

Stíněné komory pro ochranu datových center

Shielded chambers for safety data centers

Bc. Ivan Domček

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivan DOMČEK**
Osobní číslo: **A10530**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Stíněné komory pro ochranu datových center**

Zásady pro vypracování:

1. Popište reálné hrozby pro datová centra.
2. Diskutujte Konstrukci stíněných prostor a komor.
3. Uveďte návrhové postupy pro zamezení vniku/úniku EM vln stěnami, otvory a štěrbinami (stíněné dveře, okna, stínění ventilace a klimatizace).
4. Rozeberte požadavky na datové a napájecí filtry pro stíněné komory.
5. Navrhněte stíněnou komoru pro datové centrum.
6. Proveďte praktický výpočet/ odhad výsledné stínící účinnosti pro vybranou komoru.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Svačina, J. Elektromagnetická kompatibilita, 2001. VUT Brno. ISBN 80-21418737.
2. Clayton, P. R. Introduction to electromagnetic compatibility, 2006. Nakladatelství Wiley; Hoboken. ISBN 0471755001.
3. Wieckowski, T.,W. Janukiewicz, J.M. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Jan/Dec 2006, vol. 14, no. 5 (59), pg. 18-22.
4. Drinovsky, J., Kejik, Z. Electromagnetic Shielding Efficiency Measurement of Composite Materials, Measurement science review, 2009, vol. 9, no.4, pg. 109-112
5. Shielding effectiveness per far field measurement, Chomerics Premier conductive plastic, 2006. Test report. Chomerics, Woburn, Massachusetts. US.
6. Hemming, Leland, H. Architectural Electromagnetic Shielding Handbook: A Design and Specification, 2000. WileyIEEE Press. ISBN 978-0-7803-6024-2. 244 pg.
7. Tesche, F., M. Electromagnetic topology analysis of RF effects on electrical systems. Dostupné z www.ece.uic.edu/MURI-RF/kickoff/Tesche.ppt.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je seznámení s hrozbami a riziky pro datová centra. Diplomová práce rozebírá problematiku stíněných komor používaných v datových centrech. Praktická část se zabývá návrhem stíněné komory pro rozsáhlé členité datové centrum, které se skládá z konstrukční části, dveří, podlahy, otvorů pro ventilaci a klimatizaci, napájecích filtrů a datových filtrů. V další části je vytvořena simulace pro stínění v programu WIPL, kde je vytvořena krychle, v níž je umístěná štěrbina. Za pomoci vytvořených antén sledujeme stínící účinky.

Klíčová slova: stíněná komora, EMP zbraň, napájecí filtr, WIPL, stínění, stínící účinnost

ABSTRACT

The subject of this thesis is familiarization with the threats and risks for data centers. The thesis analyzes the shielded chambers used in data centers. The practical part deals with draft of shielded chamber for multiple data center, which consists of construction components, doors, floors, honeycombs for ventilation and air conditioning, power filters and data filters. The next part is a simulation program for screening in the program WIPL, where a cube is created, in which there is a slot. We monitor the shading effects with the help of created aeriels.

Keywords: shielded chamber, EMP gun, power filter, WIPL, shielding, shielding effecineness

