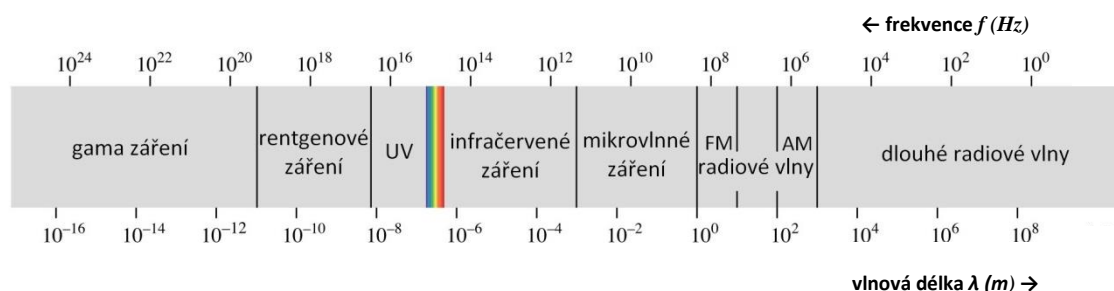
Elektromagnetický smog září jen složku tohoto typu záření. Nepochází k rozpadu molekul a neuvolňuje ionty. Je opakem ionizujícího záření. Mezi toto záření patří ultrafialové záření, infračervené záření, viditelné světlo, mikrovlny a rádiové vlny.

Ionizující záření

Tyto typy záření se označují jako radioaktivní. Je to záření, které při průchodu fotonu hmotou vytváří elektricky nabitě částice.

Hranice mezi ionizujícím a neionizujícím zářením je 100 nm, což odpovídá frekvenci $3 \cdot 10^{15}$ Hz. Fotony s nižší vlnovou délkou jsou ionizující a fotony s vyšší vlnovou délkou jsou neionizující. Tato hranice v elektromagnetickém spektru leží v oblasti ultrafialového záření.

Celé spektrum elektromagnetického záření se dělí na podoblasti, které jsou vyznačeny v obrázku 4 a níže rozepsány.



Obrázek 4 - Spektrum elektromagnetického záření

Rádiové vlny

Vlnová délka je od jednoho milimetru až po tisíce kilometrů. Vytvářejí se pomocí elektronických zařízení – vysílače s anténou. Slouží k přenosu zvukových, obrazových a dalších informací. V obrázku je také vyznačena AM, neboli amplitudová modulace a FM neboli frekvenční modulace signálů.

Mikrovlny

Vlnová délka u mikro vlnového záření je více jak 1 mm a menší než 1 m. Při pohlcení látky s obsahem vody se mění na tepelnou energii a je odrazem od kovových předmětů.

Je možné je detekovat. Používají se např. na satelitní přenosy, pro rádiové spojení mezi pozemskými stanicemi.

Infračervené záření

Délky vlny je 0,1 mm – 790 nm. Je neviditelné a člověk ho vnímá jako tepelné záření tepelných zdrojů. Je součástí slunečního záření.

Viditelné světlo

Vlnová délka je 790 nm – 390 nm. Člověk ho může vnímat přímo zrakem. Bílé světlo je možné rozložit skleněným hranolem, nebo optickou mřížkou podle vlnových délek na jednotlivé spektrální barvy. Viditelné světlo je složkou slunečního záření, které dopadá na zemský povrch.

Ultrafialové záření

Vlnová délka je 390 nm – 10 nm. Přírodním zdrojem ultrafialového záření je Slunce. Jeho většina je zadržena zemskou atmosférou.

Rentgenové záření

Fotony rentgenového záření mají velkou energii, a proto vzniká u tohoto záření výrazná pronikatelost. Rentgenové záření, které přichází z vesmíru zemská atmosféra nepropustí a chrání před jeho účinky. Vlnová délka je 10 nm – 1 pm.

Gama záření

Tento typ záření s vlnovou délkou menší než 1 pm se vyznačuje se velkou pronikavostí a ionizačními účinky. Pro člověka je nebezpečné.

2.6 Elektromagnetické stínění

Jedním z nejdůležitějších prostředků pro odrušení elektromagnetického rušení je elektromagnetické stínění, umožňující zabraňování šíření rušivé energie jak, ze strany zdroje, tak i zvýšení odolnosti za strany přijímačů. Tento konstrukční prostředek slouží k zeslabování rušivých signálů většinou v konstrukci zařízení. Stínění může být i samotný kryt zařízení, tedy stínící kryt, který využívá principu Faradayovy klece. Jako nejvhodnější materiály pro elektromagnetické stínění jsou materiály s vysokou elektrickou vodivostí a vysokou permeabilitou, proto lze největší efektivitu stínění získat pomocí kovových krytů. Kovové konstrukce jsou drahé, těžké a neflexibilní, jsou tedy často nahrazovány různými jinými formami, například pokovením plastových krytů, nebo např. využívání polymerových materiálů přímo do plastových výrobků s kovovými částmi.

V případě nedostatečné tloušťky stěny stínícího krytu dochází jen k částečnému útlumu pronikající složky vlny, přičemž ta se však za krytem šíří dále se sníženou intenzitou. Kromě dostatečné tloušťky musí být kryt navíc konstruován i bez otvorů, které by mohly představovat samotné zdroje vyzařování, zhoršující EMC daného zařízení. Eliminace těchto všech možných technologických otvorů na krytu, se realizuje pomocí kovových samolepicích pásek, vodivých tmelů, lepidel, lamel, těsnění stínících barev a dalších doplňků. Pro zlepšení EMC se mimo principu útlumu vlny ve vnitřku materiálu krytu užívá i princip odrazu vlny na nerovnostech jeho povrchu, proto jsou stínící kryty konstruovány s povrchovými reliéfy. [5]

Stínění je jedním z vysoce efektivních způsobů elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením kontinuálního či impulzního charakteru. Současně je třeba si uvědomit, že ke stínění každého zařízení by mělo být přikročeno vždy až po vyčerpání ostatních metod zajištění jeho elektromagnetické kompatibility, zejména metod optimálního návrhu a konstrukce zařízení z hlediska EMC. [5]

Obecně se dá elektromagnetické stínění rozdělit podle typu použití:

- ochranu stínění vodičů, tedy obalení (opletení) izolovaného vodiče jiným vodičem
- ochrana částí elektrických obvodů formou přepážek a krytů
- ochrana celého zařízení uzavřeným krytem, například kovovou krabičkou

V této diplomové práci je zkoumaným stínícím prvkem plošná elektricky vodivá textilie za účelem ochrany celého zařízení uzavřeným krytem.

2.6.1 Charakteristika stínění

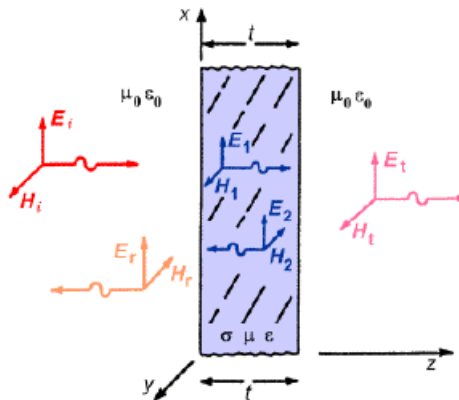
Působení elektromagnetického stínění jakožto lineárního systému lze charakterizovat tzv. koeficientem stínění K_S , který je definován poměrem intenzity elektrického pole E_t (nebo magnetického pole H_t) v určitém bodě stíněného prostoru k intenzitě E_i (H_i), pole dopadajícího na stínící přepážku (neboli pole ve stejném bodě bez stínící stěny). [1]

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad (16)$$

V praxi se většinou používá logaritmická míra tohoto koeficientu s názvem efektivnost, neboli účinnost stínění (útlum stínění), angl. Shielding Effectivness. [1]

$$SE = 20 \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| = 20 \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad (17)$$

V dalším rozboru bude uvažován homogenní vodivý materiál (nikoliv složený z vodivého plniva a izolační matrice), neboli stínící kovová deska, na níž kolmo dopadá rovinná elektromagnetická vlna šířící se ve směru z . Kolmý dopad pro kovovou plochu představuje z hlediska stínění nejhorší případ. V jiných úhlech dopadu je vlna prošlá do stínící přepážky a dále do stínícího prostoru vždy menší. Pro další rozbor lze také předpokládat, že stínící deska je dostatečně velká (neomezená), takže lze zanedbat efekty na jejích okrajích.



Obrázek 5 - Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny [1]

Určit efektivnost stínění dle obr. 5 znamená stanovit složky elektromagnetické vlny proniknuvší do stíněné oblasti ($z \geq t$) při známé velikosti dopadající vlny E_i , H_i , známých parametrech stínící přepážky (ϵ , μ , σ , t) a známých parametrech obklopujícího prostředí (ϵ_0 , μ_0). Při řešení vycházíme ze systému Maxwellových rovnic jak pro okolní prostředí, tak i pro kovové prostředí stínící přepážky. [1]

Stínění SE [dB] zahrnuje tři fyzikální mechanismy: útlum odrazem (někdy také reflexe) R [dB], absorpční útlum A [dB], a útlum mnohonásobných odrazů M (někdy také B) [dB].

$$SE [dB] = R[dB] + A[dB] + M[dB] \quad (18)$$

Útlum odrazem

Vzniká vlivem částečného odrazu energie vlny při vstupu do stínícího krytu, tedy na impedančním rozhraní mezi vzduchem (dielektrikem) s impedancí Z_0 a kovovou stěnou přepážky s impedancí Z_M . Rovněž také na výstupním rozhraní mezi kovovou stěnou Z_M a vzduchem (dielektrikem) Z_0 za stíněnou přepážkou.

Hlavní útlum odrazem vzniká na „vstupním“ rozhraní R_1 a pouze malá část energie vlny postoupí až k „výstupnímu“ rozhraní R_2 , jehož přenos je přibližně konstantní. Útlum odrazem tedy nezávisí na tloušťce t stínící kovové stěny, takže účinnost elektrického stínění lze vytvořit i z tenké, avšak vysoce vodivé ($Z_0 \gg Z_M$) přepážky. [1]

$$R_1 \approx 20 \log \left| \frac{Z_0}{2Z_M} \right| \quad a \quad R_2 \approx 20 \log \frac{1}{2} = -6dB \quad (19)$$

Útlum odrazu lze odhadnout dle materiálu stínící přepážky podle vzorce

$$R \approx 20 \log \left| \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \mu_r \varepsilon_0}} \right|, \quad (20)$$

kde σ je měrná vodivost, μ_0 je permeabilita stínícího materiálu, ε_0 je permitivita vakua a ω je úhlová frekvence.

Absorpční útlum

Tento typ útlum vzniká pohlcením části energie elektromagnetické vlny během průchodu stínící přepážkou o tloušťce t , při které se přemění na základě Joulova efektu na teplo. Útlum absorpcí je dán vzorcem:

$$A = 8,69 \frac{t}{\delta}, \quad (21)$$

kde δ značí hloubku vniku elektromagnetického pole do kovového materiálu (závislá na frekvenci).

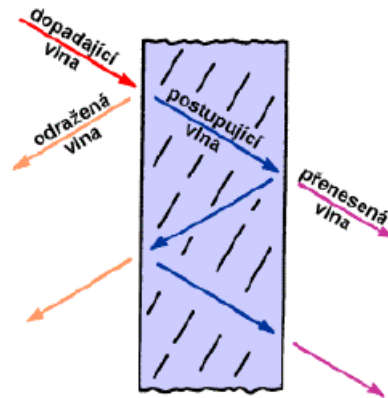
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$$

(22)

Absorpční útlum roste s druhou odmocninou kmitočtu na dB stupnici a je větší pro vodivé feromagnetické materiály ($\mu_r \gg 1$) než stejně vodivé nemagnetické materiály. [1]

Útlum vlivem mnohonásobných odrazů

Při průchodu elektromagnetické vlny vodivou stínicí přepážkou dochází na rozhraních k opakovaným odrazům, jak je schematicky naznačeno na obr. 6. Skládání mnohonásobně odražených vln může mít nezanedbatelný vliv na celkový útlum kovové přepážky.



Obrázek 6 - Mnohonásobné odrazy na vstupu a výstupu stínicí kovové přepážky [1]

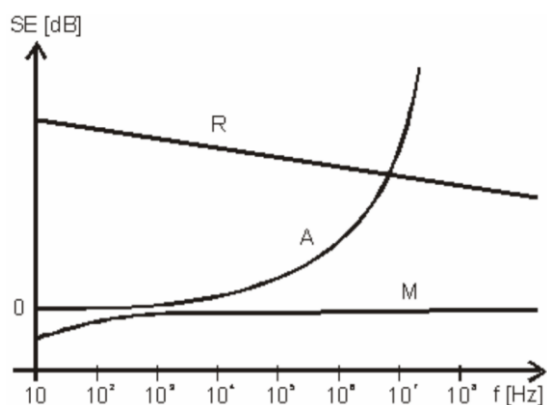
Pro velikost tohoto útlumu mnohonásobnými odrazy M lze ze vztahu určit

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right| = 20 \cdot \log \left| 1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \cdot e^{-j\frac{2t}{\delta}} \right|$$

(23)

Je-li stínění z dobře vodivého kovu ($Z_0 \gg Z_M$) a jeho tloušťka t je podstatně větší než hloubka vniku ($t \gg \delta$), je z výrazu (23) $M \approx 0$ dB a vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění lze zanedbat. Pak je přibližně $SE \approx R + A$ (18). Je-li naopak stínicí přepážka tenká ve srovnání s hloubkou vniku ($t \ll \delta$), je „útlum“ mnohonásobnými odrazy záporný (v dB) a hodnota M snižuje celkovou účinnost stínění přepážky.

Záporná hodnota M nastává přibližně pro $t/\delta \leq 1$, tedy pro absorpční útlum (21) přibližně $A \leq 8$ dB. Např. při hodnotě poměru $t/\delta = 0,1$ je ze vztahu (5.16) přibližně $M \approx -11,8$ dB. Při absorpčním útlumu $A > 8$ dB je útlum M zanedbatelný. [1]



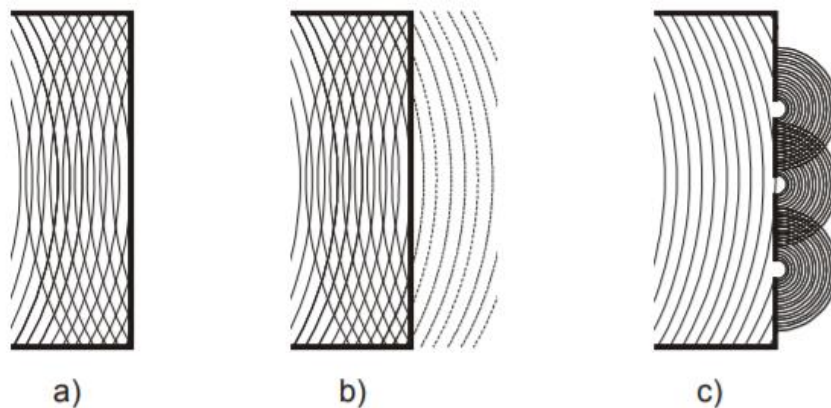
Obrázek 7 - Závislost jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce $t=1\text{ mm}$ na frekvenčním průběhu

Z výše uvedeného je zřejmé, že efektivita stínění závisí nejen na materiálu, ze kterého je stínící prvek vytvořen, ale i na jeho tloušťce, povrchu, i frekvenci zdroje elektromagnetického záření, dále pak vzdálenosti od zdroje záření směrem ke stínicímu prvku. Porovnání jednotlivých složek stínění je zobrazen na obr. 7.

Obecně je zřejmé, že nejvhodnější materiály určené pro stínění elektromagnetického pole vykazují vysokou elektrickou vodivost a vysokou magnetickou permeabilitu. Proto největší efektivitu dosahují kryty založené na použití kovů. Snahou je však kovy nahradit kompozitními materiály, zejména kvůli jejich požadované nízké hmotnosti, mechanickým vlastnostem (flexibilita) a ceně. Použití kompozitů obsahujících elektricky vodivé plnivo a nevodivou (polymerní) matici se osvědčilo, přičemž zakomponování plniva o nízké velikosti částic je vhodnější než použití plniva s částicemi většími, a to díky skin efektu. Obecně jsou upřednostňovány vodivé částice s velikostí $1\ \mu\text{m}$ a nižší. Dále je vhodné využití plniva s vysokou vodivostí (pro zajištění útlumu elektromagnetického pole odrazem a absorpcí) a vysokým poměrem délky a tloušťky (tvorba vodivých řetězců). Plnivo ve vlákně formě je preferováno před částicemi právě díky vysokému poměru délky a šířky vlákna. Z uvedeného vyplývá vhodnost použití kovových vláken dosahujících velmi nízkých průměrů (jednotky μm), přičemž nikl nebo nerezová ocel mají oproti mědi výhodu díky své odolnosti vůči korozi či oxidaci. Tenký oxidový povlak vznikající např. na povrchu měděných vláken má totiž jen velmi nízkou vodivost a působí tak ztrátu elektricky vodivých kontaktů mezi jednotkami plniva. Účinnost stínění 30 dB se považuje za adekvátní úroveň stínění pro mnoho aplikací. [1, 8]

Stínící kryt je také závislý na množství a tvaru různých nespojitostí, například mezer, trhlin a dalších technologických otvorů, které mohou a nemusí být záměrně vytvořeny.

U stínících krytů založených na textilní struktuře může stínění elektromagnetického pole výrazně ovlivňovat vliv zaplnění přízí, celistvost, poretita, překrytí přízí, otvorů mezi přízemi u dané technologie, nebo otvory vzniklé průtahem šicí jehly. Pokud je textilie sešita nití z elektricky nevodivého materiálu, pak i tyto otvory mohou mít vliv na průnik nežádoucích signálů skrz stínící přepážku. Názorné zobrazení průniků energie skrz stínící kryt je na obrázek 8, kde je názorně zobrazen kryt s a) dokonalým úplným stíněním bez otvorů. Za b) s částečným stíněním, kde dochází k částečnému průniku energie, vlivem nedostatečné tloušťky stěny stínícího krytu. Na obrázku c) je vyobrazen kryt s otvory, kde může docházet k průnikům rušivých signálů, které jsou dalšími zdroji rušivé energie formou takzvané šterbinové antény. Otvory jsou však velkou výhodou pro ventilaci a proudění vzduchu potřebného k chlazení stíněného zařízení. [8]



Obrázek 8 - Příklady realizace stínícího krytu elektrotechnického zařízení a) s úplným stíněním; b) s částečným stíněním; c) s nežádoucími otvory [8]

Vliv technologických otvorů a netěsností na stínění lze spočítat pro různé typy otvorů. Obecně kruhový otvor o poloměru a , lze spočítat podle vztahu (24). Otvory jsou vždy založeny na vysílacím kmitočtu f , nebo vlnové délce λ .

$$SE_o = R_o = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2\pi a} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi a f} \quad (24)$$

Pro otvory s průměrem d a tloušťkou stěny t se rozdílový útlum S spočítá pomocí vzorce:

$$SE_o = A_o = \frac{54,6 \cdot t}{\lambda_m} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_m}\right)^2} \approx \frac{16t}{d} \quad (25)$$

Vliv podlouhlé štěrby délky l se spočítá dle následujícího vzorce (26) kde t ve vzorci je tloušťka stěny stínícího krytu. V tomto případě se počítá, že rovinná vlna působící na přepážku je s přepážkou rovnoběžná. V tomto případě má při testování vliv samotná orientace vysílací, nebo přijímací antény, tedy její horizontální, nebo na ní kolmá vertikální polarizace. [8]

$$S = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2l} + 27,2 \cdot \frac{t}{l} \quad (26)$$

2.7 Označování stínící účinnosti

Stínící kryty jsou většinou vytvořeny na míru k danému elektrickému zařízení, které nesplňuje podmínky EMC, kdy rušivé signály překračují povolené meze a je nutné je eliminovat. Účinnost stínění S v decibelech se dá ohodnotit podle následující tabulky 1.

Tabulka 1 - Stínící účinnosti v [dB] a její slovní ohodnocení [9]

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

Účinnost stínění celých krytů se pak označuje kódem stínění, které má formát *EMABCDEF*, kde písmena *A* až *F* označují prokázanou stínící účinnost v kmitočtovém pásmu podle tabulky č. 2.

Tabulka 2 - EM kódy, převzato z [10]

Kmitočtové pásmo	Písmeno (označení) stínění	Stínící účinnost [dB]	Hodnota označení stínění
10kHz – 100kHz	A	Nezkouší se	X
100kHz – 1MHz	B	<10	0
1MHz – 30MHz	C	≥10	1
30MHz – 1GHz	D	≥20	2
1GHz – 10GHz	E	≥30	3
10GHz – 40 GHz	F	≥40	4
		≥50	5
		≥60	6
		≥70	7
		≥80	8
		≥100	9

Například typ s prokázanou účinností alespoň 50 dB v kmitočtovém pásmu od 100 kHz do 1 GHz, který však nebyl zkoušen na jiný kmitočtový rozsah, by byl označen jako *EMX555XX*.

2.8 Metody přímého měření elektromagnetického stínění

Pro měření elektromagnetického stínění se v praxi využívá buď měření plošných stínících materiálů, nebo měření stínící účinnosti celých krytů neboli skříní. Pro běžné testování a vyhodnocení stínící účinnosti plošných materiálů se používají následující metody:

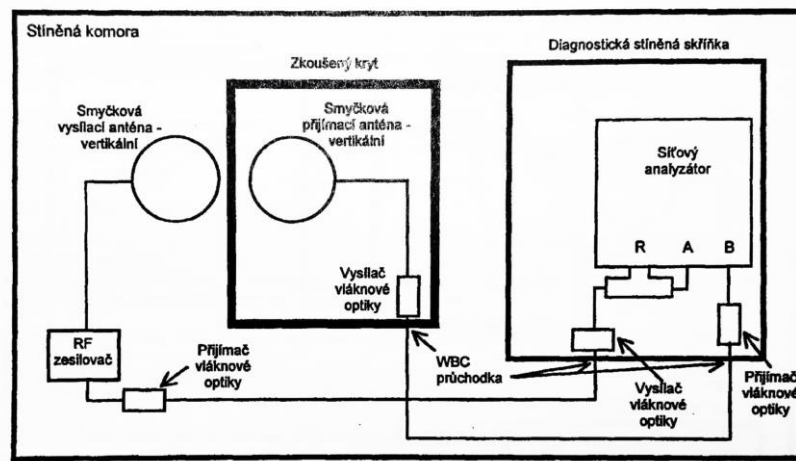
- metoda v bezodrazové komoře (stíněného prostoru)
- metoda stíněné schránky
- metoda stínění vlnovodu
- metoda koaxiálního přenosového vedení

Tyto výše uvedené metody jsou rozepsány v disertační práci paní Ing. Veroniky Tunákové Ph.D., která ve své práci vyhodnotila stínění tkanin a pletenin za pomoci metody koaxiálního přenosového vedení, na základě kterých byly ušity celé stínící kryty pro tuto diplomovou práci. [5]

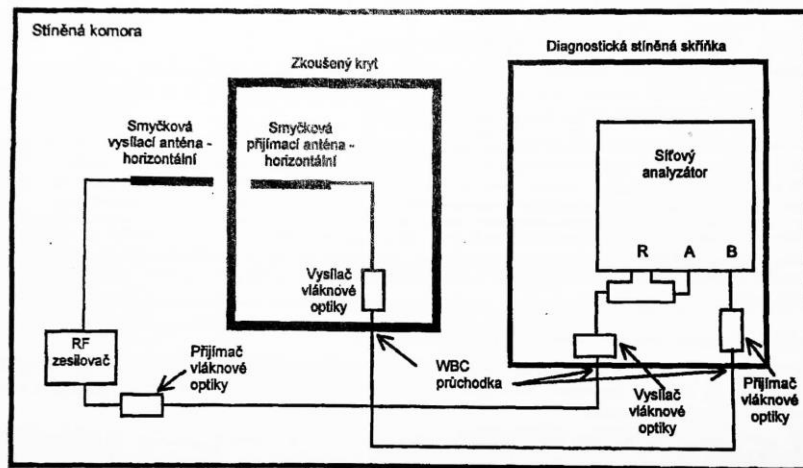
V případě testování elektromagnetického stínění celých krytů jde o podobné metodiky měření, kde se zjišťuje rozdíl elektromagnetického pole před a za stínicí přepážkou, přičemž u celých krytů je nutné vložit přijímací, nebo vysílací anténu přímo do krytu (měření EMI i EMS). K těmto typům zkušebních metod se využívá dvou platných norem, které metodiky popisují viz kapitola 2.8.1 a 2.8.2.

2.8.1 Metoda ve stíněné komoře

Jedna z možností jak ověřit stínící účinnost ucelených krytů je popsána v normě ČSN EN 61000-5-7 s názvem Elektromagnetická kompatibilita (EMC)- Část 5-7: Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů – Stupně ochrany kryty proti elektromagnetickým rušením, která byla převzata z evropské normy EN 61000-5-7:2001. V normě je definovaný postup pro zkoumání krytů ve stíněné (bezodrazové), nebo polo-stíněné (polo-bezodrazové) komoře. Za pomoci dvou stejných typů antén, podle zvoleného frekvenčního rozsahu je jedna z antén brána jako vysílací a je umístěna vně krytu a druhá jako přijímací, která je umístěna uvnitř krytu. Celé uspořádání se smyčkovými anténami ve vertikální a horizontální polarizaci pro rozsah kmitočtu přibližně od 10kHz do 30MHz je na obrázku 9 a 10.



Obrázek 9 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle ČSN EN 61000-5-7 (vertikální polarizace antény) převzato z [10]



Obrázek 10 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle ČSN EN 61000-5-7 (horizontální polarizace antény) převzato z [10]

Pro testování dle metodiky ČSN EN 61000-5-7 je však nutné mít kryty o velikosti minimálně 2,5m x 2,5m, aby bylo možné provádět testování s velkými anténami určenými pro nízké kmitočty. Ve výše uvedené normě je popsán i výběr testovaných kmitočtů pro různé velikosti krytů, které mohou ve středních nebo vysokých kmitočtech rezonovat, což může být kritériem pro samotný výběr kmitočtového rozsahu, nebo samotného použití stínícího krytu mimo tento rezonanční kmitočet, který by stínící útlum znehodnotil. Jeho výpočet je možné provést pomocí vzorce

$$f_r = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}, \quad (27)$$

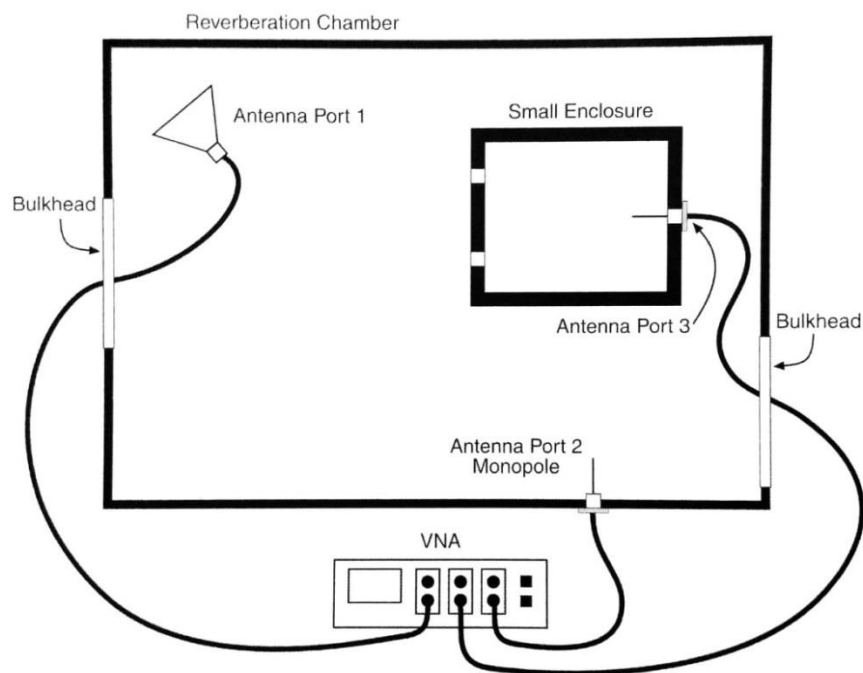
kde a a b (v metrech) jsou dva největší vnitřní rozměry (výška, šířka a hloubka) krytu. [10]

2.8.2 Metoda v odrazivé komoře

Druhou z možných metodik měření je měření v reverberační (neboli odrazivé) měřící komoře. Tato komora je navržena tak, aby její vnitřní prostor byl tvořen stěny z vysoce odrazivých (vodivých) materiálů a na rozdíl od komor bezodrazivých se tu naopak odrazivost signálů vyžaduje. Konstrukce této komory má za snahu vytvořit v jejím vnitřním prostoru rovnoměrné rozložení elektromagnetických vln šířící se stejnou intenzitou ve všech směrech, tedy homogenní izotropní elektromagnetické pole. V komorách jsou i takzvaná mechanická míchadla, která jsou založena na otáčení odrazivých vysoce vodivých ploch, což napomáhá k rovnoměrnému rozložení homogenity pole uvnitř reverberační komory. U těchto typů komor je vzhledem

k minimálnímu útlumu a malé přeměně energie v teplo na stěnách komory (v ideálním případě vůbec) možné při menším vstupním výkonu dosahovat podstatně vyšších intenzit elektrického pole.

Touto metodou testování se zabývá aktuálně platný standard IEEE Std 299.1 TM-2013 z mezinárodního institutu pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (ang. Institute of Electrical and Electronics Engineers) s anglickým názvem Standard method for measuring the shielding effectiveness of enclosures and boxes having all dimensions between 0.1 m and 2 m (český překlad: Standardní metoda IEEE pro měření účinnosti stínění krytů a boxů s rozměry mezi 0,1 až 2 m). Standard je rozdělen do dvou částí: Část I na kryty o velikosti 0,75 až 2m a Část II na fyzicky malé kryty (<0,75m). Samotné testování je podle uspořádání na obrázku 11. [11]



Obrázek 11 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle IEEE Std 299.1 TM-2013 [11]

Celá sestava testu obsahuje tři antény, z nichž první anténa (Antenna Port 1) je brána jako vysílací, druhá anténa (Antenna Port 2) slouží k monitorování výkonu ve vnitřní zóně komory a třetí anténa (Antenna Port 3) je umístěna uvnitř malého zkoumaného stínícího boxu (Small Enclosure). Propojením kvalitních stínícími kabelů s minimálním útlumem skrz stěny komory jsou antény připojeny do vektorového síťového analyzátoru (VNA), který měření ovládá a vyhodnocuje. Před samotným testováním se provádí kalibrace kabelů na testovaný frekvenční rozsah, ten je však omezen právě použitými anténami a to hlavně anténou uvnitř testovaného krytu. V normě je montáž antény do testovaného krytu popsána za pomoci vyvrtání malého otvoru a vložení monopólové

antény, kdy je následně okolí mezi anténou a otvorem řádně zaizolováno stínícím materiálem hliníkovou, nebo měděnou lepicí páskou.

Matematické vyhodnocení účinnosti stínícího krytu je pak definováno vzorcem podílu výkonu na vysílací anténě P_{in} a přijímací anténě P_{out} .

$$SE = -10 \cdot \log_{10}(P_{in}/P_{out}) \quad (28)$$

V testovacích postupech však není definovaný frekvenční rozsah, který se vzhledem k použitým malým anténám (monopólům) bude pohybovat v řádech GHz. Pro měření nižších kmitočtů je zapotřebí antén s většími rozměry, které se do krytu nevejdou. Přechází se tak na testování stínění plošných typů, z jejich výsledků je následně odvozeno stínění celého krytu. To však není vhodné vzhledem k různým anomáliím ve vnitřních prostorách krytů.

2.9 Vyhodnocení měřících metod

Obě výše uvedené metody mají své omezení, ať už jde o velikost krytu, nebo zkoušeného frekvenčního rozsahu. Ani v jedné metodice však není popsáno jakým způsobem otestovat stínící kryt z textilního materiálu, který nemá dostatečnou pevnost pro stálý konstrukční tvar. Testování v reverberační komoře by bylo vhodné pro vysoké kmitočty, ale tato komora je v České republice pouze ve Vojenském zkušebním ústavu Vyškov, kde je velice těžké získat možnost měření pro samotný výzkum a testování určených pro tuto diplomovou práci.

Vyskytovala se však možnost zkoumání v polo-bezodrazové komoře ve společnosti TÜV SÜD Czech s.r.o., kde mají komoru s přibližnými rozměry 6m x 6m x 3m určenou k testování automobilových komponentů podle metod z aktuálně platné normy ČSN EN 55025 ed. 3 (334285), převzato z CISPR25 Edittion4.0. Automobilové komponenty se běžně testují na dřevěném stole s výškou jeden metr a délkou 3 metry, kde na jeho povrchu je umístěna zemnicí měděná deska spojená s kostrou samotné komory, která simuluje chování karosérie vozidla. Vzdálenost antény od zkoušeného vzorku je 1 metr a pro napájení zkoušeného vzorku se zde používá síťové napětí vozidla 12 nebo 24V.

Po dlouhém zkoumání bylo rozhodnuto, že testování bude provedeno ve výše uvedené komoře společnosti TÜV SÜD Czech s.r.o. s upravením metodik měření pro díly automobilového průmyslu podle normy CISPR25 a normami pro měření elektromagnetického stínění.

3 Elektricky vodivé textilie

Tato kapitola obsahuje všeobecný přehled k elektrickým vlastnostem materiálů, vlastností elektricky vodivých textilií a typy elektricky vodivých textilií.

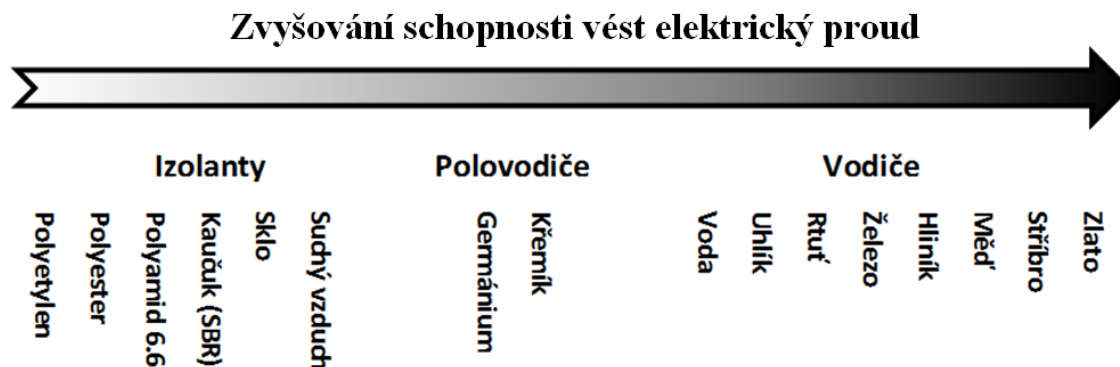
3.1 Základní pojmy

Základní rozdělení materiálů podle elektrických vlastností dělíme na vodiče, polovodiče a izolanty neboli dielektrika, viz obrázku 13. Mezi vodiče patří kovové materiály, z kterých se vyrábí kabely, elektrické kontakty a další. Pro elektrickou vodivost požadují vodiče nízký elektrický odpor. Příčinou vodivosti jsou volné elektrony. Mezi nejznámější elektrické vodiče patří měď, stříbro nebo hliník.

Polovodiče, od slova polovodivé, potřebují k volným elektronům dodat určité množství energie. Oproti vodičům, mají silnou vazbu mezi elektrony a jádrem. Měrný odpor ρ se pohybuje kolem 6^{-6} až $10^8 \Omega \cdot m$. [6]

Izolanty neboli dielektrika jsou materiály, které nemají žádné volné elektrony a nedokáží přenést elektrický náboj. V izolantech jsou všechny elektrony vázané k atomovým jádrům, nebo jsou sdílené v kovalentních vazbách.

Přehled materiálů podle elektrické vodivosti je na obrázku 12.



Obrázek 12 - Rozdělení materiálů podle elektrické vodivosti

3.1.1 Elektrický odpor (rezistence)

Elektrický odpor, nebo také rezistence, udává vztah mezi elektrickým proudem I a elektrickým napětím U . Jeho jednotkou je ohm $[\Omega]$ a je definovaný Ohmovým zákonem [7].

$$R = \frac{U}{I} \quad (29)$$

Kde U je elektrické napětí [V] a I je elektrický proud v [A]. Elektrický odpor je dále ovlivněn typem materiálu vodiče, jeho délkou a průřezem. Pro elektrický odpor R vodiče kruhového průřezu platí vztah [7].

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} = \frac{4 \cdot l \cdot \rho}{\pi \cdot r^2} \quad (30)$$

Kde l je délka vodiče [m], ρ je elektrická rezistivita vodiče (měrný odpor vodiče) [$\Omega \cdot m$], S je plocha vodiče [m^2], r je poloměr vodiče [m].

3.1.2 Elektrická rezistivita (měrný odpor)

Elektrická rezistivita neboli měrný odpor je veličina, která charakterizuje vlastnost vést elektrický proud materiálem. Rezistivita je materiálová konstanta. Vyjadřuje se v [$\Omega \cdot m$]. Je převrácenou hodnotou měrné vodivosti (konduktivity). Platí pro ni vztah:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad (31)$$

Rezistivitu kovů je možné najít ve fyzikálních tabulkách, kde například měď má hodnotu $0,0171 \Omega \cdot m$, stříbro má hodnotu $0,01629 \Omega \cdot m$ a zlato $0,0235 \Omega \cdot m$. Čím větší je rezistivita, tím menší je lokální vodivost dané látky a tím větší je elektrický odpor. [3]

Nejlevnější kov s nelepší rezistivitou je právě měď, která se také nejčastěji používá k vedení elektrického proudu.

Vodiče	$\rho = 10^{-8} - 10^{-2} \Omega \cdot m$
Polovodiče	$\rho = 10^{-2} - 10^0 \Omega \cdot m$
Izolanty	$\rho = 10^0 - 10^{16} \Omega \cdot m$

Klasická syntetická vlákna mají rezistivitu od $10^{12} - 10^{14} \Omega \cdot m$, antistatická vlákna se pohybují v rozmezí $10^6 - 10^{10} \Omega \cdot m$ a elektricky vodivá vlákna kolem $10^{-5} \Omega \cdot m$, nebo nižší. Pro materiály určené ke stínění elektromagnetického pole je požadovaná rezistivita nižší než $10 \Omega \cdot m$. [13]

3.1.3 Teplotní součinitel elektrického odporu α

Rezistivita je také závislá na Teplotě. U vodičů s teplotou roste a u polovodičů naopak klesá. Odpor kovu v tabulkách se udává při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%. Pro výpočet elektrického odporu (v rozsahu od 0 do 100°C) kovového drátu s teplotou T_P se využívá vzorce součinitele elektrického odporu α .

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T_P), \quad (32)$$

Kde α je teplotní součinitel odporu, R_0 je odpor vodiče při teplotě T_{P0} a ΔT_{P0} je teplotní rozdíl $T_P - T_{P0}$. [6]

Tento výše uvedený vztah (32) platí pouze pro kovy. Elektrický odpor u polovodičů, nebo například u uhlíku, se zvyšující se teplotou naopak klesá. [4, 5]

3.1.4 Měrná elektrická vodivost σ

Elektrická vodivost, nebo také konduktivita je vyjádřena jednotkou [$S.m^{-1}$]. Je inverzní hodnotou měrného elektrického odporu a vyjadřuje míru schopnosti materiálu vést elektrický proud.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (33)$$

Vodivost materiálu je součin koncentrace nositelů náboje [$mol.m^{-3}$]. Velikost náboje q [$C.mol^{-1}$] a pohyblivostí nositele náboje u_p [$m^2 V^{-1} s^{-1}$]. Pro systémy, kde je více nositelů náboje platí vztah

$$\sigma = \sum n_i q_i u_{pi} \quad (34)$$

Kde n je počet nositelů a u_{pi} je pohyblivost nositele náboje.

3.2 Textilie se zvýšenou elektrickou vodivostí

Většina vláken používaných v textiliích jsou tak elektricky nevodivé s měrným odporem v řádech $M\Omega.m$, nebo $G\Omega.m$. Pro elektromagnetické stínění jsou potřebné elektricky vodivé materiály s daleko nižšími hodnotami řádově $m\Omega.m$. Pro vyšší elektrickou vodivost je potřebná vyšší míra elektricky vodivé složky, která je tak součástí elektricky vodivé textilie. Tato diplomová práce se zabývá textiliemi pro EMC a není tedy předpoklad, že by tyto textilie byly použity pro oděvní aplikace.

Pro materiály určené ke stínění elektromagnetického pole je třeba docílit nízké hodnoty měrného odporu, neboli povrchové rezistivity a to menší než $10 \Omega.m$. S tím souvisí

i přímá velikost elektrostatického náboje. Struktury se vyrábí za pomoci samotných vodivých složek, např. mědi. Pro zvyšování flexibility a většího rozsahu využití se používají hybridní textilie. Zavedení vodivé složky do syntetických materiálů je možné vícero způsoby. Důležitý je však i poměr vodivé složky v celkovém objemu kompozitu. [13]

Perkolační práh

K tomu, aby se u materiálu došlo ke zvýšené vodivosti, musí překročit tzv. perkolační práh. Po jeho překročení, nebo nasycení objemu materiálu vodivou komponentou dochází ke zvýšení vodivosti o několik řádů. Před tímto prahem se vodivost vzhledem k poměru přidávání vodivých polymerů příliš nezlepšuje. [13]

Pokud jsou látky umístěné v elektrickém poli, může dojít k těmto mezním jevům:

- transport elektricky nabitých částic, tj. vzniká-li elektrický proud doprovázený rozptylem energie; charakteristické pro vodiče.
- vznik dipólů a indukovaných dipólů doprovázený akumulací energie. Tento proces je vratný a charakteristický pro izolátory (dielektrika) [13]

3.3 Vyráběné elektricky vodivé textilie

Pro získání antistatických, resp. elektricky vodivých vláken se používají různé techniky výroby. U textilií pro odstínění elektromagnetického pole je však důležitý poměr vodivé složky a typ použití. Pro tuto kapitolu byly vybrány a dále více rozepsány jen některé metody:

3.3.1 Použití vodivých vláken

Vodivá vlákna jsou rozdělena na kovová a uhlíková. Tento typ vláken je speciálním způsobem zpracováván technikou povrstvení, nebo plnění vodivými částicemi. Speciální vlákna mohou být použity přímo v netkané textilií. V textilních strukturách je třeba vyrobit přízi.

Kovová vlákna

Kovová vlákna jsou ke svým mechanickým a elektrickým vlastnostem široce využívána. Zpracování ve formě tenkých drátků a vpravování do textilie se používá například metoda tažení za studena nebo Taylorovým procesem, jak je popsáno v [13]. Drátky z berylia, mědi, olova nebo oceli o velikosti řádově 10 μm se následně používají pro výrobu přízí. Jemná ocelová vlákna se dodávají jako vodivá komponenta do termoplastů pro konstrukci bariér vůči elektromagnetickému poli.

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna se se vyznačují vysokou pevností v tahu, teplotní zatížitelností a nízkou hmotností. Většinou jsou to tenká vlákna v průměrech 5-8 μm složená převážně z atomů uhlíku. Používají se pro technické účely jako výztuže kompozitu. Uhlík se přidává ve formě mletých vláken, nebo sekaných pramenů do filamentů, rohoží, tkanin, pletenin a jiných struktur.

Pro experiment a testování stínících účinků v této diplomové práci byla využita elektricky vodivá textilie z kovových vláken.

3.3.2 Dalšími metodami výroby

Povrstvené textilie

Nevodivé textilie je možno povrstvovat vodivou složkou. Tato technologie nanášení vodivé vrstvy se provádí po základním výrobním procesu za účelem zvyšování elektrické vodivosti. Tyto vrstvy jsou většinou kovové, nebo obsahují vodivé polymery.

Rozptylování vodivých materiálů

Dalšími metodami výroby elektrické textilie mohou být například metody rozptylování vodivých materiálů, které jsou aplikovány přímo do nevodivé textilie (zejména netkaných). Používají se kovové prášky (stříbro, měď, nikl) uhlíkové látky (uhlíková čern, grafit, uhlíková vlákna), kysličníky kovů, nebo anorganické částice pokryté kysličníky kovů.

Pomocí potisku textilie.

Po základním výrobním procesu nevodivé textilie se pomocí sítotisku, nebo jinou tiskařskou technikou nanese vodivá vrstva. Tato technologie je vhodná pro nanášení vodivých cest pro vytvoření plošného spoje na textilních materiálech.

3.4 Požadavky pro textilie se stínícím účinkem elektromagnetického pole

Všechny metody vytváření vodivých textilií mají své výhody i nevýhody a záleží na následném použití textilie. Pro stínící textilie je třeba docílit stejné elektrické vodivosti ve všech směrech a místech a nejlépe zanechat vlastnosti jako je pružnost, flexibilita a prodyšnost. Je tedy důležité vhodně zvolit vodivý materiál nebo hybridní textilií. Vzhledem k stínění elektromagnetického pole podle kapitoly 2.6 je vhodné, aby tento

typ stínění byl navržen s dostatečnou tloušťkou a bez velkých otvorů nebo štěrbin, které by vedly k negativním vlivům stínicího efektu.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Z popsaných metodik měření pro stínící účinnost krytů v kapitole č. 4 byla upravena metodika měření podle standardu CISPR25, který se běžně používá pro testování elektronických komponentů v automobilovém průmyslu. Celá experimentální část byla testována v polo-odrazové stíněné EMC komoře v Bezděčíně u Mladé Boleslavi, patřící společnosti TÜV SÜD Czech s.r.o.

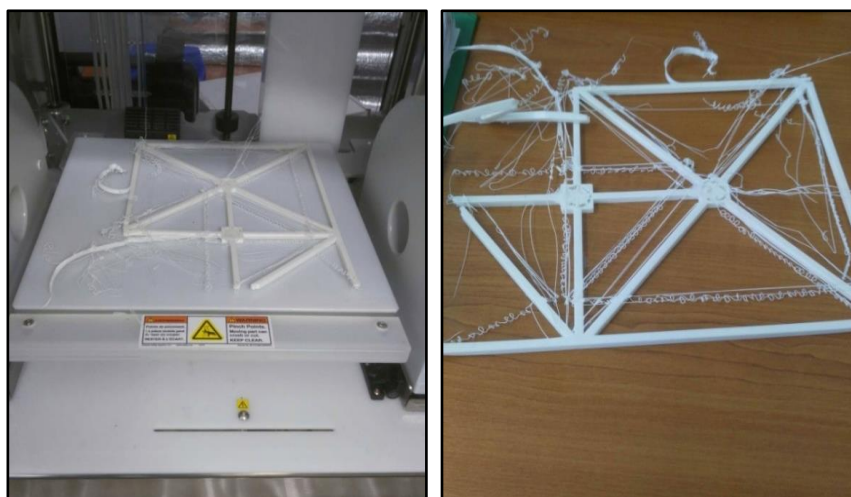
4 Návrh a příprava vzorků pro měření

Pro opakovatelné měření útlumu a dalších vlastností krytu z plošné textilie vzhledem k EMC bylo nutné sestavit konstrukci, která bude ze všech stran potažena zkoumanou testovanou textilií. Celá konstrukce včetně návleku ze stínící textilie působí jako stínící box pro možné zařízení uvnitř. Konstrukce má za úkol bránit nežádoucímu elektromagnetické rušení (EMS), nebo naopak zabránit vyzařování vysokých hodnot rušivých signálů ze zařízení uvnitř konstrukce do jeho okolí.

4.1 Konstrukce pro návlek plošné textilie

Pro rozměry konstrukce byly limitující její rozměry, které byly dány rozměry generátoru rušivých pulzů s vlastním zdrojem energie (popsáno v následujících kapitolách). Cílem bylo vytvoření nejmenší možné konstrukce, aby vznikla co nejmenší spotřeba elektricky vodivé textilie. Při návrhu bylo nutné myslet na umístění izotropní sondy „LUMILOOP“, která měří intenzitu elektrického pole ve svém okolí. Sonda komunikuje, a je napájena pomocí optického kabelu, který je vyveden z konstrukce a následně z prostoru EMC komory do vyhodnocujícího technologického počítače. Umístění sondy v konstrukci pouze na jedno místo by mohlo znamenat velkou chybu měření, protože pole uvnitř návleku z textilie nemusí být homogenní. V konstrukci se tedy muselo počítat i s několika možnými umístěními sondy s opakovatelným měřením.

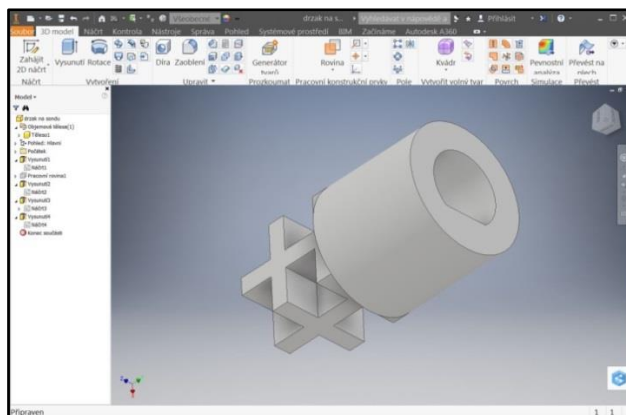
První pokus o zhotovení konstrukce se nezdařil. Jednalo se o 3D výtisk, který byl navržen ve studijní verzi návrhového programu Autodesk Inventor Professional 2017. Tisk byl zhotoven z polystyrenu, který má relativně nízkou permitivitu ($\epsilon_r = 2,3$) a neměl tedy výrazně ovlivňovat samotné měření. Výtisk se bohužel nepodařilo zrealizovat, zřejmě z důvodu špatného nastavení tiskárny nebo velmi slabým hranám konstrukce. Výsledek pokusu lze vidět na obrázku 13.



Obrázek 13 - Konstrukce z 3D tisku

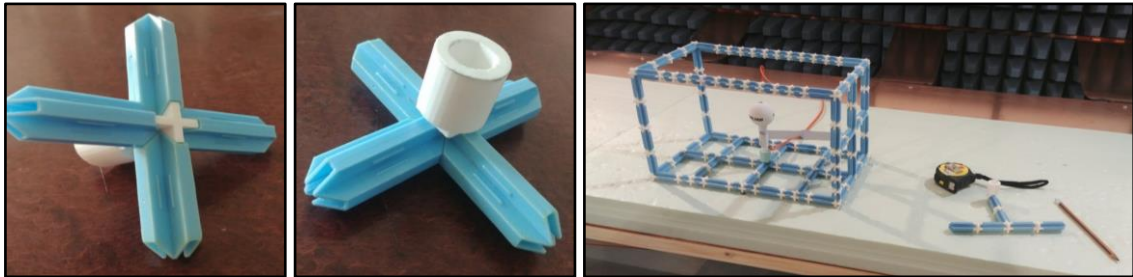
Konstrukce z 3D tisku byla tedy zamítnuta. Nejen z důvodů nesnadného vytisknutí, ale také důvodu uceleného tvaru. Návlek z textilie pro takto ucelený tvar by musel mít otvor minimálně o rozměru plochy nejmenší strany. S touto souvislostí bylo počítáno v návrhu tvaru návleku. Vzhledem k typu měření bylo nutné, aby otvor v návleku byl co nejmenší a dobře spojený (ideálně sešitý).