Poděkování patří vedoucímu diplomové práci panu Ing. Stanislavovi Goňovi PhD. , za odborné rady, za vedení a za připomínky. Dále bych rád poděkoval rodině a známým za podporu při studiu.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 REÁLNÉ HROZBY PRO DATOVÁ CENTRA	13
1.1 KOMPROMITUJÍCÍ VYZAŘOVÁNÍ	13
1.1.1 Standardy.....	14
1.1.2 Základní požadavky na IS podle NBÚ.....	15
1.1.3 Principy a mechanismy vyzářování informací.....	16
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ PULZNÍ ZBRANĚ	18
1.2.1 Co je EMP?	19
1.2.2 Popis impulzu.....	20
1.2.3 Ochrana před EMP	21
1.2.4 Příklady EMP zbraní	21
1.2.4.1 Prototype DS EMP.....	21
1.2.5 EMP ohrožení v datových centrech	22
2 KONSTRUKCE STÍNĚNÝCH KOMOR	24
2.1 VLIV OTVORŮ A TECHNOLOGICKÝCH NETĚSNOSTÍ NA ÚČINNOST STÍNĚNÍ	24
2.2 SOUHRN HLAVNÍCH KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD PRO KONSTRUKCI STÍNĚNÝCH KOMOR	28
2.3 ÚČINNOST STÍNĚNÍ SE (SHIELDING EFFECTIVNESS)	29
2.4 MODULÁRNÍ SYSTÉM – KONSTRUKCE S POZINKOVANÝCH PLECHŮ.....	30
2.4.1 Stíněný panel	31
2.4.2 Stínící účinnost konstrukce s pozinkovaných plechů.....	32
2.5 KONSTRUKCE ZA POMOCI METALIZOVANÝCH TAPET.....	33
2.5.1 Metalizovaná tapeta	33
2.5.1.1 Příklad metalizované tapety: RSK Cu+Ni.....	33
2.5.2 Stínící účinnost stíněné komory z metalizovaných tapet	34
3 STÍNĚNÉ DVEŘE, OKNA A PROSTUPY PRO VENTILACI A KLIMATIZACI	35
3.1 VLIV OTVORŮ A TECHNOLOGICKÝCH NETĚSNOSTÍ DVEŘÍ A VENTILACÍ NA CELKOVOU ÚČINNOST STÍNĚNÍ.....	35
3.2 STÍNĚNÉ DVEŘE	35
3.2.1 Stíněné dveře s vysokým útlumem	35
3.2.2 Předělané stíněné dveře.....	37
3.3 STÍNĚNÍ PRO VENTILACI A KLIMATIZACI.....	38
3.4 STÍNĚNÉ OKNA	39
4 DATOVÉ A NAPÁJECÍ FILTRY	40
4.1 SÍŤOVÉ, NAPÁJECÍ ODRUŠOVACÍ FILTRY	40
4.1.1 Jednofázové odrušovací filtry s vysokým útlumem.....	41
4.1.2 Třífázové odrušovací filtry.....	42

4.2	DATOVÉ FILTRY	44
4.3	FILTRY PRO OPTICKÉ VEDENÍ.....	45
4.4	VGA A ANTÉNNÍ FILTRY	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
5	NÁVRH STÍNĚNÉ KOMORY PRO DATOVÉ CENTRUM.....	47
5.1	VÝBĚR KONSTRUKCE	47
5.2	PODLAHA STÍNĚNÉ KOMORY	48
5.3	STĚNY A STROP STÍNĚNÉ KOMORY.....	49
5.4	STÍNĚNÉ DVEŘE	50
5.5	OTVORY PRO KLIMATIZACI A VENTILACI.....	51
5.6	NAPÁJECÍ ODRUŠOVACÍ FILTRY	51
5.7	OSTATNÍ FILTRY	52
5.8	FINÁLNÍ ÚPRAVA	53
5.9	STÍNÍCÍ ÚČINNOST DATOVÉHO CENTRA.....	53
6	SIMULACE STÍNĚNÍ V PROGRAMU WIPL-D 3D EM SOLVER	54
6.1	VÝPOČET VLASTNÍ REZONANCE KOMORY	54
6.2	PROGRAM WIPL-D 3D EM SOLVER	55
6.3	VYTVOŘENÍ ANTÉNNÍHO SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ I_{REF}	56
6.4	VYTVOŘENÍ STÍNĚNÉ KOMORY SE ŠTĚRBINOU	58
6.5	MĚŘENÍ STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI	60
	ZÁVĚR	62
	CONCLUSION	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

V dnešní době internetu a informačních technologií je významným aspektem ochrana dat. Existuje několik set datových center v České Republice. Jedná se o obrovské datové sály, menší úložiště pro veřejnost, serverovny pro státní sféru. Technologie se stále inovují a zvyšuje se bezpečnost datových center. Kdysi se konkurence odlišovala rychlostí připojení, kapacitou dat, požárním systémem. Dnešní době se této podmínky vyrovnali a rozdílem může být právě v ochraně proti kompromitujícímu vyzařování a elektromagnetickému pulzu. Ochrana proti kompromitujícímu vyzařování je zakomponována v zákoně o NBÚ. Proto se prostory pro informační systémy, kde se uchovávají informace od stupně utajení důvěrné, musí chránit před kompromitujícím vyzařováním. V komerčním sektoru datových center existuje standard TIA-942, kde se doporučuje chránit datové centrum zabezpečené v TIER 3 a vyššíza pomoci stíněné komory.