Další inspirací se stala dětská stavebnice SEVA, která se dodnes vyrábí v Semilech. Díky přímé komunikaci s firmou se podařilo získat materiálové listy dvou materiálů, ze kterých se stavebnice vyrábí. U obou typů se jedná o houževnatý polystyren (HIPS) - konkrétně SYNTHOS PS HI 552M a SYNTHOS PS HI 336M, u kterých se relativní permitivita pohybuje od $\epsilon_r = 2,4$ až 2,7. Materiálové listy jsou v příloze A. Kostra konstrukce byla zhotovena tedy z této stavebnice. Z 3D tiskárny byl vytisknut pouze držák na sondu blízkého pole, který má ve spodní části tvar jednoho z dílů stavebnice a stal se tak pro stavebnici kompatibilní. Tento díl byl vymodelován ve studijní verzi programu Autodesk Inventor Professional 2017, jehož model je vyobrazen na snímku obrazovky výše zmiňovaného programu na obrázku 14.



Obrázek 14 - Model držáku sondy v programu Autodesk Inventor Professional 2017

Model byl následně vytisknut z polystyrenu (jehož permitivita je $\epsilon_r=2,3$) na 3D tiskárně ve firmě 3Dpriny v Brandýse nad Labem. Konstrukci ze stavebnice lze snadno a rychle rozložit a zase složit, aniž by při tom došlo k jejímu poškození nebo změně pevnosti. Z tohoto důvodu bylo také možné ušít návlek s daleko menším otvorem než na ucelené konstrukci z 3D výtisku. Celá finální konstrukce s rozměry 37 cm x 25,5 cm x 25,5 cm včetně izotropní sondy umístěné na držáku z 3D výtisku je na obrázku 15.



Obrázek 15 - Sestavení konstrukce ze stavebnice SEVA a 3D výtisku držáku sondy

4.2 Testované materiály

K této diplomové práci byly vybrány plošné textilie (tkaniny, pleteniny) ve spolupráci s Ing. Veronikou Tunákovou, Ph.D. (rozenou Šafářovou), která poskytla vzorky vyhotovené pro svou disertační práci. Použité plošné textilie jsou tvořené tzv. hybridními přízemi obsahujícími kromě klasických polymerních textilních vláken také velmi jemná kovová vlákna. V disertační práci „Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu“ jsou tyto materiály detailně popsány:

„Ve spolupráci se společností Sintex a.s. byla navržena a vyrobena široká paleta textilií (tkanin, pletenin) tvořená přízemi obsahujícími ve své struktuře kromě konvenčního polypropylenového vlákna i velmi tenká kovová staplová vlákna. Směsováním klasických vláken (PP TREVON 2.2 dtex/50 mm) s extrémně jemnými vlákny kovovými (BEKINOX 9 μm / 30-50 mm) bylo docíleno zvýšení elektrické vodivosti přízí při zachování ostatních vlastností kladených na příze používané v textilním průmyslu, popř. v oděvnictví. Navržené textilie se lišily jak obsahem vodivé komponenty v použité přízi, tak různým umístěním tzv. hybridní příze v textilií, různou jemností použité příze, strukturou textilie a typem vazby.“ [5]

Ke zkoumání stínění elektromagnetického pole v této práci byly společně s Ing. Veronikou Tunákovou, Ph.D. vybrány dva typy tkanin a dva typy pletenin s příměsí 3 % a 10 % vodivé složky. Vybrané tkaniny s keprovou vazbou tvořené 100 % hybridní přízí s jemností 50 tex a obsahem u jednoho vzorku 3 %, u druhého 10 % nerezového ocelového vlákna se zkratkou SS (stainless steel). Nerezová ocel je feromagnetický materiál, který je magneticky nepřitažlivý. Dostava osnovy u obou vzorků tkanin je $20.\text{cm}^{-1}$ a dostava útku $19.\text{cm}^{-1}$.

Z pletenin pak byly vybrány vzorky ke stejnému poměru vodivé složky s tkaninami, tedy vzorek s 3 % a vzorek s 10 % obsahem vodivých komponentů SS. V pleteninách byla použita příze jemnosti 20 tex s hustotou sloupků pleteniny 12 cm^{-1} a hustotou řádků 16 cm^{-1} . Materiálový list tkaniny T10 je v příloze B. Ostatní materiálové listy nebyly získány.

Pro přehlednost a možnost porovnání byly vzorky v této práci označeny stejnými názvy jako ve výše citované disertační práci. Základní parametry vybraných vzorků jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Parametry studovaných textilií

Vzorek (označení)	Složení	Vazba	Umístění hybridní příze	Plošná hmotnost [g.m⁻²]	Tloušťka vzorku [mm]
T3	97% PP/3% SS	Kepr 2/2	100%	225.10	0.75
T10	90% PP/10% SS	Kepr 2/2	100%	221.02	0.75
P3	97% PP/3% SS	Jednolícní pletenina	100%	154.31	0.66
P10	90% PP/10% SS	Jednolícní pletenina	100%	153.35	0.64

4.3 Ušití stínících krytů – návleků

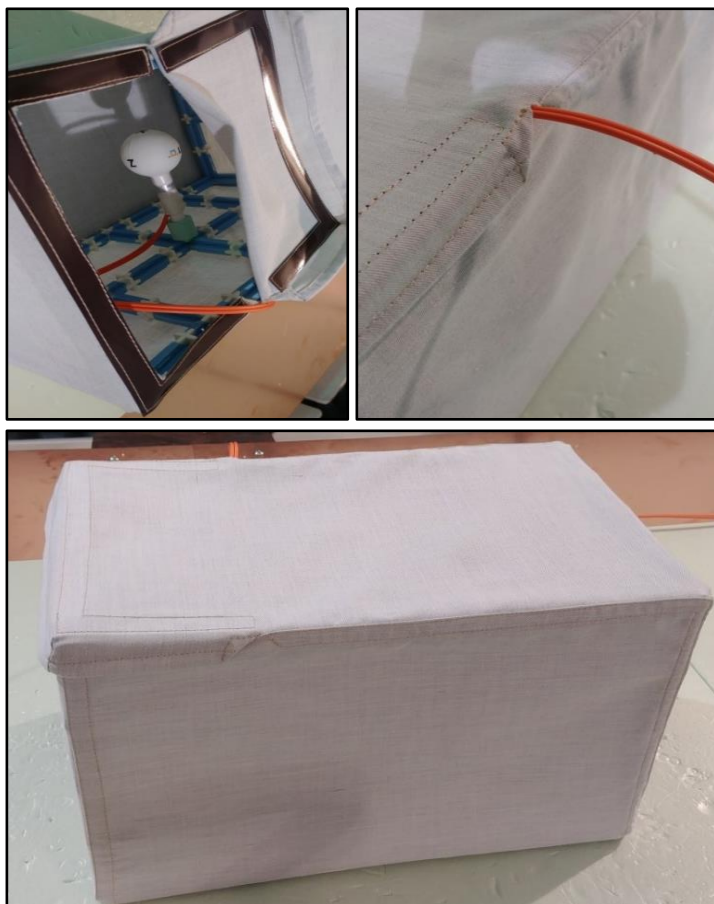
Hlavní spolupráce probíhala s krejčovstvím ELA ve Staré Boleslavi. Zkušební návlek byl zhotoven z tkaniny bez nerez ocelového vlákna, aby se neplýtvalo finálním materiálem. Velikost a tvar otvoru měl být co nejmenší, a zároveň musel umožňovat provléknout části rozebrané stavebnice SEVA, hřebenový generátor pro měření EMI a sondu blízkého pole pro měření EMS. Otvor musel být také po vložení všech potřebných součástí dostatečně překryt textilií, ze které byl ušit. Pro správné spojení a uchycení poklopu otvoru je v místech otvoru všit slabý proužek magnetické pásky, která je elektricky vodivá a obě části tak přilnou k sobě. Magnetického materiálu je zanedbatelné množství, které nemá vliv na výsledky měření. Po vytvoření prvního návleku a složení stavebnice uvnitř vplynuly další úpravy - a to otvor pro vývod optického kabelu a překlopení celkového otvoru kolem jeho hran pro lepší propojení

a ucelení v jeden celkový stínící box. Fotografie prvního návleku z textilie bez nerez ocelového vlákna jsou na obrázku 16.



Obrázek 16 - První návlek bez nerez ocelových vláken

Na obrázku 17 jsou fotografie prvního vyrobeného stínícího krytu navlečeného na konstrukci s umístěnou sondou blízkého el. pole. Na tomto i předchozím návleku byl použit přeplátovaný šev, který byl zvolen z důvodů lepšího spojení v hranách konstrukce.



Obrázek 17 - První návlek vyrobený z materiálu T10

5 Přípravy k testování v laboratoři EMC

Pro zjištění vlastností textilních vzorků z hlediska EMC bylo nutné vyhotovit několik návleků a následně je podrobit zkouškám v laboratoři elektromagnetické kompatibility. Ve spolupráci s firmou TÜV SÜD Czech s.r.o. bylo provedeno několik dílčích testů, během kterých byly ušity další stínící návleky ze zkoumaných textilních materiálů.

5.1 Označení zkušebních stínících vzorků

Zhotoveno bylo celkem sedm návleků z elektricky vodivé textilie, které pro přehlednost dostaly své označení. Jejich parametry jsou v tabulce 4. V dalších kapitolách práce jsou tato označení stínících návleků použita v dílčích testech.

Tabulka 4 - Označení a parametry stínících návleků

Označení stínícího návleku	Označení textilie	Složení tkaniny/pletiny	Typ švu	Šicí nit
T10PN	T10	90% PP/10% SS	přeplátovaný	nevodivá
T10KN	T10	90% PP/10% SS	klasický	nevodivá
T10PV	T10	90% PP/10% SS	přeplátovaný	vodivá
T3PN	T3	97% PP/3% SS	přeplátovaný	nevodivá
T3PV	T3	90% PP/10% SS	přeplátovaný	vodivá
P3PV	P3	97% PP/3% SS	přeplátovaný	vodivá
P10PV	P10	90% PP/10% SS	klasický	vodivá

5.2 Použité přístroje v laboratoři EMC

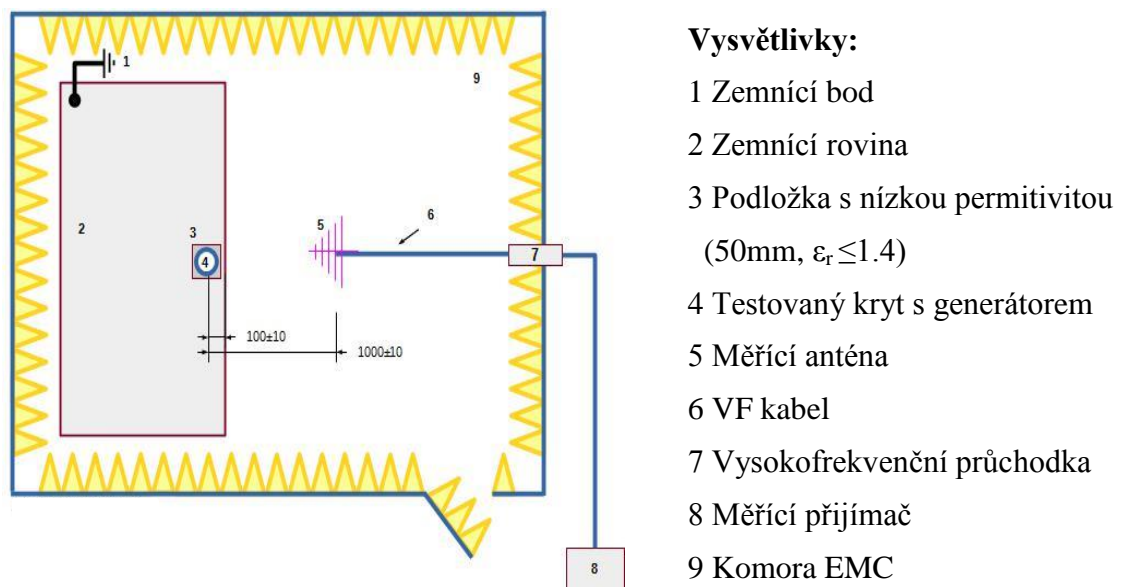
Přístroje a zařízení použita k testování pro tuto diplomovou práci jsou součástí pro běžně prováděné akreditované zkoušky EMC ve společnosti TÜV SÜD Czech s.r.o. Zařízení jsou udržována a pravidelně kalibrována. Soupis, včetně jejich použití je možné vidět v tabulce 5.

Tabulka 5 - Použitá měřicí a zkušební zařízení

Měřicí zařízení	Typ měření	Identifikační, nebo výrobní číslo
Měřicí radiový přijímač ROHDE & SCHWARZ ESR 7	EMI	1316.300K07-101275xW
Log. -periodická anténa SUNOL SCIENCES JB 3	EMI	A012006
Hřebenový generator York EMC, YRS03	EMI	2420
Frekvenční generator SMB 100A	EMS	114617
Zesilovač BBA150-BC500	EMS	102747
Zesilovač BBA150-D200	EMS	102748
Anténa SCHWARZBECK STLP 9128 C	EMS	9128 #166
Sonda LUMILOOP LSProbe	EMS	1,2 #052
EMC zkušební software ROHDE & SCHWARZ EMC32	EMI / EMS	Verze 10.05
Bezodrazová komora ETS Lindgren FACT25	EMI / EMS	6360
Termohygrobarometr Commeter D4141	EMI / EMS	16910106

5.3 Testy elektromagnetické interference EMI

Cílem měření je vytvoření porovnatelných výsledků stínícího efektu krytů z hlediska vyzařování elektrického zařízení z vnitřního stíněného prostoru do jeho okolního. Pro testování byla použita měřicí a zkušební technika - v tabulce č. 5 označená typem měření EMI. Použité testování elektromagnetické interference v této práci je v souladu s normou ČSN EN 55025 ed. 3 (334285) - převzato z CISPR25 Edittion4.0, kde pro tento typ zkoušky je využito měření pro účely validace, ke kterému se používá kalibrovaný hřebenový generátor. Ten je využíván jako rušivé zařízení, které má vlastní zdroj napájení a jeho vyzařování je v celé šířce testovaného frekvenčního pásma. Uspořádání měřicí techniky a stínícího krytu s generátorem je na obrázku 18.



Obrázek 18 - Uspořádání testu při zkouškách EMI

Použitý měřicí přijímač ESR7 od společnosti R&S, který je na konci vysokofrekvenčního vedení a vyhodnocuje tak naměřená data, pracuje s Fourierovou transformací a dokáže měřit velice rychle a efektivně v celé šířce frekvenčního pásma.

Do výsledků je nutné zohlednit šumové pozadí, které je charakterizováno celou vysokofrekvenční cestou od antény po měřicí přijímač. Šumové pozadí udává nejnižší možnou úroveň měření, která není nulová. Protože je v šumovém pozadí zahrnut i takzvaný faktor, neboli kalibrace antény, který je vztažen na měření z jednoho metru, je výslednou jednotkou pro měření hladiny intenzity elektrického pole [dB μ V/m]. Nejistoty u měření emisních testů nebudou zohledněny ve výsledcích, avšak podle standardu CISPR25 je nejistota měření ± 4 dB.

Testy vyhodnocuje program EMC32 od společnosti R&S, ve kterém lze nastavit parametry testu. K testům EMI pro porovnání stínících účinků krytů byly nastaveny parametry testů dle tabulky 6.

Tabulka 6 - Parametry testu EMI

Frekvenční rozsah	30 MHz až 1 GHz
Šířka pásma	120 kHz
Krok měření	Lineární 10 MHz
Měřicí vzdálenost	1 m
Detektor	AVG T: 5 ms
Doba jednoho měření	5 s
Klimatické podmínky	22 °C a 40-60 % RH

Pro měření bylo zvoleno frekvenční pásmo od 30 MHz do 1 GHz, které je testováno v rámci EMC automobilových komponentů podle aktuálně platného předpisu EHK 10.05 a CISPR25. Hřebený generátor v konstrukci se vzhledem k vybranému pásmu nastavil na krok 10 MHz, což je vidět na detailu obrázku 19.



Obrázek 19 - Nastavení hřebenového generátoru

Jednotlivé testy EMI byly provedeny v horizontální polarizaci antény viz obrázek 20 a vertikální polarizaci viz obrázek 21.



Obrázek 20 - Uspořádání testu při zkouškách EMI – horizontální polarizace antény



Obrázek 21 - Uspořádání testu při zkouškách EMI – vertikální polarizace antény

5.4 Testy elektromagnetické susceptibility EMS

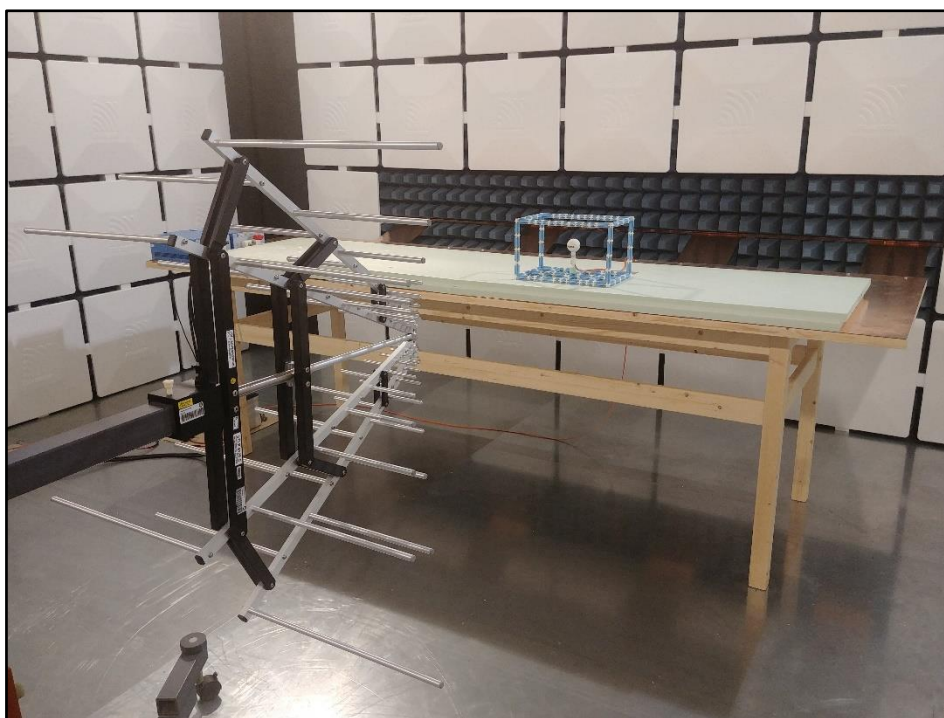
K těmto testům byly použity přístroje ve výše uvedené tabulce 5 s označením typu měření EMS. Nejistota použitých přístrojů je v těchto testech zanedbatelná, proto se do výsledných hodnot EMS testů nezapočítává. EMS, tedy elektromagnetická susceptibilita (také imunita), jak je již psáno v kapitole 1.1.2, je druh zkoušky, při které se pomocí uměle vytvořeného elektromagnetického pole vysílaného anténou působí na zkoumané zařízení. Během záření se kontroluje, zda je zařízení odolné a nemění svoje funkce. Pro testování komponentů v automobilovém průmyslu jsou anténní testy pro EMS v souladu s normou ISO11452-1, na kterou se odkazuje i CISPR25. Testování je vždy provedeno na konkrétní zařízení, které může, i nemusí odolávat vysílaným signálům - tedy je resp. není nutné ho upravit, nebo opatřit stínícím krytem. Prostor, ve kterém se testy provádí (ve stíněné polo-bezodrazové komoře) a veškeré další materiály i jejich uspořádání má na měření svůj vliv, proto je nutné před testováním odolnosti provést kalibraci elektrického pole, která je popsána ve výše uvedené normě. Ke kalibraci je použita izotropní sonda elektrického pole, která je umístěna v prostoru, kam se po kalibraci umístí vzorek. Pomocí kalibrace proběhne úprava vysílané intenzity v celé šířce testovaného frekvenčního pásma na požadované hodnoty [Vm^{-1}].

Pro testování stínících krytů byly požadavky normou ISO11452-1 nastaveny na níže popsané hodnoty v tabulce 7.

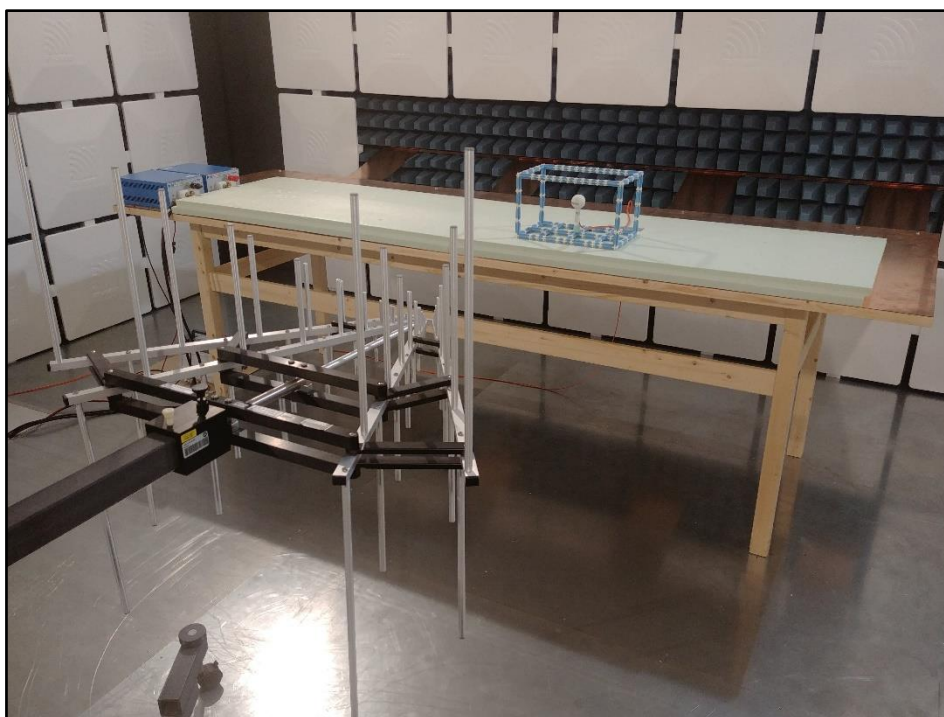
Tabulka 7 - Parametry testu EMS

Frekvenční rozsah	150 MHz až 1 GHz
Krok měření	Lineární 10 MHz
Měřicí vzdálenost	1 m
Doba záření na jeden krok	3 s
Intenzita el. pole	50 Vm^{-1}
Doba jednoho měření	135 s
Klimatické podmínky	22 °C a 40-60 % RH

Kalibrace testu byla provedena s kostrou konstrukce umístěnou na laboratorním stole a sondou umístěnou v místě středu konstrukce v horizontální polarizaci antény viz obrázek 22, Obrázek 23 ale i vertikální polarizaci viz obrázek 23.



Obrázek 22 - Uspořádání testu při zkouškách EMS – horizontální polarizace antény



Obrázek 23 - Uspořádání testu při zkouškách EMS – vertikální polarizace antény

6 Zkoumání a testování stíněných krytů v laboratoři EMC

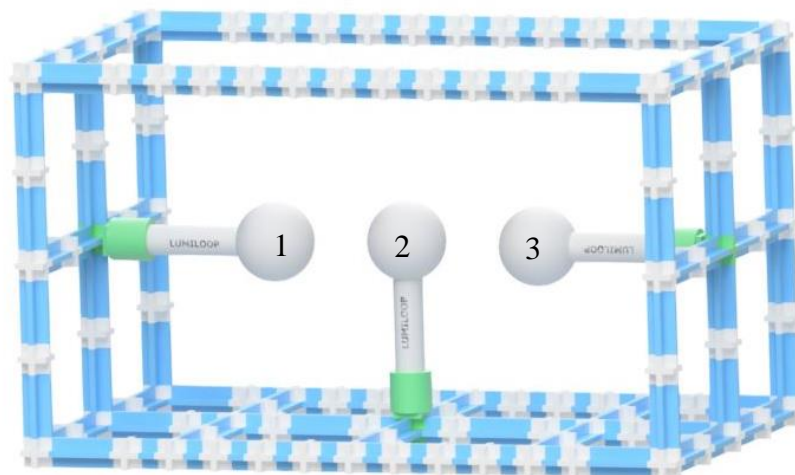
V této kapitole bude popsáno několik dílčích testů pro porovnání stínících efektů dle testů elektromagnetické odolnosti a dle elektromagnetické interference.

6.1 Průzkum elektromagnetického pole uvnitř návleku

K testování stínící účinnosti podle testů EMS bylo zapotřebí zjistit ideální pozici izotropní sondy uvnitř konstrukce, a také prozkoumat homogenitu pole (uniformitu) uvnitř konstrukce.

Testování podle EMS

Sonda LUMILOOP LSProbe, která byla k testu využita, měří intenzitu elektrického pole ze směru X, Y, Z a do výsledné hodnoty zapíše aritmetický průměr. K porovnání homogenity pole byly zvoleny tři pozice umístění sondy, které jsou vyobrazeny na obrázku 24 (renderu), který vznikl za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2017.

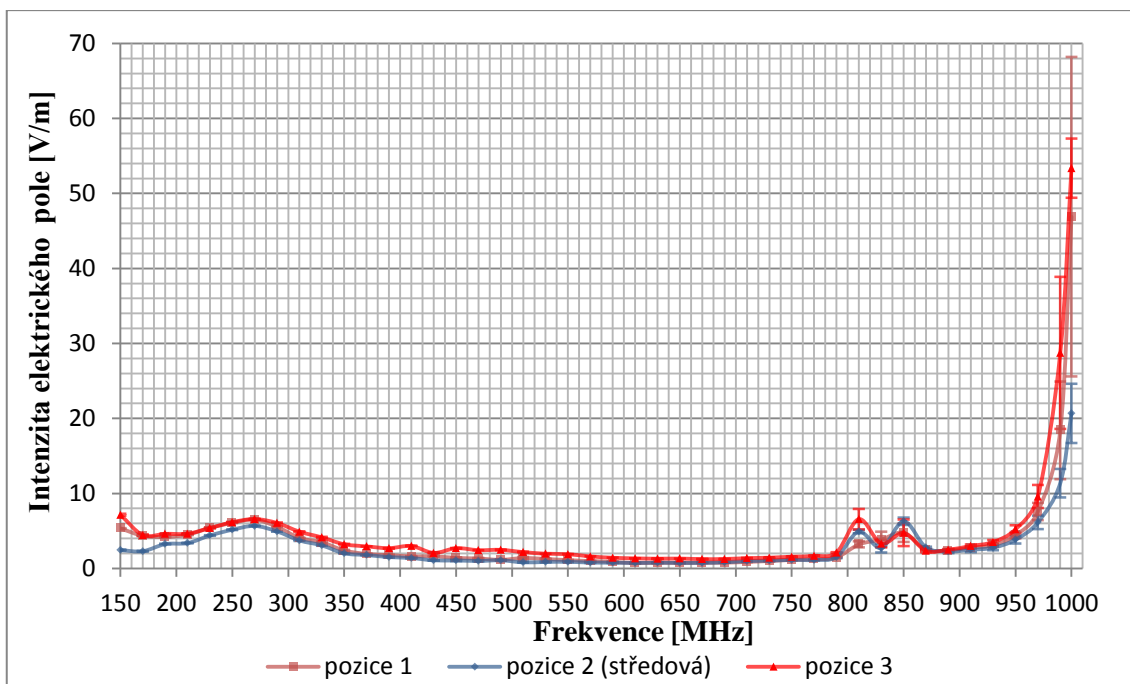


Obrázek 24 - Umístění sondy ve třech měřených pozicích uvnitř konstrukce

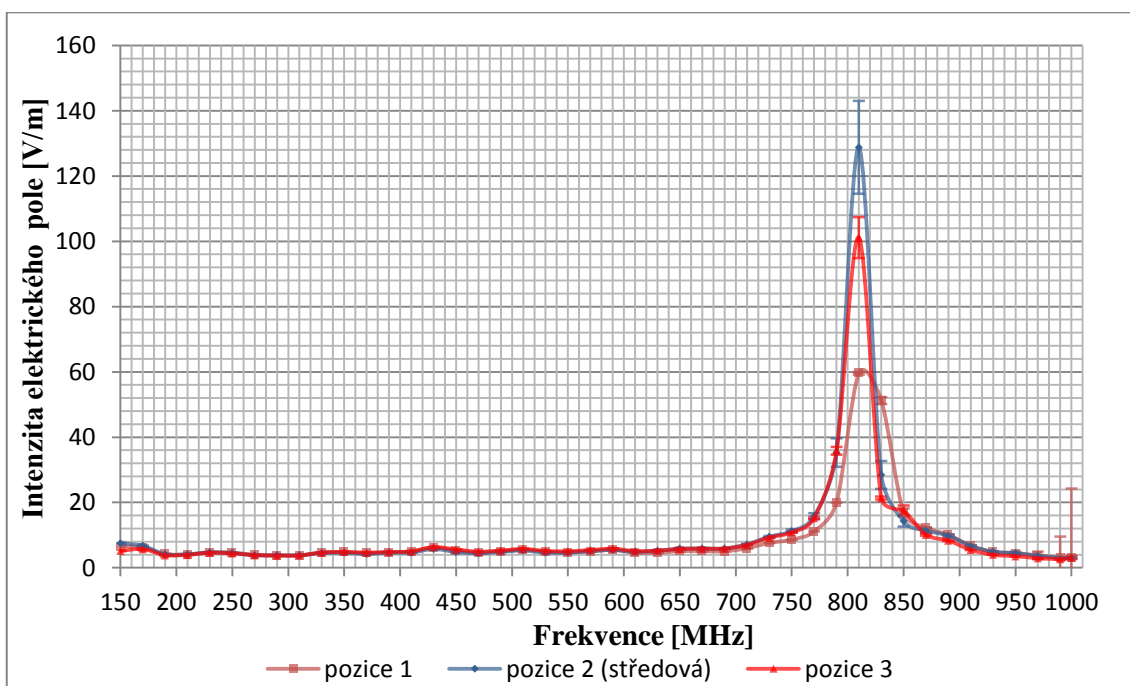
Před měřením byla provedena kalibrace pole se samotnou konstrukcí (bez textilního návleku) v horizontální i vertikální polarizaci antény se sondou v pozici č. 2 a parametry testu podle tabulky 7. Vzniklá kalibrační data se použila pro všechna další měření při zjišťování homogenity. Pro samotné měření byla konstrukce potažená návlekem z logicky nejúčinnějšího krytu stínění, který byl k dispozici a to návlek T10PN.

Jednotlivé testy proběhly v horizontální i vertikální polarizaci pokaždé 3x a to pro všechny tři pozice sondy. Výsledná data byla vložena do jedné tabulky v programu Excel a následně statisticky vyhodnocena pomocí průměru, 95% intervalu spolehlivosti a variability. Výsledná data byla shrnuta do dvou tabulek pro horizontální a vertikální polarizaci antény. Tabulky jsou v příloze C.

Pro přehlednou interpretaci byly ze získaných dat vytvořeny spojnicové grafy, které jsou vytvořeny pro horizontální (viz obrázek 25) a pro vertikální (viz obrázek 26) polarizaci antény. V grafech jsou použita data průměru pro všechny grafické řady a k jednotlivým bodům byly přidány chybové úsečky, které ukazují variabilitu dat. Pro přehlednost je každý graf vyobrazen v jiném měřítku svislé osy a oba grafy jsou zobrazeny na následující straně.



Obrázek 25 - Porovnání intenzity el. pole u návleku T10PN v různých pozicích sondy - zobrazeny hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace)



Obrázek 26 - Porovnání intenzity el. pole u návleku T10PN v různých pozicích sondy - zobrazeny hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace)

Výsledky a shrnutí

Z výsledků jsou patrné rozdíly při změně polarizace antény a to především u kmitočtu 810 MHz ve vertikální polarizaci, kde se objevila několikanásobná hodnota intenzity elektrického pole. Záření na vzorek probíhalo 50 Vm^{-1} v celé šířce pásma od 150 do 1000 MHz, podle kapitoly 8.4, vzniklá špička (ang. peak), kde se hodnoty intenzity el. pole pohybují kolem 110 Vm^{-1} a víc, by mohla být rezonančním kmitočtem popsaným v kapitole 2.8.1. vztahem (27). Do vztahu tedy byly dosazeny dvě nejdelší vnitřní strany krytu, (přibližně) tedy $a = 0,37 \text{ m}$ a $b = 0,215 \text{ m}$ a následně vypočítán rezonanční kmitočet:

$$f_r = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{1}{0,37^2} + \frac{1}{0,215^2}} = 806909621,4 \text{ Hz} \cong 806,9 \text{ MHz.}$$

Rezonanční kmitočet f_r zkoumaného krytu je tedy přibližně 810 MHz, což se potvrdilo i samotným měřením. Tato rezonanční křivka se však objevila jen u horizontální polarizace. Zkoumáním bylo dále zjištěno, že pokud se kryt otočí o 90° , je tento kmitočet viditelný v polarizaci vertikální. Vliv má tedy polarizace antény, neboli orientace elektromagnetické vlny, dále pak rozměry konstrukce a v neposlední řadě samotný stínící návlek. Lze tedy předpokládat, že podobná špička vznikne i u vertikální polarizace. Výpočet rezonanční frekvence pro vertikální polarizaci byl proveden s hodnotami $a = 0,215 \text{ m}$ a $b = 0,215$ a vyšel následovně:

$$f_r = 1,5 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{1}{0,215^2} + \frac{1}{0,215^2}} = 986660624,9 \text{ Hz} \cong 986,6 \text{ MHz.}$$

I tento kmitočet je v grafickém zobrazení zkoumání homogenity pole patrný. U rezonančních kmitočtů se musí počítat s jistou tolerancí, kterou ovlivňuje opětovné navlékání testovacích návleků na stavebnici, kdy nelze docílit stejně přesných rozměrů délky, šířky a výšky celého krytu - ať už jde o rozměry vnitřní, nebo vnější. Z teorie je také dané, že tyto rezonanční frekvence mohou mít i své násobky ve vyšších kmitočtech.

Pokud jde o homogenitu (uniformitu) pole uvnitř konstrukce, tak je ze získaných dat patrné, že až na rezonanční kmitočty dochází u obou polarizací antény k překrývání 95% intervalů spolehlivosti. Z toho lze usoudit, že mimo rezonanční kmitočty je elektrické pole uvnitř krytu, v měřeném frekvenčním rozsahu s 95% pravděpodobností homogenní. Musí se však vzít v potaz, že měření bylo provedeno jen ve třech bodech vnitřního prostoru konstrukce a také to, že pole je vytvářeno logaritmicko-periodickou anténou s jistým vyzařovacím lalokem, který není homogenní ani mimo zkoumaný kryt.

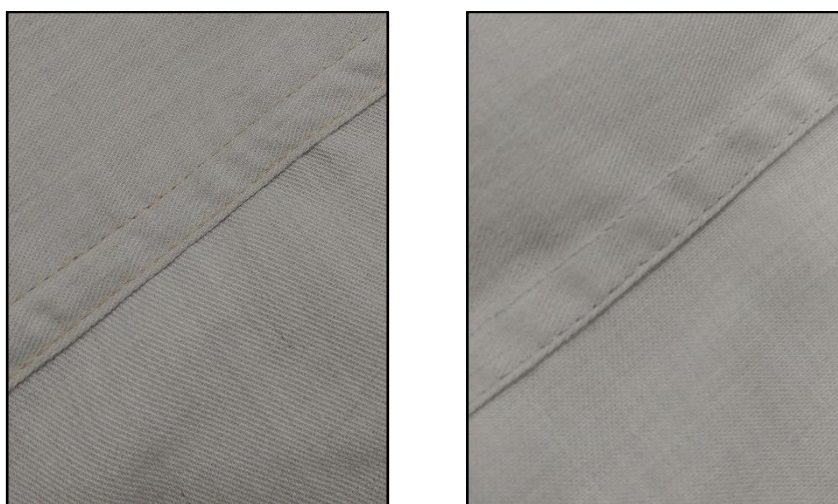
Pro další měření testů EMS byla pro umístění sondy LUMILOOP LSProbe vždy použita středová pozice, tedy pozice č. 2.

6.2 Vliv typu nitě na celkovou stínící účinnost návleku

Cílem testu v této kapitole bylo zjistit, jaký vliv na účinnost stínění elektrického pole má typ nitě, ze které byl návlek ušit. Standartní použitá nit neznámého typu je bez kovových přísad, tedy elektricky nevodivá. U švu kolem návleku tak vznikají malé el. nevodivé otvory o průměru šicí jehly, respektive následně nitě, které se mohou chovat jako štěrbinové antény a mohou mít vliv na výsledky stínící účinnosti.

Testování podle EMS

Samotné testování proběhlo na dvou typech návleků: T10PN s nevodivou nití (viz obrázek 27a) a T10PV s elektricky vodivou nití (viz obrázek 27b). Přehled vzorků je v kapitole 5.1 K účelům tohoto testu byla zakoupena vodivá nit C-tech od firmy AMANN. Tato speciální šicí nit s uhlíkovým materiálem se používá například na šití ochranných oděvů proti elektrostatickému a elektromagnetickému výboji. Variantně lze použít dražší nit Silver-tech od firmy AMANN, která obsahuje stříbrem potažená hybridní vlákna. Tato nit je však velice drahá, proto byla zvolena nit C-tech.

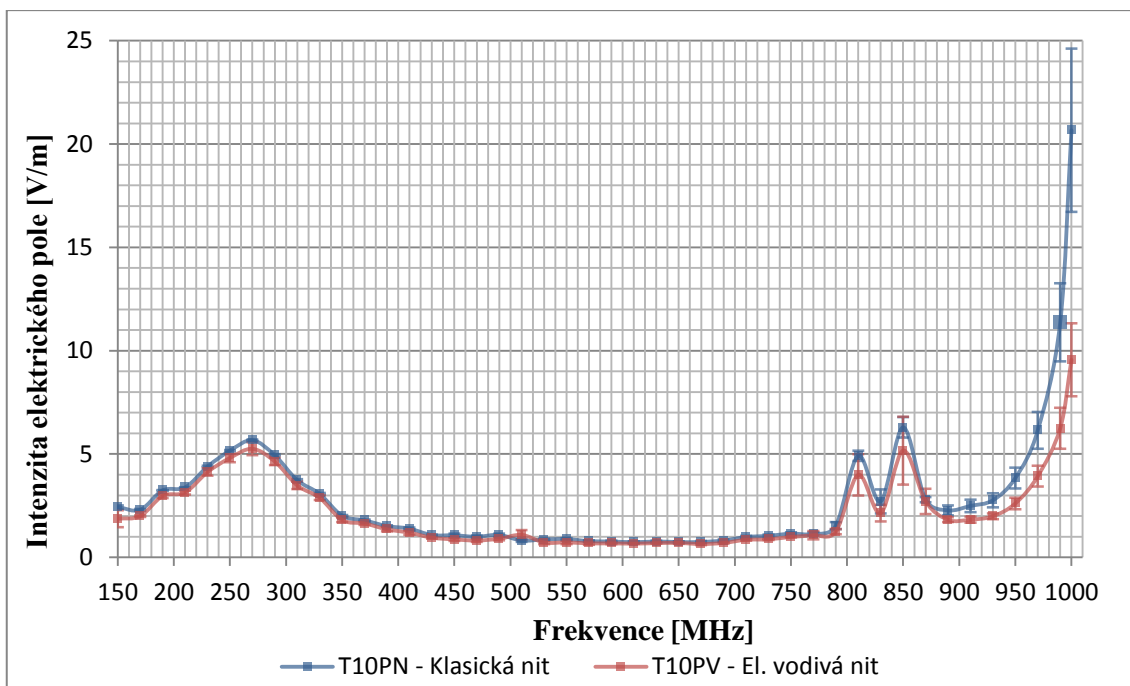


Obrázek 27 - a) T10PN - klasická nit, b) T10PV - vodivá nit

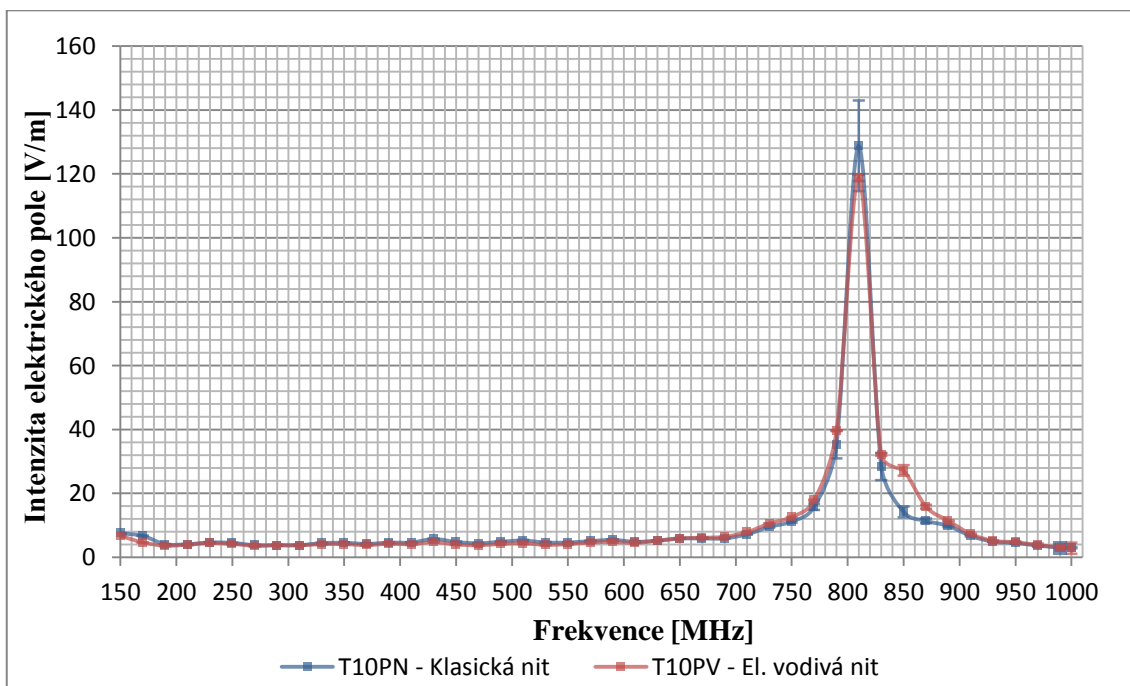
Měření proběhlo podle testů EMS (blíže popsáno v kapitole 5.4.) s pozicí měřící sondy uprostřed návleku. K porovnání vodivé a nevodivé nitě bylo provedeno celkem pět měření se vzorkem T10PN s nevodivou nití a pět měření s T10PV s elektricky vodivou nití. K vyhodnocení byly použity výsledky naměřené sondou blízkého pole uvnitř návleku, s rozsahem a parametry měření podle tabulky 7 dle kapitoly 5.4. Jednotlivé testy proběhly v horizontální i vertikální polarizaci pokaždé v pěti měřeních. Výsledná data byla vložena do programu Excel a následně statisticky vyhodnocena pomocí

průměru, 95 % intervalu spolehlivosti a variability. Výsledná data byla shrnuta do tabulek pro horizontální a pro vertikální polarizaci antény (Příloha C).

Pro přehlednou interpretaci získaných dat byly vytvořeny spojnicové grafy pro horizontální (viz obrázek 28) a zvláště pro vertikální (viz obrázek 29) polarizaci antény. V grafech jsou použita data průměru pro všechny grafické řady a k jednotlivým bodům byly přidány chybové úsečky, které ukazují variabilitu dat. Pro přehlednost je každý graf vyobrazen v jiném měřítku svislé osy.



Obrázek 28 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickou a el. vodivou nití– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace)



Obrázek 29 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickou a el. vodivou nití– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace)

Výsledky a shrnutí

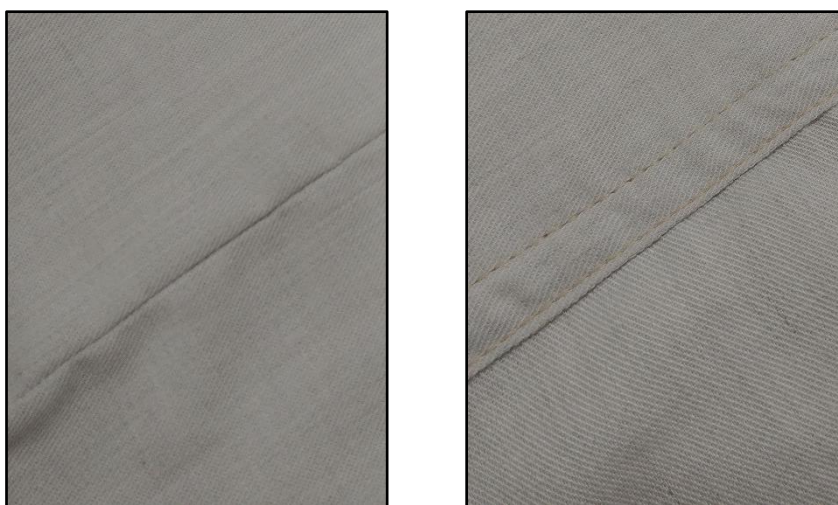
Ze získaných dat je patrné, že až na některé části frekvenčních pásem dochází k překrývání 95 % intervalů spolehlivosti. Viditelně nižších intenzit elektrického pole u elektricky vodivé nitě bylo naměřeno v horizontální polarizaci, což může mít za následek orientaci elektrické vlny k větší ploše krytu a otvorům od šicí jehly. Lze tedy uvést, že pro vyšší efektivitu stínění je jednoznačné používat slabých šicích jehel a elektricky vodivých nití. Pro další srovnávací testy byly na základě tohoto testu použity jen návleky z elektricky vodivé šicí nitě C-tech.

6.3 Vliv typu švu na celkovou stínící účinnost návleku

Podobně jako u vlivu typu šicí nitě byl prozkoumán také vliv použitého typu šicího švu.

Testování podle EMS

Samotné testování proběhlo na dvou typech návleků: T10KN s klasickým švem (obrázek 30a) a T10PN se švem přeplátovaným (obrázek 30b). Přehled vzorků je uveden v kapitole 5.1. U testovaných vzorků je použita elektricky nevodivá nit.

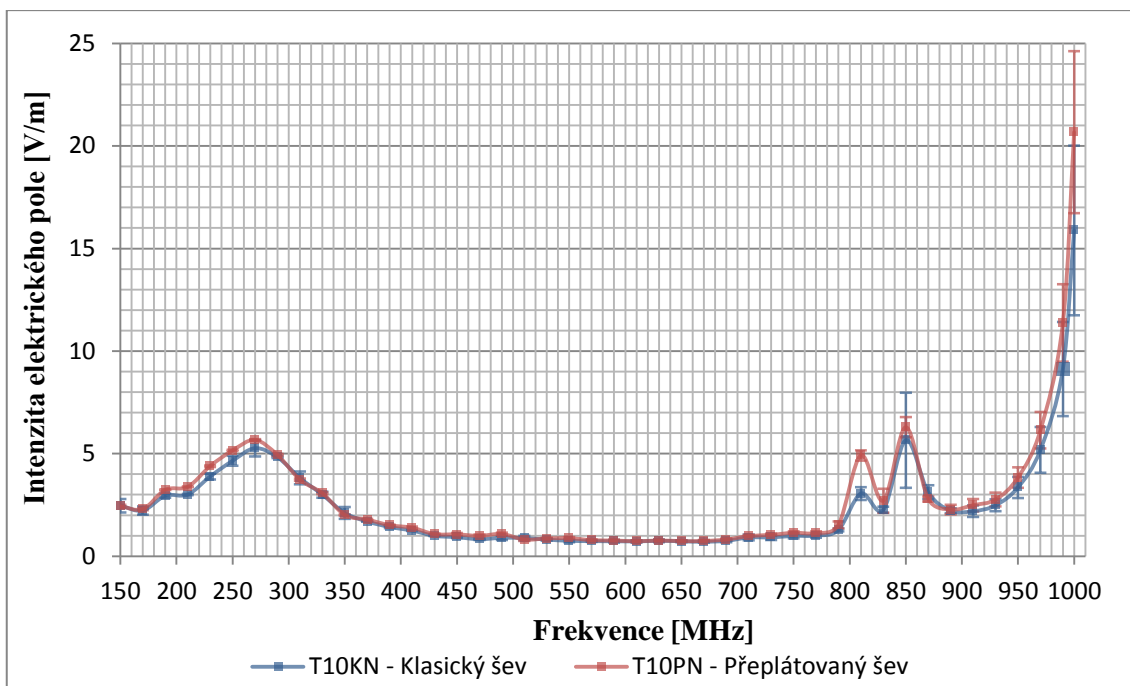


Obrázek 30 - a) T10KN – klasický šev, b) T10PN – přeplátovaný šev

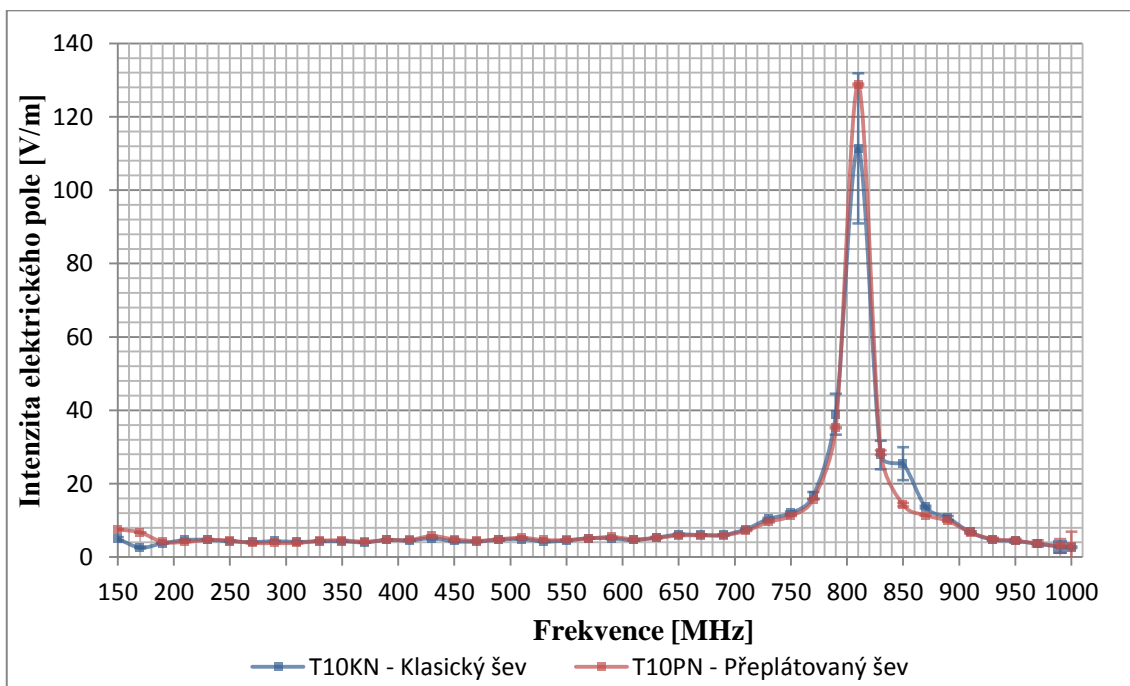
Měření proběhlo podle testů EMS blíže popsané v kapitole 5.4 s pozicí sondy (uprostřed návleku). K porovnání klasického a přeplátovaného švu bylo změřeno celkem pět měření se vzorkem T10KN s klasickým švem a pět měření s T10PN se švem přeplátovaným. K vyhodnocení byly použity výsledky naměřené sondou pole uvnitř návleku s rozsahem a parametry měření podle tabulky č. 7, dle kapitoly 5.4. Jednotlivé testy proběhly v horizontální i vertikální polarizaci pokaždé 5x. Výsledná data byla vložena do programu Excel a následně statisticky vyhodnocena pomocí průměru, 95 %

intervalu spolehlivosti a variability. Výsledná data byla shrnuta do tabulek pro oba typy polarizací antény a jsou v příloze C.