Nejdůležitějším faktorem stíněných komor je požadována stínící účinnost. Podle požadované stínící účinnosti určujeme materiál a technologie pro konstrukci komory. Při nižších nárocích postačí konstrukce stíněných metalizovaných tapet, které se aplikují na všechny stěny místnosti, včetně stropu a podlahy. Pro nejvyšší stínící účinek se konstrukce skládá z oboustranně pozinkovaných plechů, který jsou pospojovány šrouby a EMC těsněním. Ve větších datových sálech se musí konstrukce stropu stíněné komory, pro stabilitu komory, kotvit u stropu stávající budovy. Pro stíněné místnosti se používají stíněné dveře. Pro vyšší stínění se používají speciální dveře vyrobené z pozinkovaných plechů, které obsahují dvojitý beryliový nůž pro dostatečný kontakt při zavírání. Pro nižší stínění se předělají dveře pomocí metalizovaných tapet a EMC těsnění. Když se v datovém centru nacházejí okna, musí se použít speciální stíněná okna, nebo se aplikují stíněné folie a těsnění na stávající okna. Pro otvory na klimatizaci a ventilaci se používají voštinové filtry. Na napájení datového centra se instalují odrušovací filtry s vysokým útlumem. Vyskytují se jak třífázové síťové filtry, tak i jednofázové síťové filtry. Pro přenos dat existují datové filtry a nejefektivnějším řešením je přenos po optickém kabelu, kde se používá jenom průchodka na optické vedení. Nemusí se aplikovat žádný filtr, protože se nejedná o metalické vedení. Každý nechráněný vstup nebo výstup z komory se může jevit jako anténa, přes kterou se dostane nežádoucí signál do komory. Proto se všechny vstupy musí filtrovat. Jde taky o anténní vstupy, VGA kabely, RS232, RJ45 apod. .

Stíněná komora pro datové centrum se ve finále jeví jako běžný prostor, protože se provádí finální úprava za pomoci sádkartonu nebo nátěru, minerálního podhledu a zvýšené počítačové podlahy, kde se mohou vést kabely nebo potrubí pro klimatizaci.

V praktické části simulují stínící účinnost na objektu se štěrbinou a v další části je podrobný návrh stíněné komory pro rozsáhlé datové centrum.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 REÁLNÉ HROZBY PRO DATOVÁ CENTRA

Nejslabším místem i toho nejkvalitnějšího datového centra je elektromagnetická ochrana. Prvním rizikem může být elektromagnetický útok za pomoci sofistikovaných elektromagnetických pulzních zbraní. Na internetu lze objevit značné množství těchto nebezpečných prostředků. Dalším rizikem je odposlech a následný únik informací a dat. V legislativě ČR je tohle riziko označováno jako elektromagnetické kompromitující vyzařování.

1.1 Kompromitující vyzařování

Kompromitující vyzařování (KV) je elektromagnetické, akustické nebo optické vyzařování elektrických a elektronických zařízení a IS, které by mohlo způsobit únik utajované informace.[1]

Parazitní elektromagnetické vyzařování je pojem, který se velmi často objevuje v literatuře zabývající se únikem informací. Co to vlastně je. Definicí říká, že je to neúmyslné působení informačních signálů, které jestliže jsou zachyceny a analyzovány, prozradí obsah vyslané, přijaté, uchovávané nebo jinak zpracovávané informace národního charakteru jakýmkoliv elektronickým prostředkem nebo zařízením. Velká pozornost se tomuto jevu věnuje v bezpečnostních složkách všech vyspělých států.

S definicí kompromitujícího vyzařování úzce souvisí termín TEMPEST. Jde o odborný termín, vztahující se ke zjišťování a zkoumání kompromitujícího elektromagnetického vyzařování, což jsou vlastně neúmyslně vyzářené elektromagnetické signály, které pokud zachyceny a analyzovány, mohou odhalit (prozradit) obsah zpracovávané informace (např. zobrazované na monitoru nebo tištěné na tiskárně). [1]

Elektronická zařízení vzhledem ke své konstrukci a použité technologii jsou citlivá na vnější rušení a sama také elektromagnetickou energii (rušení) vyzařují. Pokud elektronická zařízení (která jsou vždy součástí IS) zpracovávají informace, může jimi vyzařovaná energie v sobě nést zpracovanou informaci. [1]

Proto u IS, které zpracovávají utajované informace, je třeba při jejich návrhu, instalaci a provozu dodržet jistá pravidla, která snižuje riziko úniku utajované informace formou tohoto kompromitujícího elektromagnetického vyzařování.