Pro přehled byly ze získaných dat vytvořeny spojnicové grafy pro horizontální (viz obrázek 31) a pro vertikální (viz obrázek 32) polarizaci antény. V grafech jsou použita data průměru pro všechny grafické řady a k jednotlivým bodům byly přidány chybové úsečky, které ukazují variabilitu dat. Pro přehlednost je každý graf vyobrazen v jiném měřítku svislé osy.



Obrázek 31 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickým a přeplátovaným švem– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace)



Obrázek 32 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickým a přeplátovaným švem– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace)

Výsledky a shrnutí

Ze získaných dat při zkoumání závislosti na typu švu je patrné, že až na frekvenci 810 MHz v horizontální polarizaci a frekvenci 850 MHz na vertikální polarizaci jsou téměř všechna data překrývána 95 % intervalem spolehlivosti. Lze tedy říci, že pro zvolený frekvenční rozsah nemá typ švu statistický vliv na stínící účinky krytu z elektricky vodivé textilie. Pro následující testy však pro zjednodušení byly použity návleky pouze s přeplátovaným švem.

6.4 Porovnání stínících materiálů

Upravení testů podle EMS

Na základě měření a následných vyhodnocení z kapitol č. 6.1 až 6.3, byly provedeny opětovné kalibrace s upraveným nastavením podle tabulky 8. Vzhledem k nově zvolenému velkému frekvenčnímu rozsahu byl upraven i krok měření na 3 % v logaritmickém měřítku, s tím také související i změna výsledných grafických zobrazení rovněž v logaritmickém měřítku. V celém frekvenčním rozsahu byla navíc zvýšena intenzita elektrického pole na 60 [V.m⁻¹].

Tabulka 8 - Parametry testu EMS po úpravě

Frekvenční rozsah	150MHz až 3,2GHz
Krok měření	Logaritmický 3%
Měřicí vzdálenost	1m
Doba záření na jeden krok	3s
Intenzita el. pole	60V/m
Doba jednoho měření	312s
Klimatické podmínky	22°C a 40-60% RH

Testování podle EMS (upravené)

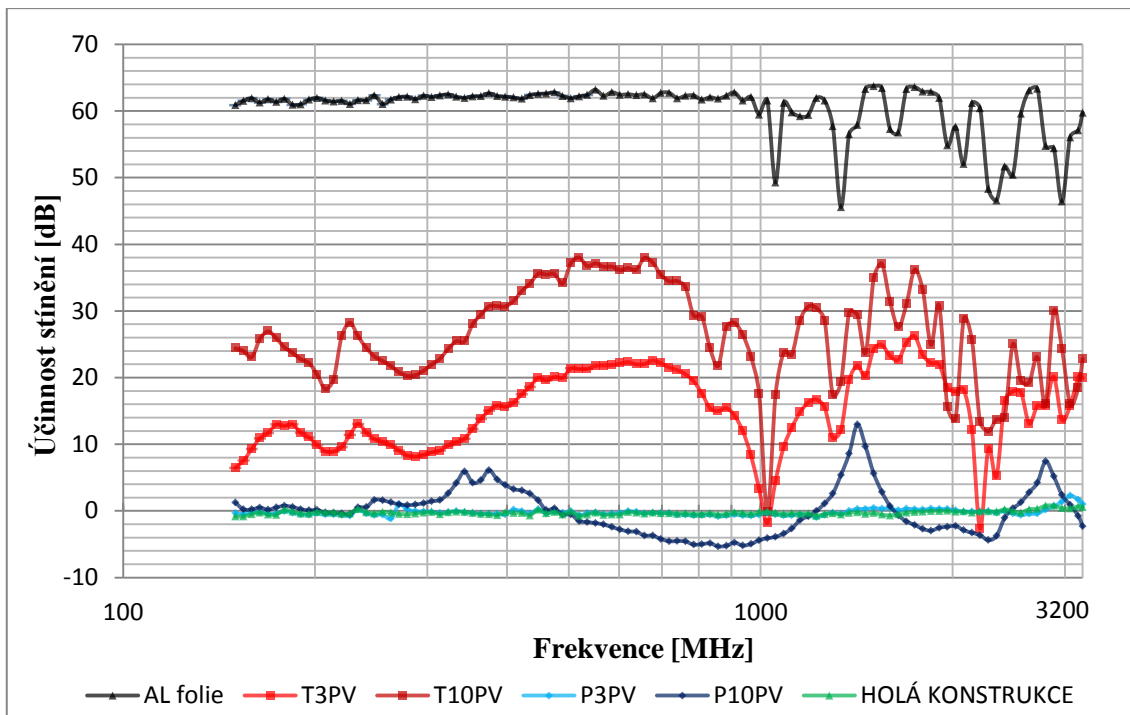
Po nově zkalibrované úloze pro testování EMS v programu EMC32, proběhlo několik dalších měření pro širší kmitočtový rozsah. Doposud byly testy vyhodnoceny pouze podle rozdílů hodnot intenzity elektrického pole v jednotkách [V.m⁻¹]. Pro zjištění účinnosti stínícího návleku je nutné provést výpočet podle vzorce (17) uvedeného v kapitole 2.6.1.

K celkovému porovnání návleků byly použity návleky jen s elektricky vodivou nití a přeplátovaným švem. Do měření byly zahrnuty návleky tkaných textilií T3PV, T10PV a zatím neměřené pleteniny P3PV, P10PV. Pro přehled byla změřena i samotná (holá) konstrukce a konstrukce obalená potravinářskou hliníkovou folií s tloušťkou 0,2 mm, jejíž hrany byly zalepeny lepicí hliníkovou páskou. Měření bylo provedeno vždy třikrát v horizontální i vertikální polarizaci a to pro všechny zkoumané typy návleků s uzemněným krytem. Data byla následně zprůměrována a vložena do tabulky v programu Excel, kde proběhl i výpočet stínící účinnosti SE podle vzorce:

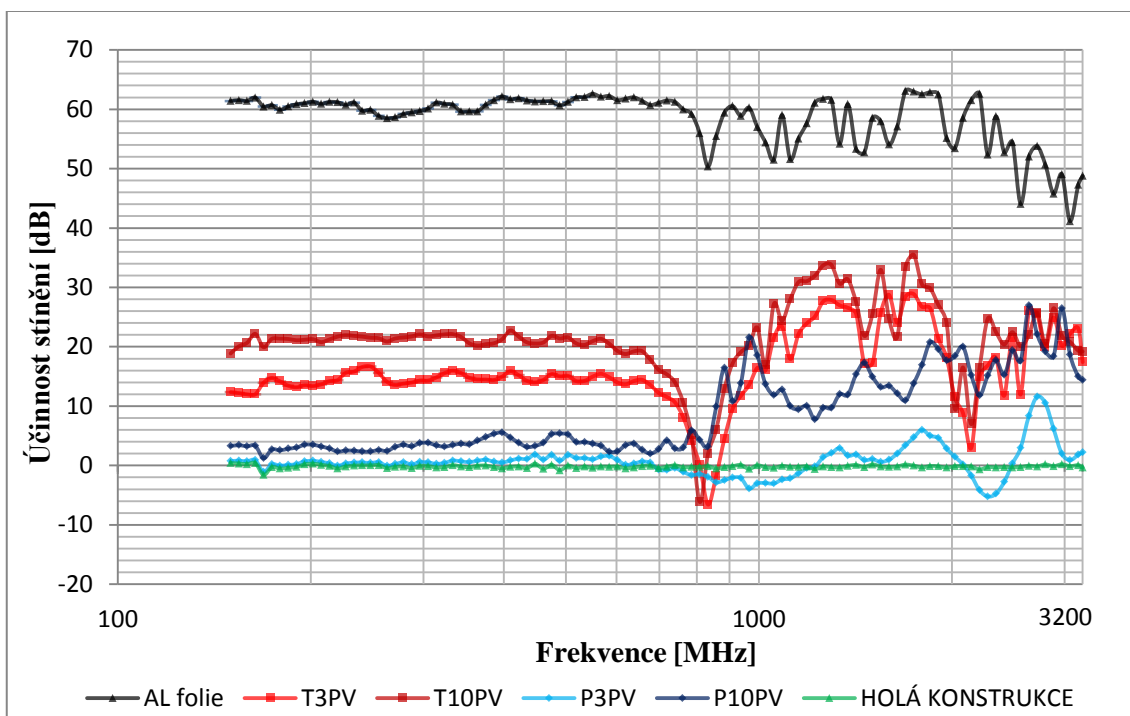
$$SE = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right|,$$

kde E_t ve $[V.m^{-1}]$ je hodnota intenzity pole ve zkoumaném prostoru a E_i ve $[V.m^{-1}]$, je pole dopadající na stínící přepážku (neboli pole ve stejném bodě bez stínící stěny) Výsledná jednotka pro stínící účinnost je dB . Získaná data jsou uvedena v příloze C.

Ze získaných dat uvedených v tabulce č. 15 bylo pro vytvořeno grafické zobrazení v logaritmickém měřítku pro horizontální polarizaci (viz obrázek 33) a pro vertikální polarizaci (viz obrázek 34). U grafického zobrazení je pro správné zobrazení zvolena počáteční hodnota 100, kde je vidět i neměřený úsek od 100 MHz do 150 MHz.



Obrázek 33 - Stínicí účinnost zkoumaných krytů v horizontální polarizaci



Obrázek 34 - Stínicí účinnost zkoumaných krytů ve vertikální polarizaci

Výsledky a shrnutí

Z výsledných dat u grafického zobrazení je možné pozorovat odlišné hodnoty stínění jak u typů stínících krytů, tak u zkoumané frekvence. Téměř ideální známky rovnoměrného stínění jsou zřetelné u vertikální polarizace v pásmu od 150 MHz do 700 MHz. Naopak u obou polarizací antény od 1 GHz výše je možné pozorovat nerovnoměrné úrovně stínění. Pro pleteniny P3PV a P10PV jsou v některých pásmech i záporné hodnoty stínění, které vznikly vlivem nežádoucích otvorů mezi jednotlivými úplety. U tkanin je možné T3PV a T10PV lze pozorovat hladinově posunutou úroveň stínění, která závisí na množství eklekticky vodivé složky. Konstrukce obalená v hliníkové fólii vykazovala nejvyšší stínící účinnost.

Měření byla provedena v celé šířce frekvenčního pásma, které umožňovala měřicí technika v laboratoři TÜV SÜD Czech s.r.o. Ze získaných dat lze předpokládat výsledný kód stínění (kapitola 2.7) jen z části a neúplně, z důvodů neměřeného úseku od 30 MHz do 150MHz. Lze tedy předpokládat EM kód EMXXX2XX u tkaniny T10PN a kód EMXXX1XX u tkaniny T3PN. Pro kryt z hliníkové fólie kód EMXXX5XX a obě zkoumané pleteniny kód EMXXX0XX.

6.5 Porovnání z hlediska vyzařování do okolí

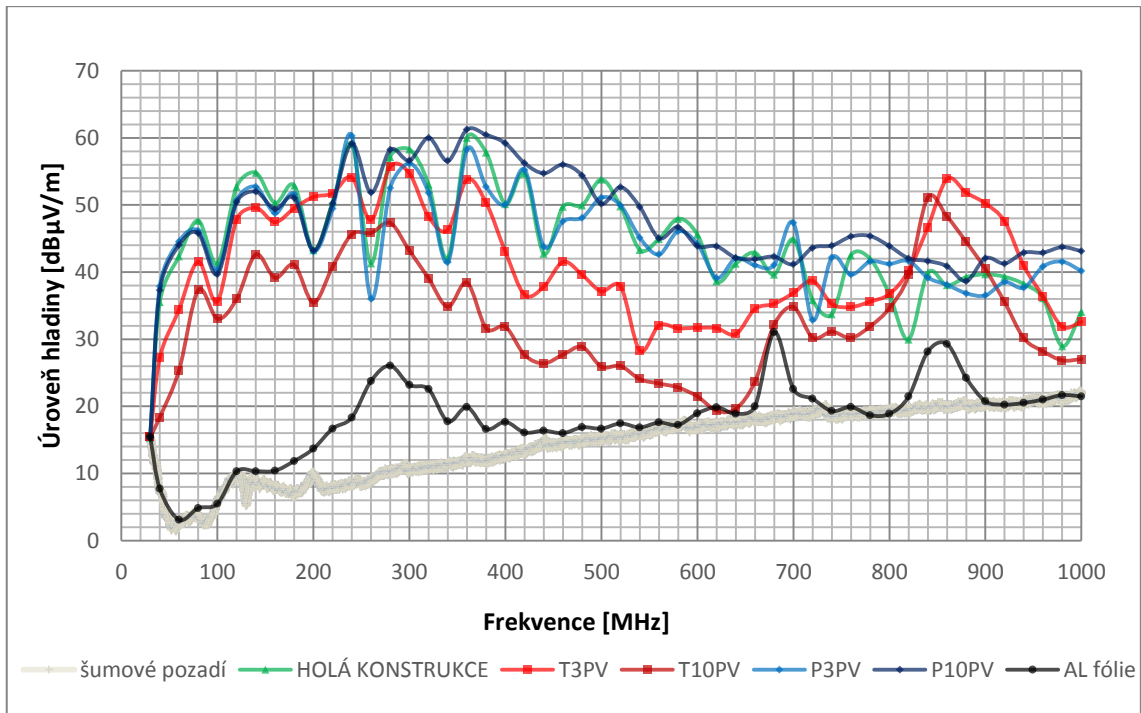
Tento typ testu je založený na porovnání stínících účinků zkoumaných ucelených krytů z hlediska vyzařování elektrického zařízení (generátor pulzů) uvnitř krytu skrz stínící kryt do jeho okolí.

Testování podle EMI

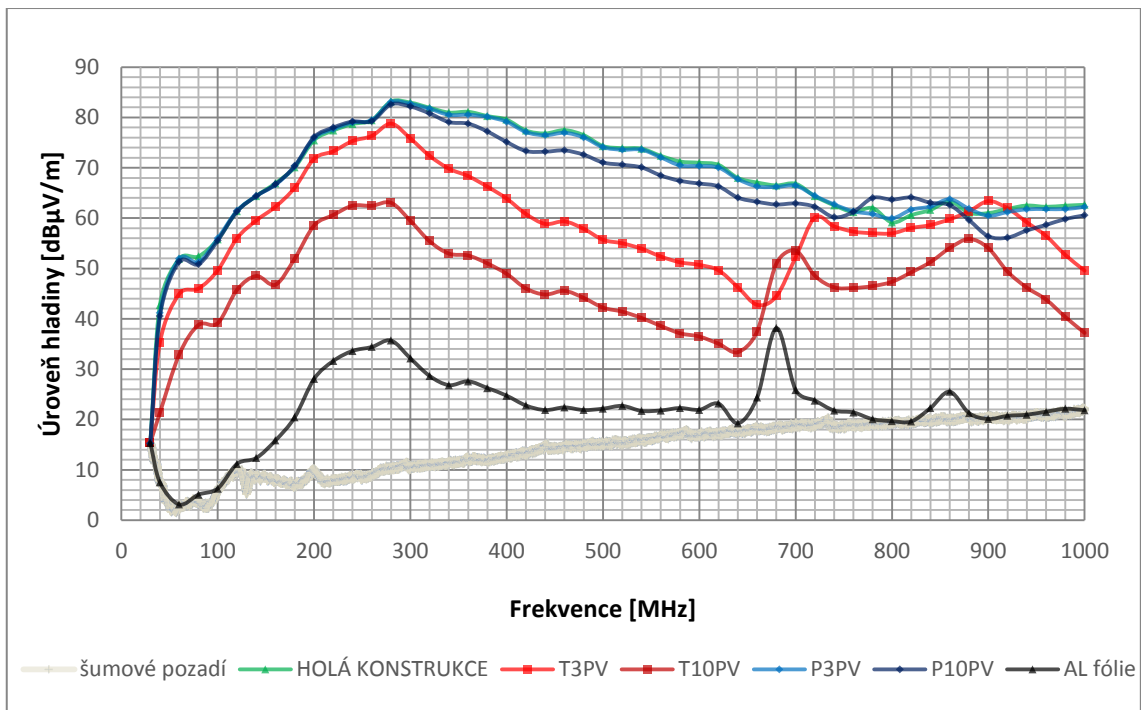
K porovnání v tomto testu byly použity stejné typy krytů jako u porovnávacího testu EMS. Do měření byly zahrnuty návleky tkaných textilií T3PV, T10PV, návleky z pletenin P3PV, P10PV, dále pak kryt s aluminiovou (hliníkovou) fólií s tloušťkou 0,2 mm a také samotná (holá) konstrukce.

Vzhledem k použité monopólové anténě na generátoru uvnitř konstrukce, která vysílá pulzy rovnoměrně do všech bočních stran, bylo vhodné otestovat kryt z těchto čtyř stran následně označených jako A, B, C, D. Testování tedy proběhlo u všech výše uvedených typů návleků z každé boční strany v horizontální i vertikální polarizaci a uzemněným krytem. Výsledná získaná data byla vložena do tabulky v programu Excel, z nichž byly následně vytvořeny spojnicové grafy, s předpokladem vyzařování i mezi kroky (10MHz) hřebenového generátoru. Do tabulek a grafického zobrazení bylo přidáno i šumové pozadí změřeného s vypnutým generátorem pulzů. Šumové pozadí tedy udává minimální hodnoty rušení. Data již zprůměrovaných hodnot měření ze stran A, B, C, D, jsou v příloze C.

Grafické porovnání spojnicových grafů v horizontální a vertikální polarizaci antény jsou na obrázku 35 a 36.



Obrázek 35 - Vyzařování zkoumaných krytů v horizontální polarizaci

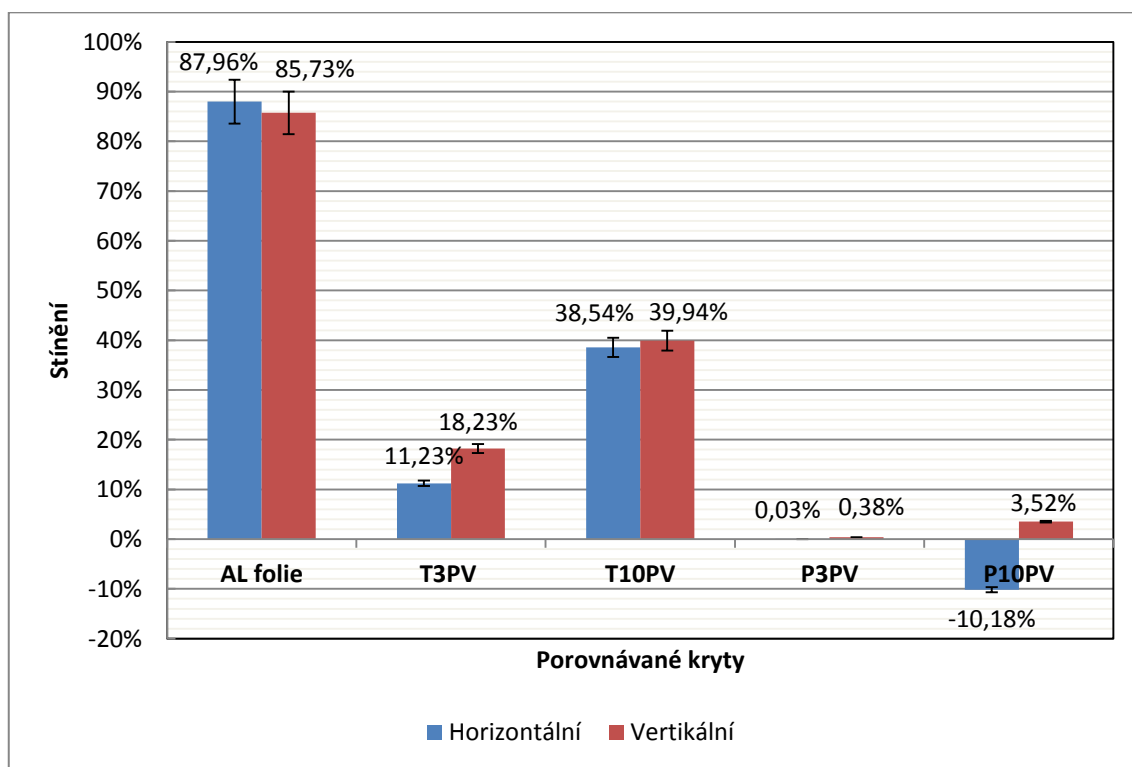


Obrázek 36 - Vyzařování zkoumaných krytů ve vertikální polarizaci

Výsledky a shrnutí

U obou polarizací viditelné poměry hladin stínění testovaných krytů, díky jejich vodivé složce a dalšími vlastnostmi materiálu. Rovnoměrnější zobrazení je vidět na vertikální polarizaci. U horizontální polarizace je možné naopak pozorovat různé rezonanční kmity, vzniklé samotným materiálem i rozměrem konstrukce.

Pro přehlednější procentuální porovnání byly za pomoci integrálního počtu vypočítány plochy mezi jednotlivými křivkami. Největší plochu tvoří poměr mezi holou konstrukcí a šumovým pozadím, kde je výsledné rušení maximální a stínící efekt naopak minimální, tedy 0 %. Po odečtení ploch pro jednotlivé typy stínění zvláště pro horizontální a vertikální polarizaci vznikl sloupcový graf, který je na obrázku 37. Byly přidány i chybové úsečky, které byly vypočítány z průměrné variability naměřených hodnot.



Obrázek 37 - Procentuální porovnání stínících krytů podle testu EMI

Ze sloupcových grafů jsou vidět rozdíly stínění mezi jednotlivými kryty, kde nejlépe vychází Al folie a následně tkanina T10PV. Pleteniny vykazují nevhodný typ stínění, kde u typu P10PV dochází dokonce k záporným hodnotám stínění, tedy rušení samotného stíněného zařízení, což je vidět i ve spojnicových grafech, kde hodnoty stínění P10PV přesahují hodnoty samotného generátoru v holé konstrukci.

6.6 Celkové vyhodnocení

Z provedených testů v uvedených v kapitole 6 je možné shrnout následující výsledky. Nejefektivnějšího stínícího efektu u testů založených na elektromagnetické susceptibilitě EMS a elektromagnetické interferenci EMI bylo dosaženo u krytu potaženého hliníkovou folií. U krytů s textilním povrchem nejlepšího stínění vykazoval kryt z tkané textilie T10PV, ve kterém je obsaženo 10 % vodivé složky. Podobně, avšak s nižším efektem stínění, byl vyhodnocen vzorek tkaniny T3PV s 3 % vodivé složky.

Z procentuálního vyhodnocení EMI testů bylo odstíněno za pomoci tkaniny T10PV necelých 40 % rušivých signálů a u tkaniny T3PV kolem 15 %, což lze vyhodnotit jako růst efektivity stínění s množstvím obsahu vodivé složky v textilií. U pletenin byla zjištěna minimální efektivita stínění a v některých frekvenčních pásmech se objevily i naopak zesilující účinky rušivých signálů. Pletenina P10PV s obsahem vodivé složky 10 % prokazovala v horizontální polarizaci antény -10 % efektivity stínění, což značí zesilující účinky pozorovatelné i v grafických závěrech měření. Pletenina P3PV měla nejnižší vliv na efektivitu stínění, ale v některých pásmech se opět projevoval zesilující efekt.

Rozdíl mezi tkaninami a pleteninami je hlavně ve struktuře a tedy i propojení elektricky vodivých vláken. Pleteniny obecně vykazují na rozdíl od tkanin jistou míru elasticity, která byla vnímána i při obepínání stínících návleků na konstrukci. Zesilující účinky a nízká hladina efektivity stínění úpletů se tak dají vysvětlit jako nedostatečně překrytá plocha vodivým materiálem. U otvorů různých velikostí, v roztažených očkách pletenin tak dochází k vyšším průnikům elektromagnetického pole a jeho nežádoucích odrazech.

Testování, které proběhlo v laboratoři EMC, bylo provedeno za účelem zkoumání chování jednotlivých typu krytů a jejich závislostí. Bylo zjištěno, že už samotný rozměr a tvar konstrukce má velký vliv na testované frekvenční pásmo. Každý kryt funguje jako dutinový rezonátor a je nutné s tímto efektem počítat. Dalším zjištěním bylo, že i pro konstrukci obalenou hliníkovou fólií není stále stínění ideální, což je dáno tloušťkou stínící stěny, která i s vysoce vodivými materiály má vliv na průchod elektromagnetických vln skrz přepážku. Z testování u tkaniny s označením T10 bylo dále zjištěno, že pro lepší výsledky stínících efektů je vhodné k ušití návleků používat elektricky vodivou nit a přeplátovaný šev. U návleků ušitých pro tuto práci byla zanedbána orientace textilií při šití stínících krytů, což vykazovala i vysoká variabilita u měření z různých stran konstrukce.

6.7 Možný další výzkum

Stínicí kryty jsou obecně vhodné pro odrušení nebo odstínění rušivých signálů elektronických a elektrických zařízení nejen v automobilovém průmyslu. Stínicí přepážky nebo celé kryty se dají používat pro celou řadu přístrojů. Každý přístroj má jiné vlastnosti, ať už jde o rozměry, charakteristiku vyzařování, nebo různé typy speciálních požadavků na nehořlavost nebo ventilaci.

Pro účely vodivých textilií by bylo vhodné rozdělit požadavky na přístroje a navrhnout tak systém stínění dle požadavků i se zohledněním nežádoucích rezonančních kmitočtů.

K efektivnějšímu testování ucelených krytů by bylo dále vhodné používat odrazivé komory a konstrukce s nižší relativní permitivitou. Šlo by tak o přesnější měření, kde elektromagnetické pole působí na kryt ze všech stran rovnoměrně a s minimálními vlivy materiálu konstrukce.

Elasticita u pletenin se v testech odrušení projevila negativně, ale pokud by se docílilo kvalitního úpletu, bylo by možné strečové a elastické materiály používat pro celou řadu aplikací například kabelových svazků.

Stínicí efekt hybridních textilií se může dále rozvíjet v oblasti stínících peněženek, krytů a ochranných návleků, nebo vnitřních stran kapes pro částečné nebo úplné stínění.

Závěr

Hlavní cílem diplomové práce bylo prostudovat elektricky vodivé textilie z hlediska EMC. Na základě vhodně zvolené metodiky měření bylo zkoumáno stínění hybridních tkanin a pletenin s různými obsahy elektricky vodivé složky.

V rešeršní části této práce byla prostudována jednotlivá témata týkající se elektricky vodivých textilií, problematika EMC a fyzikální principy stínění elektromagnetického pole. Dále byly prostudovány metodiky měření ucelených krytů a možnosti testování krytů vyrobených z textilního materiálu.

Experimentální část práce se věnuje návrhu a zhotovení konstrukce pro navlékání zkoumaných textilií. Samotný experiment je založen na popsání testovacích metodikách v souladu se standardem CISPR25 a následném testování zkoumající efektivitu stínění a působení elektromagnetických vln z vnitřní i vnější strany stínícího boxu.

Zadání diplomové práce se podařilo splnit. Ukázalo se, že velmi důležitá je metodika jak pro měření elektromagnetické susceptibility EMS, tak pro elektromagnetické interference EMI. Nejlepších výsledků efektivitu stínění bylo docíleno konstrukcí z tkané textilie s obsahem 10 % nerez ocelových vláken. Tato tkanina odstínila elektromagnetické pole až o 30 dB, což umožňuje její použití v mnoha aplikacích. U pletenin z nerez ocelových vláken se odrušení projevilo negativně a na některých frekvencích byly zaznamenány i zesilující účinky.

Vzhledem k výsledkům měření bylo možné dále pozorovat vliv polarizace elektromagnetického pole při použití různých typů švů a nití na výsledné vlastnosti stínících krytů. V rámci závěrečného testování byly textilie a metodiky měření hodnoceny pro jejich další možné využití a následný vývoj nejen v textilním průmyslu.

Použitá literatura

- [1] Svačina, J.: *Elektromagnetická kompatibilita*, ústav radioelektroniky. VUT Brno. 2002.
- [2] Kan Lai, Run-Jun Sun, Mei-Yu Chen, Hui Wu and An-Xia Zha. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Fabrics with Metallized Polyester Filaments. *Textile Research Journal* 2007, 77(4): 242.
- [3] Ching-Iuan Su and Jin-Tsair Chern. Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Textile Research Journal* 2004. 74(1): 51.
- [4] Ilker Mistik, S., Sancak E., Usta I.; E. Dilara Koçak; Mehmet Akalin. Investigation of electromagnetic shielding properties of boron and carbon fibre woven fabrics and their Polymer Composites. *Textiles & Fashion* 2012.
- [5] Šafářová, V.: *Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu*. disertační práce. TUL. 2014.
- [6] Ripka, P., Ďaďo, S., Kreidl, M., Novák, J.: *Senzory* (opr. dotisk). Skripta ČVUT FEL, Praha 2007, ISBN 80-0- -03123-3.
- [7] Vlček, J.: *Základy elektrotechniky*. BEN Praha. ISBN 8594011421562
- [8] Kaňuch, J., Kováč. D, Kováčová, I.: *EMC z hlediska teorie a aplikace*. BEN Praha. ISBN 80-7300-202-7. 2006
- [9] Slouka, F.: *Hodnocení účinnosti konstrukce stínících krytů pro účely EMC*. diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2008.
- [10] ČSN EN 61000-5-7. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 5-7.: Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů – Stupně ochrany kryty proti elektromagnetickým rušením (EM kód)*. Praha: Český normalizační institut 2001.
- [11] IEEE Std 299.1 TM-2013.: *Standard method for measuring the shielding effectiveness of enclosures and boxes having all dimensions between 0.1 m and 2 m*. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997.
- [12] Haňka, L.: *Teorie elektromagnetického pole*. SNTL/ALFA, 1982.
- [13] Militký, J., Křemenáková, D.: *Textilní vlákna: Klasická a speciální*. TUL, Zář 2002.
- [14] Myslík, J.: *Elektromagnetické Pole*. BEN Praha. ISBN 9788086056432. 2002.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí.....	13
Obrázek 2 - Základní členění problematiky EMC.....	13
Obrázek 3 - Složky rovinné vlny	21
Obrázek 4 - Spektrum elektromagnetického záření.....	22
Obrázek 5 - Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny [1]	25
Obrázek 6 - Mnohonásobné odrazy na vstupu a výstupu stínící kovové přepážky [1] ..	27
Obrázek 7 - Závislost jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce $t = 1\text{mm}$ na frekvenčním průběhu	28
Obrázek 8 - Příklady realizace stínícího krytu elektrotechnického zařízení a) s úplným stíněním; b) s částečným stíněním; c) s nežádoucími otvory [8].....	29
Obrázek 9 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle ČSN EN 61000-5-7 (vertikální polarizace antény) převzato z [10]	32
Obrázek 10 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle ČSN EN 61000-5-7 (horizontální polarizace antény) převzato z [10]	33
Obrázek 11 - Základní uspořádání pro testování odolnosti malého krytu podle IEEE Std 299.1 TM-2013 [11]	34
Obrázek 12 - Rozdělení materiálů podle elektrické vodivosti.....	36
Obrázek 13 - Konstrukce z 3D tisku.....	43
Obrázek 14 - Model držáku sondy v programu Autodesk Inventor Professional 2017 .	43
Obrázek 15 - Sestavení konstrukce ze stavebnice SEVA a 3D výtisku držáku sondy ...	44
Obrázek 16 - První návlek bez nerez ocelových vláken	46
Obrázek 17 - První návlek vyrobený z materiálu T10.....	47
Obrázek 18 - Uspořádání testu při zkouškách EMI.....	50
Obrázek 19 - Nastavení hřebenového generátoru	51
Obrázek 20 - Uspořádání testu při zkouškách EMI – horizontální polarizace antény ...	52
Obrázek 21 - Uspořádání testu při zkouškách EMI – vertikální polarizace antény.....	52
Obrázek 22 - Uspořádání testu při zkouškách EMS – horizontální polarizace antény...	54
Obrázek 23 - Uspořádání testu při zkouškách EMS – vertikální polarizace antény.....	54

Obrázek 24 - Umístění sondy ve třech měřených pozicích uvnitř konstrukce	55
Obrázek 25 - Porovnání intenzity el. pole u návleku T10PN v různých pozicích sondy - zobrazeny hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace).....	57
Obrázek 26 - Porovnání intenzity el. pole u návleku T10PN v různých pozicích sondy - zobrazeny hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace).....	57
Obrázek 27 - a) T10PN - klasická nit, b) T10PV - vodivá nit.....	59
Obrázek 28 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickou a el. vodivou nití– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace)	61
Obrázek 29 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickou a el. vodivou nití– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace)	61
Obrázek 30 - a) T10KN – klasický šev, b) T10PN – přeplátovaný šev	62
Obrázek 31 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickým a přeplátovaným švem– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (horizontální polarizace).....	64
Obrázek 32 - Porovnání intenzity el. pole u návleku s klasickým a přeplátovaným švem– zobrazeny průměrné hodnoty a 95 % IS (vertikální polarizace).....	64
Obrázek 33 - Stínící účinnost zkoumaných krytů v horizontální polarizaci.....	67
Obrázek 34 - Stínící účinnost zkoumaných krytů ve vertikální polarizaci.....	67
Obrázek 35 - Vyzařování zkoumaných krytů v horizontální polarizaci.....	69
Obrázek 36 - Vyzařování zkoumaných krytů ve vertikální polarizaci	69
Obrázek 37 - Procentuální porovnání stínících krytů podle testu EMI	70

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Stínící účinnosti v [dB] a její slovní ohodnocení [9].....	30
Tabulka 2 - EM kódy, převzato z [10].....	31
Tabulka 3 - Parametry studovaných textilií.....	45
Tabulka 4 - Označení a parametry stínících návleků.....	48
Tabulka 5 - Použitá měřicí a zkušební zařízení.....	49
Tabulka 6 - Parametry testu EMI.....	51
Tabulka 7 - Parametry testu EMS.....	53
Tabulka 8 - Parametry testu EMS po úpravě.....	65

Seznam použitých symbolů a zkratek

EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMI	elektromagnetická interference
EMS	elektromagnetická susceptibilita (odolnost)
CISPR	mezinárodní zvláštní výbor pro rozhlasové poruchy
ČSN	Česká státní norma
IEEE	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
VF	vysoká frekvence (vysokofrekvenční)
AM	amplitudová modulace
FM	frekvenční modulace
tzv.	takzvaně
F	vektor síly [N]
E	vektor intenzity elektrického pole [$V \cdot m^{-1}$]
H	vektor intenzity magnetického pole [$A \cdot m^{-1}$]
B	vektor magnetického indukce [T]
D	vektor elektrické indukce [$C \cdot m^{-2}$]
Q	elektrický náboj [C]
Δ	diferenciální operátor divergence
t	čas [s]
R	měrný elektrický odpor [Ω]
Z	elektrická impedance [Ω]
I	elektrický proud [A]
Ψ	posuvný proud [A]
U	elektrické napětí [V]
T	Teplota [$^{\circ}C$]
ρ	měrná elektrická rezistivita [$\Omega \cdot m$]
l	délka vodiče [m]
S	plocha vodiče [m^2]

σ	měrná elektrická vodivost [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]
f	frekvence [Hz]
f_r	rezonanční frekvence [Hz]
λ	vlnová délka [m]
ω	úhlová frekvence [rad/s]
K	koeficient stínění
SE	efektivita stínění [dB]
ε_0	permitivita vakua [F/m]
ε_r	relativní permitivita [-]
μ_0	permeabilita vakua [H/m]
μ_r	relativní permeabilita [-]
a, b, c	rozměry vnitřního prostoru krytu [m]

Seznam příloh

Příloha A Materiálové listy stavebnice SEVA

Příloha B Materiálový list tkaniny T10

Příloha C Tabulky s naměřenými daty

Materiálový list

Synthos PS HI 336M

Polystyren

Datum vydání: Duben 2012

Vydání: 1

Schválil: Ing. František Svoboda

Předchozí verze tohoto dokumentu je neplatná.

1. CHARAKTERISTIKA A POUŽITÍ

Houževnaté polystyreny mají chráněnou obchodní značku SYNTHOS PS HI, za níž následuje číselné a písmenné označení typu výrobku.

SYNTHOS PS HI 336M je vhodný pro vstřikování tvarově náročných a tenkostěnných výrobků s možností dosažení vysokého výkonu při zpracování. Složení polymeru splňuje požadavky na zdravotní nezávadnost a lze jej proto používat pro výrobu předmětů přicházejících do styku s potravinami.

Houževnatý polystyren SYNTHOS PS HI 336M, jako všechny ostatní nepolární polymery, není odolný vůči nepolárním rozpouštědlům, není odolný například vůči esterům organických kyselin a ketonům a rozpouští se v aromatických a chlorovaných uhlovodících. Není určen pro aplikace vystavené dlouhodobě vlivu povětrnosti.

Neobsahuje zjevné nečistoty ani jinobarevné granule.

SYNTHOS PS HI 336M má velmi dobré elektroizolační vlastnosti a chová se jako dielektrikum.

2. OZNAČOVÁNÍ

Označování vychází z tradičního obchodního značení založeného na trojmístném číselném kódu, doplněného písmenem. Číselný typový kód charakterizuje houževnatost, teplotu měknutí podle Vicata a index toku taveniny. Barevné odstíny se označují čtyřmístným číselným kódem, který je umístěn za typovým označením. Původní písmeno typového označení je nahrazeno označením „C“.

3. BALENÍ, DOPRAVA A SKLADOVÁNÍ

SYNTHOS PS HI 336M se obvykle dodává v autocisternách nebo v polyethylenových pytlích o obsahu netto (25 ± 0,2) kg, které se ukládají na palety a jsou fixovány PE fólií nebo v obalech typu „oktabin“ o hmotnosti 1100 kg.

Na obalech jsou uvedeny tyto údaje: výrobce (SYNTHOS Kralupy, a.s.), SYNTHOS PS HI, typ, číslo barevného odstínu, číslo výrobní série, hmotnost, kód plnění.

Pro přepravu se používají kryté dopravní prostředky silniční a železniční přepravy. Na přepravu se vztahují ustanovení železničního a silničního přepravního řádu.

SYNTHOS PS HI 336M není nebezpečnou látkou pro přepravu podle: ADR, RID, ANDR, IMDG, ICAO, IATA a UN.

Ke každé zásilce je vystavován atest, kde jsou uvedeny parametry výrobku, ověřené podle požadavků této normy nebo podle specifikace v kupní smlouvě ve zkušebních laboratořích výrobce. Jiná forma balení a přepravy (např. Big-Bag), je možná podle dohody a specifikace v kupní smlouvě.

SYNTHOS PS HI 336M se skladuje v přepravních obalech nebo volně v uzavřených zásobnících (silech). Doporučuje se skladovat v suchých větraných zastřešených skladech, kde je skladovaný materiál chráněn před přímými účinky povětrnostních vlivů. SYNTHOS PS HI 336M zabalený v PE pytlích, které jsou uloženy na paletách lze skladovat i v nezastřešených prostorách. Skladování za těchto podmínek nemá vliv na kvalitu skladovaného materiálu, zhoršuje se však kvalita obalů (PE fólie) a čistota vnějšího povrchu obalů. Z tohoto důvodu výrobce skladování v nezastřešených prostorách nedoporučuje. V nezastřešených skladech není povoleno skladovat materiál v obalech typu oktabin, které nejsou odolné proti vlivu povětrnosti.

Při dodržení podmínek skladování v neporušených obalech je záruční doba 1 rok ode dne vystavení atestu.

4. ZPRACOVÁNÍ A RECYKLACE

Pro zpracování polystyrenu SYNTHOS PS HI 336 vstřikováním je doporučována teplota taveniny v rozmezí 180 až 260 °C, teplota formy 10 až 60 °C. Při zpracování vytlačováním je doporučováno rozmezí teplot taveniny 200 až 240 °C. Při teplotě taveniny nad 280 °C hrozí degradace materiálu. Optimální nastavení pro konkrétní případy vstřikování musí vycházet z jednotlivých aplikací a strojního vybavení. K základnímu materiálu lze přidávat regenerát nebo regranulát z uvedeného materiálu. Přídavek regenerátu nebo regranulátu však v závislosti na jeho kvalitě a množství může ovlivnit výsledné vlastnosti výrobku.

5. OCHRANA ZDRAVÍ, POŽÁRNÍ RIZIKA A STABILITA, OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, LIKVIDACE ODPADU

Informace jsou uvedeny v bezpečnostním listu „SYNTHOS PS HI - houževnatý PS“.

6. TECHNICKÉ PARAMETRY

Tabulka 1: Základní parametry – SYNTHOS PS HI 336M

Vlastnost	Norma/Metoda	Jednotka	Specifikační rozmezí	Typická hodnota	Poznámka
Index toku taveniny	ČSN EN ISO 1133/H	g/10 min	10 – 15	11 – 13	200 °C; 5 kg
Rázová houževnatost Charpy	ČSN EN ISO 179/1eU	kJ/m ²	min. 50	70	23 °C
Vrubová houževnatost Charpy	ČSN EN ISO 179/1eA	kJ/m ²	min. 4	5	23 °C
Teplota měknutí dle Vicata	ČSN EN ISO 306/B50	°C	min. 81	82	50 N; 50 °C/h
Obsah zbytkového styrenu	Q34.08P032	% hm.	max. 0,035	0,025	Interní metoda

Tabulka 2: Základní parametry – SYNTHOS PS HI 336C

Vlastnost	Norma/Metoda	Jednotka	Specifikační rozmezí	Typická hodnota	Poznámka
Index toku taveniny	ČSN EN ISO 1133/H	g/10 min	10 – 15	11 – 13	200 °C; 5 kg
Rázová houževnatost Charpy	ČSN EN ISO 179/1eU	kJ/m ²	min. 40	70	23 °C
Vrubová houževnatost Charpy	ČSN EN ISO 179/1eA	kJ/m ²	min. 4	5	23 °C
Teplota měknutí dle Vicata	ČSN EN ISO 306/B50	°C	min. 80	82	50 N; 50 °C/h

Tabulka 3: Elektrické vlastnosti a hořlavost

Vlastnost	Norma/Metoda	Jednotka	Synthos PS HI 336M		Poznámka
			Min	Max	
Elektrická pevnost	ČSN EN 60 243-1	kV/mm	14 / 50	-	3 mm / 0,5 mm; Trafoolej
Odolnost proti elektrickému oblouku	ČSN EN 61621	s	70	-	-
Odolnost proti plazivým proudům	ČSN EN 60112	V	300	-	Zkušební roztok A; CTI
Vnitřní rezistivita	ČSN IEC 93	Ω.m	10 ¹⁴	-	U = 500 V
Povrchová rezistivita	ČSN IEC 93	Ω	5.10 ¹⁴	-	U = 500 V
Ztrátový činitel	ČSN IEC 250	-	-	10 ⁻³	U = 500 V; f = 50 Hz
Relativní permitivita	ČSN IEC 250	-	-	3	U = 500 V; f = 50 Hz
Zkouška žhovou smyčkou	ČSN EN 60695-2-10/13	°C	-	650	-
Hořlavost	UL 94	třída	HB		1,6 mm; Zkoušeno v EZÚ Praha

SYNTHOS PS HI 552M

Houževnatý polystyren- HIPS

Technický list

Datum vydání: 1.4. 2012

Vydání: 1

Schválil: Produktový manažer - Ing. František Svoboda

Předchozí verze tohoto dokumentu je neplatná.

CHARAKTERISTIKA PRODUKTU

SYNTHOS PS HI 552M je houževnatý polystyren (HIPS) s vyváženou kombinací reologických, mechanických a tepelných vlastností, vhodný pro široké aplikační použití. Je to termoplastický materiál, který se zpracovává vstřikováním a vytlačováním.

Materiál má formu čoučkového granulátu o průměru 2,5 až 4 mm.

OBECNÉ POŽADAVKY

Výrobek může obsahovat malé množství granulátu nepravidelných tvarů, než jak je uvedeno výše.

Přítomnost mechanických nečistot v granulátu není povolena. SYNTHOS PS HI 552M je neprůhledný plast.

TECHNICKÉ PARAMETRY A PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ

Parametry	Jednotka	Typická hodnota	Norma/Metoda	Poznámka
Index toku taveniny	g/10 min	9 – 10	ISO 1133/H	200 °C; 5 kg
Rázová houževnatost Charpy	kJ/m ²	120	ISO 179/1eU	23 °C
Vrubová houževnatost Charpy	kJ/m ²	9	ISO 179/1eA	23 °C
Teplota měknutí dle Vicata	°C	88	ISO 306/B50	50 °C/h; 50 N
Obsah zbytkového styrenu	% hm.	0,025	interní	-
Hořlavost ¹⁾	trída	HB	UL 94	1,6 mm
Výrobní směršení	%	0,3 – 0,6	interní	-
Podmínky zpracování				
Teplota/Doba sušení ²⁾	°C/h	70 / 2 - 4	-	horkovzdušná sušárna
	°C/h	80 / 1	-	sušárna s molekulovým sítem
Vstřikování: teplota taveniny	°C	180 - 260	-	-
Vstřikování: teplota formy	°C	10 – 60	-	-
Vytlačování: teplota taveniny	°C	200 - 240	-	-

1) Testoval Elektrotechnický zkušební ústav, Praha, Česká republika.

2) Pro výrobky s vysokou jakostí povrchu.

Garantované hodnoty příslušných technických parametrů výrobku jsou vždy dohodnuty v kupní smlouvě.

Ke každé zásilce je vydán certifikát jakosti s údaji o vlastnostech výrobku stanovených při výstupní kontrole. Rozsah testovaných parametrů výrobku, který se vztahuje k certifikátu jakosti je vždy dohodnut v kupní smlouvě.

Synthos Kralupy a.s., O. Wichterleho 810, 278 01 Kralupy n. Vltavou,
tel. +420 315 711 111, fax +420 315 723 566
www.synthosgroup.com

synthos
PS

BALENÍ

SYNTHOS PS HI 552M se obvykle dodává v autocisternách nebo v polyethylenových pytlích o obsahu netto (25 ± 0,2) kg, které se ukládají na dřevěné palety a jsou fixovány PE fólií nebo v obalech typu „oktabin“ o hmotnosti 1100 kg. Jiná forma balení a přepravy (např. Big-Bag), je možná podle dohody a specifikace v kupní smlouvě. Na obalech jsou uvedeny tyto údaje: jméno výrobce, název produktu a číslo typu, číslo barevného odstínu, číslo výrobní série, hmotnost, kód plnění.

V případě, že je produkt přepravován volně ložený je výše zmíněná informace uvedena v certifikátu jakosti a také v prodejních dokladech.

DOPRAVA

Pro přepravu se používají kryté dopravní prostředky silniční a železniční přepravy. Výrobce není odpovědný za čistotu vlastních transportních obalů zákazníka. Na přepravu se vztahují ustanovení železničního a silničního přepravního řádu.

SYNTHOS PS HI 552M není nebezpečnou látkou pro přepravu podle: ADR, RID, ANDR, IMDG, ICAO, IATA a UN.

SYNTHOS PS HI 552M se nesmí dopravovat spolu s organickými rozpouštědly.

Ke každé zásilce je vystavován certifikát jakosti, kde jsou uvedeny parametry výrobku, ověřené podle požadavku interní normy (materiálové specifikace) ve zkušebních laboratořích výrobce.

SKLADOVÁNÍ

SYNTHOS PS HI 552M se skladuje v originálních přepravních obalech nebo volně v uzavřených zásobnících (silech). Doporučuje se skladovat v suchých větraných zastřešených skladech, kde je skladovaný materiál chráněn před přímými účinky povětrnostních vlivů.

SYNTHOS PS HI 552M zabalený v PE pytlích, které jsou uloženy na paletách lze skladovat i v nezastřešených prostorách. Skladování za těchto podmínek nemá vliv na kvalitu skladovaného materiálu, zhoršuje se však kvalita obalu (PE fólie) a čistota vnitřního povrchu obalu. Z tohoto důvodu výrobce skladování v nezastřešených prostorách nedoporučuje. V nezastřešených prostorách není povoleno skladovat produkt v obalech typu oktabin, které nejsou odolné proti vlivu povětrnosti. Oktabiny s produktem se nesmí stohovat.

SYNTHOS PS HI 552M se nesmí skladovat spolu s organickými rozpouštědly.

Při dodržení podmínek skladování v neporušených obalech je záruční doba 1 rok ode dne vystavení certifikátu jakosti.

POUŽITÍ

Vstříkovaním se vyrábí spotřební zboží a technické díly, které jsou vystaveny vyššímu mechanickému namáhání. Dobré výsledky jsou dosahovány i při vytlačování profilů.

Složení polymeru splňuje požadavky na zdravotní nezávadnost a lze jej proto používat pro výrobu předmětů přicházejících do styku s potravinami.

Tento doklad má informační charakter. Informace obsažené v tomto listě odpovídají našim současným znalostem a zkušenostem. Výrobek je nutno přepravovat, skladovat a používat dle platných předpisů a správnou práci ohledně hygieny práce.

Využití uvedených informací, jakož i způsob použití výrobku, nejsou kontrolovány výrobcem, a proto stanovení bezpečnostních podmínek při použití výrobku je povinností uživatele.

Synthos Kralupy a.s., O. Wichterleho 810, 278 01 Kralupy n. Vltavou,
tel. +420 315 711 111, fax +420 315 723 566
www.synthosgroup.com

synthos
PS

Příloha B – Materiálový list tkaniny T10



AKČIOVÁ SPOLEČNOST

MATERIÁLOVÝ LIST

Druh: **BOJAN**

Antistatická tkanina pro stínění elektromagnetických polí

Materiálové složení: **59 % polyester / 31 % bavlna / 10 % kov**

Použití: **Pracovní a ochranné oblečení**

UKAZATEL	JEDNOTKA	HODNOTA	ZKUŠEBNÍ METODA	
Šíře	m cm	1,50 ± 2	ČSN EN 1773 ČSN 80 3014	
Dostava	osnova útek	cm ⁻¹	39 ± 3% 22 ± 3%	ČSN EN 1049-2
Vazba		kepr 2/1	ČSN 80 0020	
Plošná hmotnost	g.m ⁻²	190	ČSN EN 12127	
Pevnost v tahu	osnova útek	N	1000 500	ČSN EN 13934-1
Povrchový měrný odpor	Ω	10 ⁴	ČSN EN 1149-1	
Stínící účinnost při frekvencích 0,5 - 1,5 GHz	dB	25 - 30	ASTDM 4935-99	
Změna rozměrů praním 60°C	osnova útek	%	-3 -2	ČSN EN 25077 ČSN EN ISO 3759 ČSN EN 26330

Symbyly ošetřování:



Schválil: **Ing. Jiří Procházka**
Ředitel pro výzkum a vývoj
Datum: **02. 03. 2015**

SINTEX, a.s.
Moravská 1078
Česká Třebová
CZ-560 02

Tel.: +420 465 569 960
Fax: +420 465 532 175
info@sintex.cz
www.sintex.cz

Česká společnost, a.s.
z.ú./CZÚ: 1321898389/0600
IČ: 25298496
DIČ: CZ659000748

Společnost je zapsána
u Krajského soudu
v Hradci Králové
oddíl B, vložka 1856

Wirobní závod: Heydukova 396, C6639 73 Skuteč • T: +420 469 350 450 • F: +420 469 350 450



Příloha C - Tabulky s naměřenými daty

Homogenita intenzity elektrického pole s horizontální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]								
	Pozice 1			Pozice 2			Pozice 3		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	5,34E+00	5,30E-02	0,88%	2,44E+00	7,06E-02	3,31%	7,16E+00	1,26E-01	1,56%
170	4,35E+00	4,60E-02	0,93%	2,30E+00	5,06E-02	2,51%	4,45E+00	1,14E-01	2,27%
190	4,20E+00	2,49E-02	0,52%	3,24E+00	1,80E-02	0,63%	4,61E+00	8,03E-03	0,15%
210	4,49E+00	5,82E-02	1,14%	3,38E+00	1,73E-02	0,58%	4,64E+00	2,31E-02	0,44%
230	5,43E+00	4,77E-02	0,78%	4,39E+00	4,13E-02	1,07%	5,38E+00	1,73E-02	0,28%
250	6,07E+00	2,50E-02	0,36%	5,16E+00	2,99E-02	0,66%	6,17E+00	3,79E-02	0,54%
270	6,52E+00	4,75E-02	0,64%	5,67E+00	3,42E-02	0,69%	6,58E+00	1,03E-02	0,14%
290	5,55E+00	4,45E-02	0,71%	4,94E+00	4,83E-02	1,11%	6,06E+00	2,47E-02	0,36%
310	4,07E+00	3,20E-02	0,69%	3,73E+00	5,17E-02	1,58%	4,90E+00	2,59E-02	0,47%
330	3,49E+00	7,74E-02	1,96%	3,07E+00	4,32E-02	1,61%	4,14E+00	7,61E-02	1,62%
350	2,41E+00	7,58E-02	2,78%	2,01E+00	2,90E-02	1,64%	3,22E+00	3,87E-02	1,06%
370	1,93E+00	2,49E-02	1,14%	1,79E+00	3,81E-02	2,43%	2,94E+00	1,19E-02	0,36%
390	1,79E+00	5,32E-02	2,62%	1,52E+00	3,08E-02	2,32%	2,70E+00	2,35E-02	0,77%
410	1,61E+00	6,11E-02	3,36%	1,39E+00	6,02E-02	4,95%	2,99E+00	2,46E-02	0,73%
430	1,63E+00	7,16E-02	3,89%	1,08E+00	1,79E-02	1,89%	2,07E+00	3,32E-02	1,41%
450	1,40E+00	7,39E-02	4,66%	1,07E+00	7,56E-02	8,08%	2,70E+00	2,42E-02	0,79%
470	1,32E+00	6,94E-02	4,63%	9,95E-01	6,54E-02	7,49%	2,44E+00	2,26E-03	0,08%
490	1,15E+00	6,48E-02	5,00%	1,09E+00	7,12E-02	7,48%	2,48E+00	3,17E-02	1,13%
510	1,38E+00	1,37E-01	8,74%	8,13E-01	6,73E-02	9,44%	2,18E+00	2,80E-02	1,14%
530	1,27E+00	5,23E-02	3,64%	8,66E-01	4,11E-02	5,41%	1,96E+00	1,20E-02	0,54%
550	1,10E+00	5,52E-02	4,44%	8,83E-01	5,36E-02	6,92%	1,90E+00	5,10E-03	0,24%
570	9,94E-01	4,18E-02	3,72%	7,84E-01	4,55E-02	6,62%	1,60E+00	2,85E-03	0,16%
590	8,74E-01	3,89E-02	3,93%	7,68E-01	4,05E-02	6,01%	1,43E+00	1,13E-03	0,07%
610	7,27E-01	3,95E-02	4,81%	7,32E-01	4,48E-02	6,98%	1,34E+00	4,93E-03	0,32%
630	7,62E-01	3,20E-02	3,71%	7,67E-01	4,25E-02	6,31%	1,30E+00	8,19E-03	0,56%
650	7,38E-01	1,01E-02	1,22%	7,40E-01	3,25E-02	5,01%	1,32E+00	4,93E-03	0,33%
670	7,64E-01	1,47E-02	1,70%	7,44E-01	4,22E-02	6,48%	1,24E+00	1,28E-02	0,91%
690	7,70E-01	1,08E-02	1,24%	8,17E-01	4,76E-02	6,65%	1,26E+00	1,77E-02	1,24%
710	8,70E-01	1,47E-02	1,49%	9,82E-01	5,45E-02	6,34%	1,37E+00	2,03E-02	1,30%
730	9,94E-01	1,08E-02	0,96%	1,04E+00	5,72E-02	6,26%	1,44E+00	2,03E-02	1,25%
750	1,14E+00	4,28E-03	0,33%	1,14E+00	6,23E-02	6,21%	1,57E+00	2,22E-02	1,25%
770	1,22E+00	1,70E-02	1,23%	1,13E+00	7,92E-02	8,01%	1,67E+00	2,32E-02	1,23%
790	1,47E+00	1,38E-02	0,83%	1,53E+00	1,71E-01	12,71%	2,12E+00	2,87E-02	1,19%
810	3,20E+00	4,11E-01	11,34%	4,92E+00	2,50E-01	5,80%	6,57E+00	1,36E+00	18,33%
830	3,84E+00	1,05E+00	24,12%	2,71E+00	5,86E-01	24,71%	3,31E+00	4,68E-01	12,50%
850	4,78E+00	1,24E+00	22,99%	6,29E+00	4,94E-01	8,97%	4,74E+00	1,77E+00	32,98%
870	2,50E+00	6,50E-02	2,30%	2,79E+00	1,22E-01	4,98%	2,35E+00	1,62E-01	6,11%
890	2,41E+00	7,71E-02	2,83%	2,27E+00	2,34E-01	11,75%	2,49E+00	9,77E-02	3,46%
910	2,77E+00	1,49E-01	4,75%	2,49E+00	3,08E-01	14,10%	3,00E+00	1,99E-01	5,88%
930	3,10E+00	2,12E-01	6,05%	2,76E+00	3,35E-01	13,84%	3,52E+00	2,90E-01	7,29%
950	4,43E+00	4,44E-01	8,84%	3,84E+00	5,01E-01	14,88%	5,22E+00	5,51E-01	9,33%
970	7,58E+00	1,16E+00	13,56%	6,15E+00	8,89E-01	16,50%	9,59E+00	1,52E+00	14,00%
990	1,84E+01	6,50E+00	31,22%	1,14E+01	1,89E+00	18,95%	2,88E+01	1,01E+01	31,14%
1000	4,69E+01	21,315999	40,16%	2,07E+01	3,945534	21,78%	5,34E+01	3,9446511	6,53%

Homogenita intenzity elektrického pole s vertikální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]								
	Pozice 1			Pozice 2			Pozice 3		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	7,54E+00	1,02E-01	1,54%	6,61E+00	1,24E-01	1,66%	5,15E+00	4,72E-02	0,81%
170	6,71E+00	9,63E-02	1,64%	6,25E+00	9,51E-02	1,34%	5,72E+00	5,18E-02	0,80%
190	4,11E+00	3,39E-02	0,94%	4,20E+00	1,90E-02	0,40%	3,86E+00	1,61E-02	0,37%
210	4,11E+00	2,80E-02	0,78%	4,12E+00	2,36E-03	0,05%	3,96E+00	8,16E-03	0,18%
230	4,67E+00	4,13E-02	1,01%	4,74E+00	1,29E-02	0,24%	4,59E+00	1,56E-02	0,30%
250	4,53E+00	3,36E-02	0,85%	4,62E+00	3,53E-02	0,67%	4,40E+00	1,60E-02	0,32%
270	3,82E+00	3,81E-02	1,14%	3,99E+00	4,47E-02	0,99%	3,85E+00	2,85E-03	0,07%
290	3,81E+00	2,78E-02	0,83%	3,83E+00	1,76E-02	0,41%	3,73E+00	3,27E-03	0,08%
310	3,82E+00	2,83E-02	0,85%	3,82E+00	2,11E-02	0,49%	3,77E+00	9,42E-03	0,22%
330	4,46E+00	3,65E-02	0,93%	4,69E+00	4,31E-02	0,81%	4,64E+00	1,70E-02	0,32%
350	4,56E+00	5,15E-02	1,29%	4,77E+00	4,53E-02	0,84%	4,87E+00	1,78E-02	0,32%
370	4,22E+00	6,56E-02	1,77%	4,57E+00	5,39E-02	1,04%	4,62E+00	2,72E-02	0,52%
390	4,62E+00	4,36E-02	1,08%	4,73E+00	5,25E-02	0,98%	4,84E+00	2,36E-02	0,43%
410	4,65E+00	4,76E-02	1,17%	5,03E+00	1,87E-01	3,28%	5,00E+00	1,11E-02	0,20%
430	5,73E+00	1,08E-01	2,14%	6,17E+00	5,59E-02	0,80%	6,34E+00	1,03E-02	0,14%
450	4,82E+00	1,05E-01	2,47%	5,22E+00	4,88E-02	0,83%	5,60E+00	1,95E-02	0,31%
470	4,40E+00	8,12E-02	2,10%	4,65E+00	4,15E-02	0,79%	4,93E+00	1,67E-02	0,30%
490	4,88E+00	1,06E-01	2,47%	5,02E+00	3,06E-02	0,54%	5,29E+00	1,96E-02	0,33%
510	5,27E+00	1,39E-01	3,02%	5,54E+00	3,33E-02	0,53%	5,78E+00	5,19E-03	0,08%
530	4,64E+00	1,31E-01	3,22%	4,91E+00	4,02E-02	0,72%	5,16E+00	2,38E-02	0,41%
550	4,64E+00	1,13E-01	2,78%	4,67E+00	2,59E-02	0,49%	5,05E+00	2,12E-02	0,37%
570	5,10E+00	1,19E-01	2,66%	5,00E+00	1,51E-02	0,27%	5,44E+00	2,72E-02	0,44%
590	5,47E+00	1,66E-01	3,47%	5,43E+00	2,85E-02	0,46%	5,85E+00	3,67E-02	0,56%
610	4,88E+00	1,27E-01	2,96%	4,65E+00	1,41E-02	0,27%	5,11E+00	3,30E-02	0,57%
630	5,19E+00	6,39E-02	1,40%	4,61E+00	2,27E-02	0,44%	5,24E+00	4,43E-02	0,75%
650	5,86E+00	4,33E-02	0,84%	5,08E+00	3,63E-02	0,63%	5,76E+00	5,07E-02	0,78%
670	5,89E+00	3,94E-02	0,76%	5,10E+00	4,74E-02	0,82%	5,86E+00	5,48E-02	0,83%
690	5,92E+00	3,97E-02	0,77%	5,04E+00	6,54E-02	1,15%	5,89E+00	6,74E-02	1,01%
710	7,19E+00	9,12E-02	1,45%	5,97E+00	1,21E-01	1,79%	6,99E+00	8,74E-02	1,11%
730	9,54E+00	2,30E-01	2,75%	7,61E+00	2,10E-01	2,44%	9,25E+00	1,13E-01	1,08%
750	1,12E+01	4,44E-01	4,51%	8,60E+00	3,18E-01	3,26%	1,08E+01	1,58E-01	1,29%
770	1,58E+01	9,35E-01	6,74%	1,11E+01	6,10E-01	4,84%	1,52E+01	2,98E-01	1,73%
790	3,53E+01	4,35E+00	14,05%	2,00E+01	1,87E+00	8,30%	3,59E+01	1,18E+00	2,90%
810	1,29E+02	1,42E+01	12,59%	5,96E+01	1,50E+01	22,19%	1,01E+02	6,29E+00	5,49%
830	2,85E+01	4,25E+00	17,04%	5,12E+01	1,28E+01	22,03%	2,13E+01	4,48E-01	1,85%
850	1,43E+01	1,72E+00	13,74%	1,70E+01	1,70E+00	8,85%	1,75E+01	1,52E+00	7,65%
870	1,14E+01	6,84E-01	6,83%	1,23E+01	7,61E-01	5,49%	1,01E+01	3,22E-01	2,81%
890	9,83E+00	4,36E-01	5,06%	1,01E+01	4,46E-01	3,91%	8,34E+00	1,11E-01	1,18%
910	6,67E+00	1,95E-01	3,33%	6,72E+00	2,16E-01	2,84%	5,49E+00	3,45E-02	0,56%
930	4,90E+00	1,14E-01	2,66%	4,88E+00	1,37E-01	2,49%	3,97E+00	1,80E-02	0,40%
950	4,48E+00	1,06E-01	2,71%	4,45E+00	1,26E-01	2,49%	3,54E+00	9,76E-03	0,24%
970	3,67E+00	7,80E-02	2,43%	3,77E+00	9,20E-02	2,16%	2,94E+00	1,52E-02	0,46%
990	3,05E+00	1,50E-01	5,62%	3,05E+00	6,68E-02	1,93%	2,65E+00	7,17E-02	2,39%
1000	2,99E+00	0,2034962	7,77%	2,99E+00	0,2799785	8,29%	3,17E+00	0,4504	12,56%

Intenzity elektrického pole pro vliv typu šicí nitě s horizontální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]					
	T10PN - Klasická nit			T10PV - EL. vodivá nit		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	2,44E+00	7,06E-02	3,31%	1,87E+00	4,04E-01	24,69%
170	2,30E+00	5,06E-02	2,51%	1,99E+00	3,95E-02	2,26%
190	3,24E+00	1,80E-02	0,63%	2,97E+00	1,01E-01	3,90%
210	3,38E+00	1,73E-02	0,58%	3,14E+00	9,21E-02	3,35%
230	4,39E+00	4,13E-02	1,07%	4,12E+00	1,78E-01	4,94%
250	5,16E+00	2,99E-02	0,66%	4,81E+00	2,00E-01	4,75%
270	5,67E+00	3,42E-02	0,69%	5,25E+00	3,14E-01	6,82%
290	4,94E+00	4,83E-02	1,11%	4,64E+00	1,78E-01	4,39%
310	3,73E+00	5,17E-02	1,58%	3,48E+00	1,72E-01	5,64%
330	3,07E+00	4,32E-02	1,61%	2,88E+00	1,05E-01	4,15%
350	2,01E+00	2,90E-02	1,64%	1,81E+00	9,70E-02	6,13%
370	1,79E+00	3,81E-02	2,43%	1,64E+00	7,07E-02	4,92%
390	1,52E+00	3,08E-02	2,32%	1,36E+00	9,78E-02	8,23%
410	1,39E+00	6,02E-02	4,95%	1,19E+00	9,88E-02	9,45%
430	1,08E+00	1,79E-02	1,89%	9,52E-01	4,58E-02	5,48%
450	1,07E+00	7,56E-02	8,08%	8,66E-01	8,08E-02	10,63%
470	9,95E-01	6,54E-02	7,49%	8,14E-01	7,18E-02	10,06%
490	1,09E+00	7,12E-02	7,48%	9,00E-01	6,89E-02	8,73%
510	8,13E-01	6,73E-02	9,44%	1,09E+00	2,29E-01	23,99%
530	8,66E-01	4,11E-02	5,41%	7,18E-01	8,23E-02	13,08%
550	8,83E-01	5,36E-02	6,92%	7,25E-01	8,55E-02	13,45%
570	7,84E-01	4,55E-02	6,62%	6,75E-01	6,46E-02	10,92%
590	7,68E-01	4,05E-02	6,01%	6,76E-01	4,44E-02	7,49%
610	7,32E-01	4,48E-02	6,98%	6,63E-01	1,59E-02	2,74%
630	7,67E-01	4,25E-02	6,31%	6,87E-01	2,38E-02	3,95%
650	7,40E-01	3,25E-02	5,01%	6,97E-01	4,17E-02	6,82%
670	7,44E-01	4,22E-02	6,48%	6,43E-01	4,46E-02	7,91%
690	8,17E-01	4,76E-02	6,65%	6,97E-01	3,20E-02	5,24%
710	9,82E-01	5,45E-02	6,34%	8,48E-01	4,51E-02	6,07%
730	1,04E+00	5,72E-02	6,26%	8,70E-01	3,84E-02	5,03%
750	1,14E+00	6,23E-02	6,21%	9,89E-01	3,00E-02	3,46%
770	1,13E+00	7,92E-02	8,01%	1,07E+00	2,02E-01	21,58%
790	1,53E+00	1,71E-01	12,71%	1,24E+00	1,27E-01	11,74%
810	4,92E+00	2,50E-01	5,80%	3,99E+00	9,93E-01	28,38%
830	2,71E+00	5,86E-01	24,71%	2,14E+00	4,08E-01	21,77%
850	6,29E+00	4,94E-01	8,97%	5,17E+00	1,64E+00	36,29%
870	2,79E+00	1,22E-01	4,98%	2,71E+00	6,17E-01	26,00%
890	2,27E+00	2,34E-01	11,75%	1,82E+00	1,14E-01	7,18%
910	2,49E+00	3,08E-01	14,10%	1,82E+00	1,40E-01	8,76%
930	2,76E+00	3,35E-01	13,84%	1,99E+00	1,38E-01	7,94%
950	3,84E+00	5,01E-01	14,88%	2,61E+00	2,83E-01	12,40%
970	6,15E+00	8,89E-01	16,50%	3,93E+00	5,03E-01	14,62%
990	1,14E+01	1,89E+00	18,95%	6,25E+00	9,95E-01	18,17%
1000	2,07E+01	3,945534	21,78%	9,56E+00	1,7659207	21,08%

Intenzity elektrického pole pro vliv typu šicí nitě s vertikální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]					
	T10PN - Klasická nit			T10PV - El. vodivá nit		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	7,54E+00	1,02E-01	1,54%	6,73E+00	2,31E-01	3,91%
170	6,71E+00	9,63E-02	1,64%	4,68E+00	1,08E-01	2,64%
190	4,11E+00	3,39E-02	0,94%	3,63E+00	9,20E-02	2,89%
210	4,11E+00	2,80E-02	0,78%	3,94E+00	2,81E-02	0,81%
230	4,67E+00	4,13E-02	1,01%	4,46E+00	1,67E-01	4,27%
250	4,53E+00	3,36E-02	0,85%	4,18E+00	5,08E-02	1,39%
270	3,82E+00	3,81E-02	1,14%	3,59E+00	8,14E-02	2,59%
290	3,81E+00	2,78E-02	0,83%	3,78E+00	6,85E-02	2,06%
310	3,82E+00	2,83E-02	0,85%	3,74E+00	1,90E-02	0,58%
330	4,46E+00	3,65E-02	0,93%	4,11E+00	5,07E-02	1,41%
350	4,56E+00	5,15E-02	1,29%	4,11E+00	7,57E-02	2,10%
370	4,22E+00	6,56E-02	1,77%	3,82E+00	1,64E-02	0,49%
390	4,62E+00	4,36E-02	1,08%	4,23E+00	1,48E-01	4,00%
410	4,65E+00	4,76E-02	1,17%	4,09E+00	3,15E-01	8,79%
430	5,73E+00	1,08E-01	2,14%	4,79E+00	1,61E-01	3,84%
450	4,82E+00	1,05E-01	2,47%	4,02E+00	9,19E-02	2,61%
470	4,40E+00	8,12E-02	2,10%	3,78E+00	8,74E-02	2,64%
490	4,88E+00	1,06E-01	2,47%	4,18E+00	1,90E-01	5,20%
510	5,27E+00	1,39E-01	3,02%	4,37E+00	1,14E-01	2,97%
530	4,64E+00	1,31E-01	3,22%	3,90E+00	7,75E-02	2,27%
550	4,64E+00	1,13E-01	2,78%	4,11E+00	1,92E-01	5,33%
570	5,10E+00	1,19E-01	2,66%	4,65E+00	1,47E-01	3,61%
590	5,47E+00	1,66E-01	3,47%	4,80E+00	2,41E-01	5,72%
610	4,88E+00	1,27E-01	2,96%	4,55E+00	1,93E-01	4,83%
630	5,19E+00	6,39E-02	1,40%	5,21E+00	2,67E-01	5,85%
650	5,86E+00	4,33E-02	0,84%	5,99E+00	3,66E-01	6,98%
670	5,89E+00	3,94E-02	0,76%	6,14E+00	3,67E-01	6,82%
690	5,92E+00	3,97E-02	0,77%	6,43E+00	3,48E-01	6,17%
710	7,19E+00	9,12E-02	1,45%	7,90E+00	4,91E-01	7,09%
730	9,54E+00	2,30E-01	2,75%	1,06E+01	7,80E-01	8,41%
750	1,12E+01	4,44E-01	4,51%	1,26E+01	1,04E+00	9,41%
770	1,58E+01	9,35E-01	6,74%	1,78E+01	1,89E+00	12,09%
790	3,53E+01	4,35E+00	14,05%	3,96E+01	7,68E+00	22,13%
810	1,29E+02	1,42E+01	12,59%	1,19E+02	8,40E+00	8,07%
830	2,85E+01	4,25E+00	17,04%	3,22E+01	6,04E+00	21,40%
850	1,43E+01	1,72E+00	13,74%	2,73E+01	4,19E+00	17,56%
870	1,14E+01	6,84E-01	6,83%	1,59E+01	1,85E+00	13,30%
890	9,83E+00	4,36E-01	5,06%	1,14E+01	3,47E-01	3,46%
910	6,67E+00	1,95E-01	3,33%	7,32E+00	3,87E-02	0,60%
930	4,90E+00	1,14E-01	2,66%	5,19E+00	8,84E-02	1,94%
950	4,48E+00	1,06E-01	2,71%	4,75E+00	1,97E-01	4,72%
970	3,67E+00	7,80E-02	2,43%	3,85E+00	6,99E-02	2,07%
990	3,05E+00	1,50E-01	5,62%	3,14E+00	4,68E-02	1,70%
1000	2,99E+00	0,2034962	7,77%	2,85E+00	0,0515422	2,07%

Intenzity elektrického pole pro vliv typu švu s horizontální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]					
	T10KN - Klasický šev			T10PN - Přeplátovaný šev		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	2,46E+00	3,33E-01	15,44%	2,44E+00	7,06E-02	3,31%
170	2,23E+00	1,96E-01	10,06%	2,30E+00	5,06E-02	2,51%
190	2,95E+00	9,95E-02	3,84%	3,24E+00	1,80E-02	0,63%
210	3,01E+00	3,25E-02	1,23%	3,38E+00	1,73E-02	0,58%
230	3,89E+00	1,42E-01	4,17%	4,39E+00	4,13E-02	1,07%
250	4,65E+00	2,39E-01	5,85%	5,16E+00	2,99E-02	0,66%
270	5,27E+00	3,99E-01	8,64%	5,67E+00	3,42E-02	0,69%
290	4,83E+00	4,73E-02	1,12%	4,94E+00	4,83E-02	1,11%
310	3,82E+00	3,07E-01	9,16%	3,73E+00	5,17E-02	1,58%
330	3,00E+00	1,46E-01	5,57%	3,07E+00	4,32E-02	1,61%
350	2,11E+00	2,90E-01	15,67%	2,01E+00	2,90E-02	1,64%
370	1,69E+00	1,12E-02	0,76%	1,79E+00	3,81E-02	2,43%
390	1,43E+00	6,25E-02	5,00%	1,52E+00	3,08E-02	2,32%
410	1,25E+00	2,66E-02	2,43%	1,39E+00	6,02E-02	4,95%
430	9,97E-01	1,10E-02	1,26%	1,08E+00	1,79E-02	1,89%
450	9,27E-01	3,65E-02	4,49%	1,07E+00	7,56E-02	8,08%
470	8,30E-01	3,20E-02	4,40%	9,95E-01	6,54E-02	7,49%
490	8,99E-01	1,02E-01	12,95%	1,09E+00	7,12E-02	7,48%
510	8,84E-01	1,13E-01	14,59%	8,13E-01	6,73E-02	9,44%
530	8,12E-01	5,73E-02	8,05%	8,66E-01	4,11E-02	5,41%
550	7,50E-01	6,54E-02	9,95%	8,83E-01	5,36E-02	6,92%
570	7,37E-01	4,42E-02	6,84%	7,84E-01	4,55E-02	6,62%
590	7,30E-01	6,31E-02	9,86%	7,68E-01	4,05E-02	6,01%
610	7,24E-01	4,93E-02	7,77%	7,32E-01	4,48E-02	6,98%
630	7,51E-01	6,98E-02	10,61%	7,67E-01	4,25E-02	6,31%
650	7,29E-01	4,24E-02	6,64%	7,40E-01	3,25E-02	5,01%
670	7,06E-01	4,68E-02	7,56%	7,44E-01	4,22E-02	6,48%
690	7,50E-01	6,74E-02	10,26%	8,17E-01	4,76E-02	6,65%
710	9,14E-01	1,41E-01	17,62%	9,82E-01	5,45E-02	6,34%
730	9,18E-01	1,22E-01	15,22%	1,04E+00	5,72E-02	6,26%
750	9,92E-01	1,26E-01	14,45%	1,14E+00	6,23E-02	6,21%
770	1,01E+00	1,02E-01	11,58%	1,13E+00	7,92E-02	8,01%
790	1,29E+00	7,25E-02	6,42%	1,53E+00	1,71E-01	12,71%
810	3,06E+00	3,13E-01	11,69%	4,92E+00	2,50E-01	5,80%
830	2,26E+00	1,44E-01	7,25%	2,71E+00	5,86E-01	24,71%
850	5,65E+00	2,31E+00	46,66%	6,29E+00	4,94E-01	8,97%
870	3,12E+00	3,38E-01	12,37%	2,79E+00	1,22E-01	4,98%
890	2,22E+00	1,19E-01	6,09%	2,27E+00	2,34E-01	11,75%
910	2,19E+00	2,78E-01	14,48%	2,49E+00	3,08E-01	14,10%
930	2,48E+00	2,87E-01	13,20%	2,76E+00	3,35E-01	13,84%
950	3,36E+00	5,17E-01	17,58%	3,84E+00	5,01E-01	14,88%
970	5,19E+00	1,11E+00	24,45%	6,15E+00	8,89E-01	16,50%
990	9,13E+00	2,30E+00	28,74%	1,14E+01	1,89E+00	18,95%
1000	1,59E+01	4,1390776	29,73%	2,07E+01	3,945534	21,78%

Intenzity elektrického pole pro vliv typu švu s vertikální polarizací antény

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]					
	T10KN - Klasický šev			T10PN - Přeplátovaný šev		
	Průměr	95% IS	Variabilita	Průměr	95% IS	Variabilita
150	4,98E+00	4,23E-01	9,68%	7,54E+00	1,02E-01	1,54%
170	2,58E+00	2,01E-01	8,88%	6,71E+00	9,63E-02	1,64%
190	3,74E+00	3,32E-02	1,01%	4,11E+00	3,39E-02	0,94%
210	4,64E+00	2,39E-02	0,59%	4,11E+00	2,80E-02	0,78%
230	4,72E+00	1,52E-01	3,68%	4,67E+00	4,13E-02	1,01%
250	4,28E+00	3,31E-02	0,88%	4,53E+00	3,36E-02	0,85%
270	4,09E+00	8,82E-02	2,46%	3,82E+00	3,81E-02	1,14%
290	4,34E+00	4,95E-02	1,30%	3,81E+00	2,78E-02	0,83%
310	4,14E+00	3,36E-02	0,93%	3,82E+00	2,83E-02	0,85%
330	4,27E+00	5,63E-02	1,50%	4,46E+00	3,65E-02	0,93%
350	4,30E+00	8,73E-02	2,32%	4,56E+00	5,15E-02	1,29%
370	3,99E+00	4,17E-02	1,19%	4,22E+00	6,56E-02	1,77%
390	4,69E+00	1,67E-01	4,08%	4,62E+00	4,36E-02	1,08%
410	4,53E+00	1,87E-01	4,72%	4,65E+00	4,76E-02	1,17%
430	5,12E+00	2,88E-01	6,42%	5,73E+00	1,08E-01	2,14%
450	4,30E+00	1,61E-01	4,28%	4,82E+00	1,05E-01	2,47%
470	4,23E+00	1,44E-01	3,89%	4,40E+00	8,12E-02	2,10%
490	4,74E+00	2,27E-01	5,48%	4,88E+00	1,06E-01	2,47%
510	4,87E+00	1,30E-01	3,04%	5,27E+00	1,39E-01	3,02%
530	4,23E+00	7,48E-02	2,02%	4,64E+00	1,31E-01	3,22%
550	4,51E+00	1,90E-01	4,80%	4,64E+00	1,13E-01	2,78%
570	5,14E+00	6,76E-02	1,50%	5,10E+00	1,19E-01	2,66%
590	5,09E+00	1,69E-01	3,80%	5,47E+00	1,66E-01	3,47%
610	4,59E+00	1,21E-01	3,00%	4,88E+00	1,27E-01	2,96%
630	5,31E+00	1,87E-01	4,01%	5,19E+00	6,39E-02	1,40%
650	6,15E+00	2,41E-01	4,47%	5,86E+00	4,33E-02	0,84%
670	6,02E+00	1,92E-01	3,65%	5,89E+00	3,94E-02	0,76%
690	6,07E+00	1,57E-01	2,94%	5,92E+00	3,97E-02	0,77%
710	7,61E+00	2,04E-01	3,05%	7,19E+00	9,12E-02	1,45%
730	1,04E+01	2,75E-01	3,01%	9,54E+00	2,30E-01	2,75%
750	1,20E+01	4,09E-01	3,89%	1,12E+01	4,44E-01	4,51%
770	1,68E+01	9,78E-01	6,65%	1,58E+01	9,35E-01	6,74%
790	3,89E+01	5,61E+00	16,45%	3,53E+01	4,35E+00	14,05%
810	1,11E+02	2,04E+01	20,93%	1,29E+02	1,42E+01	12,59%
830	2,78E+01	3,90E+00	16,01%	2,85E+01	4,25E+00	17,04%
850	2,54E+01	4,50E+00	20,19%	1,43E+01	1,72E+00	13,74%
870	1,36E+01	3,45E-01	2,89%	1,14E+01	6,84E-01	6,83%
890	1,07E+01	5,35E-01	5,72%	9,83E+00	4,36E-01	5,06%
910	6,75E+00	2,40E-01	4,06%	6,67E+00	1,95E-01	3,33%
930	4,72E+00	2,73E-01	6,59%	4,90E+00	1,14E-01	2,66%
950	4,42E+00	3,46E-01	8,94%	4,48E+00	1,06E-01	2,71%
970	3,56E+00	2,00E-01	6,40%	3,67E+00	7,80E-02	2,43%
990	2,85E+00	1,54E-01	6,18%	3,05E+00	1,50E-01	5,62%
1000	2,71E+00	0,2293756	9,66%	2,99E+00	0,2034962	7,77%

Stínící účinnost zkoumaných krytů v horizontální i vertikální polarizaci

Frekvence [MHz]	Účinnost stíněné [dB]											
	AL folie		T3PV		T10PV		P3PV		P10PV		HOLÁ KONST.	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
150,00	60,90	61,39	6,45	12,36	24,39	18,87	-0,32	0,74	1,25	3,28	-0,83	0,42
154,50	61,54	61,54	7,55	12,20	23,97	20,07	-0,50	0,80	0,23	3,42	-0,83	0,34
159,14	61,92	61,40	9,28	12,00	23,04	20,66	-0,25	0,72	0,23	3,25	-0,48	0,23
163,91	61,28	61,98	10,89	12,01	25,78	22,17	-0,20	0,90	0,50	3,32	-0,26	0,40
168,83	61,77	60,45	11,68	13,94	26,93	19,93	-0,43	-1,09	0,18	1,22	-0,53	-1,58
173,89	61,36	60,69	12,97	14,74	25,92	21,33	-0,39	0,20	0,51	2,69	-0,56	-0,29
179,11	61,83	59,93	12,77	14,16	24,53	21,37	-0,04	-0,04	0,77	2,56	0,18	-0,51
184,48	60,94	60,47	12,98	13,43	23,71	21,31	-0,27	0,10	0,59	2,82	-0,12	-0,39
190,02	61,01	60,85	11,73	13,19	22,75	21,10	-0,55	0,22	0,26	3,02	-0,37	-0,25
195,72	61,71	61,03	11,03	13,51	22,17	21,18	-0,58	0,70	0,08	3,50	-0,42	0,20
201,59	61,96	61,26	9,87	13,38	20,46	21,28	-0,36	0,78	0,15	3,49	-0,15	0,31
207,64	61,58	60,91	8,93	13,66	18,27	20,78	-0,54	0,60	-0,26	3,20	-0,25	0,12
213,86	61,40	61,24	8,91	14,21	19,73	21,22	-0,55	0,35	-0,29	2,86	-0,22	-0,08
220,28	61,53	61,19	9,59	14,38	26,24	21,71	-0,63	-0,05	-0,38	2,35	-0,45	-0,51
226,89	61,07	60,75	11,38	15,62	28,22	21,95	-0,71	0,34	-0,49	2,51	-0,40	-0,17
233,70	61,64	61,13	13,06	15,82	26,21	21,83	0,19	0,47	0,53	2,48	0,30	-0,02
240,71	61,61	59,74	11,75	16,60	24,46	21,70	-0,36	0,52	0,57	2,35	-0,19	0,02
247,93	62,35	59,89	10,77	16,68	23,16	21,52	-0,62	0,42	1,64	2,35	-0,37	0,02
255,36	61,04	58,88	10,38	15,60	22,49	21,43	-0,56	0,55	1,59	2,60	-0,16	0,07
263,03	61,72	58,50	9,87	14,10	21,74	20,89	-1,18	-0,06	1,27	2,44	-0,25	-0,45
270,92	62,09	58,63	9,05	13,57	20,79	21,41	0,95	0,25	0,99	3,12	-0,45	-0,23
279,04	62,15	59,20	8,32	13,78	20,26	21,56	0,22	0,55	0,85	3,48	-0,47	-0,16
287,42	61,78	59,46	8,16	13,97	20,37	21,74	-0,08	0,18	0,96	3,22	-0,38	-0,44
296,04	62,30	59,71	8,41	14,32	21,03	22,09	-0,09	0,56	1,15	3,78	-0,25	-0,07
304,92	62,12	60,14	8,79	14,31	21,97	21,73	-0,13	0,51	1,46	3,80	-0,16	-0,09
314,07	62,35	61,12	9,05	14,83	22,82	21,92	-0,36	0,27	1,62	3,38	-0,46	-0,34
323,49	62,49	60,91	9,84	15,56	24,29	22,09	-0,17	0,43	2,63	3,17	-0,18	-0,27
333,19	62,13	60,77	10,34	15,97	25,46	22,14	-0,05	0,83	4,19	3,45	-0,09	0,05
343,19	61,97	59,61	10,82	15,57	25,43	21,64	-0,19	0,70	5,90	3,66	-0,15	-0,15
353,48	62,22	59,62	12,34	14,77	28,01	20,59	-0,34	0,56	4,22	3,56	-0,29	-0,30
364,09	62,25	59,65	13,81	14,49	29,43	20,20	-0,43	0,79	4,62	4,18	-0,43	-0,05
375,01	62,66	60,76	15,04	14,48	30,70	20,43	-0,45	0,97	6,09	4,79	-0,49	0,00
386,26	62,26	61,53	15,81	14,40	30,73	20,59	-0,46	0,64	4,72	5,34	-0,61	-0,28
397,85	62,16	62,16	15,62	14,97	30,68	21,27	-0,54	0,49	3,90	5,53	-0,18	-0,48
409,79	62,04	61,68	16,28	15,86	31,50	22,74	0,17	0,83	3,27	4,71	-0,30	-0,24
422,08	61,84	61,84	17,51	15,21	32,97	21,71	-0,04	1,15	3,05	3,83	-0,28	-0,15
434,74	62,40	61,49	18,62	14,26	34,12	20,75	-0,37	1,10	2,57	3,11	-0,66	-0,46
447,78	62,58	61,32	19,96	14,01	35,57	20,54	0,23	1,82	1,57	3,30	0,19	0,31
461,22	62,63	61,35	19,57	14,40	35,46	20,72	-0,37	0,98	0,12	3,82	-0,34	-0,56
475,05	62,80	61,35	20,10	15,41	35,52	21,83	-0,08	1,76	0,38	5,27	-0,13	0,13
489,31	62,26	60,67	19,99	15,03	34,12	21,40	-0,31	0,79	-0,57	5,37	-0,55	-0,79
503,98	61,93	61,23	21,38	15,09	37,17	21,57	-0,07	1,76	-0,53	5,23	-0,12	-0,01
519,10	62,21	62,03	21,29	14,21	38,01	20,56	-0,64	1,24	-1,53	3,92	-0,71	-0,44
534,68	62,44	62,06	21,32	14,26	36,73	20,31	-0,36	1,24	-1,68	3,94	-0,54	-0,19
550,72	63,21	62,61	21,75	14,97	37,14	20,95	-0,22	1,03	-1,82	3,66	-0,25	-0,41
567,24	62,28	62,09	21,81	15,45	36,63	21,34	-0,50	1,49	-2,04	3,33	-0,57	-0,20
584,26	62,82	62,24	21,87	14,86	36,65	20,52	-0,40	1,61	-2,42	2,31	-0,51	-0,20
601,78	62,45	61,53	22,12	13,99	36,15	19,30	-0,34	0,91	-2,78	2,37	-0,52	-0,18
619,84	62,51	61,77	22,34	13,67	36,43	18,78	-0,03	0,10	-3,07	3,41	-0,17	-0,47
638,43	62,38	62,01	22,00	14,23	36,22	19,23	-0,17	0,34	-3,14	3,68	-0,27	-0,34
657,59	62,50	61,41	22,06	14,43	37,96	19,26	-0,39	0,65	-3,70	2,65	-0,38	-0,11
677,31	61,90	60,72	22,57	13,56	37,26	17,85	-0,28	0,45	-3,71	2,00	-0,23	-0,04
697,63	62,71	61,09	22,16	12,25	35,41	16,12	-0,36	-0,71	-4,22	2,72	-0,35	-0,45
718,56	62,75	61,47	21,53	11,54	34,46	15,36	-0,36	-0,77	-4,55	4,20	-0,32	-0,21
740,12	61,93	61,24	21,13	10,63	34,47	13,98	-0,56	-0,45	-4,52	2,85	-0,42	0,02
762,32	62,29	59,98	20,51	8,10	33,55	10,56	-0,57	-1,10	-4,58	3,01	-0,36	-0,31
785,19	62,34	59,20	19,44	4,19	29,30	5,09	-0,69	-1,62	-5,06	5,89	-0,46	-0,24
808,75	61,70	55,94	17,64	0,03	29,17	-6,14	-0,64	-1,48	-4,99	4,32	-0,47	-0,24
833,01	62,07	50,35	15,41	-6,57	24,42	1,89	-0,60	-1,92	-4,86	3,17	-0,34	-0,12
858,00	61,84	55,46	15,00	-1,77	21,80	6,04	-0,81	-2,85	-5,33	9,89	-0,54	-0,49
883,74	62,29	59,42	15,42	4,51	27,64	12,90	-0,70	-2,48	-5,23	16,46	-0,42	-0,30
910,25	62,79	60,54	14,30	9,56	28,21	17,21	-0,55	-2,03	-4,76	10,81	-0,19	-0,11
937,56	61,55	58,88	11,97	11,72	26,43	19,10	-0,70	-2,13	-5,20	13,88	-0,34	0,09
965,69	62,10	60,27	8,34	13,57	23,14	20,21	-0,71	-3,90	-4,96	21,54	-0,45	-0,57
994,66	59,48	57,01	3,30	16,44	17,56	23,22	-0,56	-3,01	-4,40	18,55	-0,20	0,03
1024,50	61,56	54,42	-1,81	16,06	-0,19	16,86	-0,29	-2,96	-4,09	13,69	-0,11	-0,29
1055,23	49,29	51,48	4,47	21,46	17,38	27,17	-0,51	-3,04	-3,90	11,87	-0,28	-0,41
1086,89	61,25	59,04	9,56	23,41	23,77	24,41	-0,69	-2,38	-3,40	12,75	-0,45	-0,07
1119,50	59,79	51,58	12,54	17,94	23,46	27,95	-0,66	-2,18	-2,63	10,01	-0,36	-0,25
1153,08	59,20	55,05	14,78	22,12	28,59	30,89	-0,55	-1,34	-1,38	9,44	-0,42	-0,23
1187,67	59,40	57,62	16,30	23,92	30,66	31,04	-0,63	-0,47	-0,80	10,05	-0,41	-0,15
1223,30	61,95	61,10	16,71	25,09	30,43	31,95	-0,98	-0,19	0,00	7,76	-0,71	-0,61
1260,00	61,56	61,74	15,54	27,64	28,56	33,71	-0,57	1,37	1,12	9,72	-0,47	-0,18
1297,80	57,72	61,59	10,97	27,86	17,40	33,79	-0,28	2,08	2,58	9,69	-0,35	-0,25
1336,74	45,58	54,18	12,10	26,98	19,32	30,64	-0,43	2,91	5,39	12,00	-0,52	-0,32
1376,84	56,52	60,86	19,58	26,55	29,75	31,35	-0,02	1,64	8,57	11,90	-0,30	-0,05
1418,14	57,91	53,31	21,81	25,54	29,41	27,51	0,28	1,84	12,96	15,35	-0,19	0,09
1460,69	63,31	52,70	20,26	17,11	23,69	21,83	0,29	0,90	9,67	17,28	-0,44	-0,27
1504,51	63,74	58,53	24,31	17,26	34,90	25,59	0,43	1,05	5,63	14,92	-0,31	0,18
1549,64	63,45	57,97	24,90	25,77	37,10	32,96	0,31	0,59	2,83	13,18	-0,55	-0,17
1596,13	57,28	54,05	23,24	28,75	31,39	24,75	0,41	0,97	0,71	13,41	-0,67	-0,24
1644,02	56,78	57,09	22,68	24,04	27,54	21,66	0,07	2,00	-0,67	12,13	-0,50	-0,16
1693,34	63,30	63,09	25,20	28,44	31,02	33,44	0,31	3,40	-1,58	10,93	-0,26	0,14
1744,14	63,60	62,95	26,20	28,89	36,22	35,51	0,24	4,72	-2,10	13,78	-0,15	-0,02
1796,46	62,91	62,52	23,37	26,73	33,12	30,52	0,20	5,99	-2,70	16,93	-0,09	-0,32
1850,36	62,85	62,85	22,19	26,49	24,94	29,85	0,32	4,99	-2,97	20,75	0,02	-0,09

Stínící účinnost zkoumaných krytů v horizontální i vertikální polarizaci

Frekvence [MHz]	Účinnost stíněné [dB]											
	AL folie		T3PV		T10PV		P3PV		P10PV		HOLÁ KONST.	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
1905,87	61,94	62,50	21,96	21,36	30,78	27,01	0,29	4,64	-2,53	19,59	0,00	-0,14
1963,04	54,83	55,15	18,51	18,18	15,60	23,99	0,27	2,84	-2,38	17,66	0,03	-0,35
2021,93	57,61	53,42	17,92	11,46	13,81	9,48	0,09	1,46	-2,25	18,43	-0,12	-0,12
2082,59	52,06	58,56	18,19	8,78	28,76	16,50	-0,14	0,16	-2,90	19,99	-0,06	-0,13
2145,07	61,19	61,53	12,20	2,96	25,63	6,96	-0,10	-1,72	-3,28	15,19	-0,23	-0,16
2209,42	60,40	62,60	-2,64	14,96	13,34	16,37	-0,17	-4,18	-3,65	11,79	-0,06	-0,67
2275,70	48,30	52,36	9,32	16,83	11,92	24,73	-0,06	-5,21	-4,38	15,13	-0,05	-0,27
2343,98	46,58	58,82	5,22	18,11	13,71	22,45	-0,29	-4,77	-3,76	17,72	-0,10	-0,32
2414,30	51,69	52,75	16,48	11,76	13,99	20,40	0,01	-2,78	-1,05	15,27	0,24	-0,27
2486,72	50,41	54,44	17,92	21,47	25,01	22,45	-0,39	0,30	0,36	19,38	-0,02	-0,31
2561,33	59,59	44,05	17,77	11,98	19,50	20,07	-0,61	2,98	1,30	17,62	-0,23	-0,26
2638,17	63,10	52,02	13,11	26,02	19,25	21,98	-0,46	8,36	2,80	26,95	0,25	-0,04
2717,31	63,35	53,80	15,79	25,44	23,05	25,78	-0,39	11,60	4,23	22,09	0,31	-0,15
2798,83	54,74	50,66	15,73	19,90	16,10	20,48	0,19	10,49	7,42	19,17	0,79	0,18
2882,79	54,41	45,78	20,12	24,92	29,97	26,49	0,71	6,18	5,18	18,38	0,79	-0,12
2969,28	46,42	49,05	13,71	20,16	24,34	21,84	1,37	1,96	2,41	26,48	0,44	0,20
3058,36	56,07	41,15	15,81	22,17	16,06	20,84	2,29	0,91	0,90	18,64	0,39	-0,10
3150,11	57,12	47,27	20,12	23,08	18,53	19,34	1,69	1,81	-0,78	14,96	0,69	0,05
3200,00	59,73	48,77	19,96	17,42	22,80	19,20	1,01	2,18	-2,31	14,37	0,58	-0,34

Porovnání vyzařování zkoumaných krytů (průměry ze stran A, B, C, D)

Frekvence [MHz]	Vyzařování [dBμV/m]													
	ŠUMOVÉ POZ.		AL folie		T3PV		T10PV		P3PV		P10PV		HOLÁ KONST.	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	15,0		15,5	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,3	15,2	15,4	15,2	15,4	15,3
40	7,7		7,7	7,5	27,2	35,3	18,4	21,4	37,9	41,2	37,3	40,6	35,5	42,8
60	3,1		3,1	3,1	34,4	44,9	25,4	32,9	44,6	51,9	44,0	51,3	42,4	51,9
80	4,0		4,8	5,1	41,6	46,0	37,3	38,8	46,2	51,3	45,8	50,8	47,7	52,4
100	5,9		5,5	6,3	35,7	49,6	33,1	39,1	40,4	56,0	39,7	55,6	41,3	55,8
120	9,6		10,3	11,2	47,9	56,0	36,0	45,8	50,7	61,5	50,4	61,3	52,7	61,4
140	8,7		10,3	12,4	49,6	59,5	42,6	48,5	52,7	64,4	52,0	64,4	54,8	64,4
160	7,9		10,4	15,9	47,5	62,3	39,2	46,8	48,8	66,7	49,4	66,7	50,3	67,0
180	7,0		11,9	20,5	49,5	66,1	41,1	52,0	51,6	70,3	51,1	70,4	52,9	70,1
200	10,1		13,7	28,1	51,2	71,8	35,5	58,5	43,1	75,9	43,2	76,1	43,3	75,5
220	8,0		16,7	31,6	51,7	73,3	40,8	60,6	49,5	77,7	50,2	78,0	50,4	77,4
240	8,4		18,3	33,6	54,1	75,3	45,6	62,5	60,3	79,0	59,2	79,2	59,1	78,7
260	8,9		23,8	34,4	47,8	76,3	45,8	62,5	36,0	79,5	51,9	79,3	41,3	79,5
280	10,1		26,1	35,7	55,7	78,8	47,3	63,1	52,5	83,1	58,2	82,6	57,2	83,2
300	10,5		23,2	32,2	54,7	75,8	43,2	59,5	56,2	82,7	56,6	82,2	58,3	83,0
320	10,9		22,6	28,7	48,3	72,4	39,1	55,4	51,8	81,7	60,0	80,8	53,1	81,9
340	11,3		17,8	26,8	46,3	69,8	34,8	53,0	41,5	80,5	56,6	79,1	42,1	81,0
360	12,3		19,9	27,6	53,8	68,4	38,4	52,6	58,3	80,6	61,3	78,8	60,0	81,1
380	11,9		16,6	26,3	50,3	66,3	31,6	51,0	52,7	80,1	60,5	77,2	57,8	80,3
400	12,3		17,7	24,7	43,0	63,9	31,9	48,9	50,1	79,2	59,2	75,1	50,2	79,6
420	13,5		16,1	22,8	36,6	60,8	27,7	46,0	55,3	77,1	56,2	73,3	54,7	77,4
440	14,6		16,4	21,9	37,8	58,9	26,4	44,8	43,8	76,5	54,7	73,2	42,8	76,8
460	14,4		16,0	22,4	41,5	59,4	27,7	45,6	47,6	77,0	56,0	73,5	49,8	77,5
480	14,7		16,9	21,9	39,6	57,9	28,9	44,2	48,1	76,1	54,4	72,6	50,0	76,5
500	15,0		16,7	22,2	37,1	55,7	25,9	42,2	51,1	74,1	50,2	71,1	53,8	74,3
520	15,4		17,5	22,7	37,9	55,0	26,0	41,4	50,0	73,6	52,7	70,6	49,8	73,9
540	16,0		16,9	21,7	28,3	53,9	24,1	40,2	45,1	73,6	49,7	70,1	43,3	73,8
560	16,7		17,6	21,8	32,1	52,4	23,4	38,6	42,6	72,1	45,1	68,5	45,0	72,4
580	17,2		17,2	22,3	31,6	51,2	22,8	37,1	46,1	70,5	46,7	67,4	48,0	71,3
600	17,2		19,0	21,9	31,7	50,7	21,5	36,5	44,2	70,4	43,9	66,9	45,6	71,0
620	17,3		19,9	23,2	31,7	49,6	19,4	35,1	39,1	70,1	43,9	66,3	38,6	70,6
640	17,8		18,9	19,2	30,8	46,3	19,6	33,4	42,1	67,8	42,1	64,1	41,3	68,0
660	18,2		20,0	24,4	34,5	42,8	23,7	37,5	41,0	66,3	41,9	63,3	42,9	67,1
680	17,9		31,1	38,2	35,3	44,5	32,2	51,0	41,1	66,2	42,3	62,7	39,6	66,5
700	18,6		22,6	25,9	36,9	52,2	34,8	53,6	47,4	66,5	41,2	62,9	44,9	66,8
720	18,9		21,1	23,8	38,7	60,1	30,3	48,6	32,9	64,4	43,6	62,3	35,9	64,4
740	18,5		19,3	21,8	35,3	58,4	31,1	46,3	42,2	62,7	44,0	60,2	33,7	62,6
760	18,8		19,9	21,4	34,8	57,3	30,2	46,1	39,6	61,4	45,3	61,3	42,5	61,2
780	19,0		18,7	20,1	35,6	57,0	31,9	46,5	41,6	60,8	45,4	64,0	42,0	62,0
800	19,4		18,9	19,7	36,7	57,0	34,6	47,4	41,2	59,9	43,9	63,7	36,7	59,2
820	19,6		21,5	19,6	40,2	58,0	39,6	49,2	41,7	61,7	42,1	64,1	30,0	60,6
840	20,0		28,2	22,3	46,7	58,6	51,1	51,3	39,2	62,3	41,7	63,1	39,9	61,6
860	20,2		29,3	25,5	53,9	59,8	48,3	54,1	38,1	63,8	40,9	62,6	38,1	63,3
880	20,5		24,2	21,3	51,9	61,3	44,5	55,9	36,9	61,9	38,7	59,6	39,3	61,1
900	20,3		20,8	20,1	50,2	63,4	40,5	54,1	36,5	60,5	42,1	56,4	39,7	61,0
920	20,2		20,3	20,7	47,6	62,0	35,5	49,4	38,5	61,2	41,3	56,1	39,3	61,8
940	20,4		20,5	21,0	40,9	59,2	30,2	46,2	37,7	61,8	42,9	57,6	38,2	62,5
960	21,1		21,0	21,6	36,4	56,5	28,2	43,8	40,8	61,8	42,9	58,7	36,1	62,3
980	21,1		21,7	22,1	31,9	52,7	26,9	40,4	41,6	61,8	43,7	59,8	29,0	62,5
1000	22,2		21,5	21,9	32,6	49,6	27,0	37,2	40,2	62,3	43,1	60,6	34,1	62,7