V ČR je aplikován tzv. „zónový princip“, při němž se jednotlivé komponenty nebo celý IS hodnotí z hlediska TEMPEST tzv. třídou a prostorem, kde je IS umístěn, je přiřazena tzv. zóna. [1]

1.1.1 Standardy

Standardy používané k hodnocení informačních systémů (IS) z hlediska kompromitujícího vyzařování (KV):

- a. Hodnocení IS (určení třídy IS) se provádí podle standardu NBÚ vycházejících z dokumentů NATO řady SDIP, a také podle převzaté evropské normy k hodnocení úrovně rušení komerčních zařízení informačních technologií ČSN EN 55022.
- b. Hodnocení prostorů (určení zóny prostoru) se provádí podle dokumentu NATO SDIP-28 a bezpečnostního standardu NBÚ.

Dokumenty pro hodnocení IS (tj. Např. Počítačových sestav):

- SDIP-27 – dokument NATO. Podle požadavků tohoto dokumentu se zařízení (IS) rozděluje do tříd 0 až 2.
- ČSN 55022 – civilní norma převzatá z evropské normy. Na základě výsledků měření podle této normy, je výrobcem, popř. dovozcem vydáváno tzv. „Prohlášení o shodě“. Dle zákona č. 22/1997 Sb. by každé elektronické zařízení prodávané v ČR mělo být testováno podle této popř. obdobné normy, a mělo by mít „Prohlášení o shodě“. Zařízení (IS) vyhovující této normě jsou hodnocena jako zařízení třídy 2. [2]

Dokumenty pro hodnocení prostorů:

- SDIP-28 – dokument NATO. Obsahuje obecnou metodiku měření útlumu prostředí a stanovuje limitní hodnoty útlumu pro jednotlivé zóny. Podle tohoto dokumentu se prostory rozděluje do zón 0 až 2.
- Klasifikace prostorů z hlediska kompromitujícího elektromagnetického vyzařování – bezpečnostní standard NBÚ 1/2007.

Dokument pro instalaci IS:

- SDIP-29 – dokument NATO. Stanovuje požadavky na konkrétní umístění IS, především na minimální vzdálenost od metalických vedení a od ostatních elektronických zařízení.
- Instalace zařízení z hlediska kompromitujícího elektromagnetického vyzařování – bezpečnostní standard NBÚ 2/2007

Měření a hodnocení zařízení:

- SDIP-27 – měření a hodnocení IS podle tohoto standardu provádí pouze NBÚ, přičemž bez měření jsou ohodnocena všechna zařízení splňující ŠCN 55022 s vydaným „Prohlášením o shodě“ jako zařízení třídy 2. Pro hodnocení zařízení jako třída 1 a třída 0 je nutné provést měření na specializovaném pracovišti NBÚ. [2]

1.1.2 Základní požadavky na IS podle NBÚ

- Pro stupeň utajení „Vyhrazené“, „Důvěrné“, „Tajné“ a „Přísně tajné“ je nutno u všech komerčních zařízení položit splnění požadavků na elektronickou bezpečnost a elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) podle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. Jedná se o tzv. „Prohlášení o shodě“ na toto zařízení. [1,2]
- Pro zpracování informací „Důvěrné“, „Tajné“ a „Přísně tajné“ je dále vyžadováno, aby NBÚ z hlediska možného zneužití kompromitujícího vyzařování posoudil prostory, v nichž mají být zařízení informačního systému umístěná, a stanovil požadavky na použité zařízení nebo doporučil změny vedoucí ke zlepšení přiřazené zóny. Rozhodnutí závisí zejména na stupni utajení zpracovaných informací, v případě stupně utajení „Důvěrné“ se přihlíží i k charakteru a rozsahu zpracování těchto informací. Požadovaná opatření se pak u požadavků na zařízení pohybují od doložení splnění elektromagnetické kompatibility pro jednotlivé komponenty informačního systému případně použití komponent s nižší úrovní kompromitujícího vyzařování až po použití „tempestovaných zařízení“. U požadavků na zlepšení zóny se jedná o přemístění informačního systému nebo použití stínících komor případně stíněných místností. [1,2]

- Pokud jsou zpracovávány utajované informace stupně utajení „Důvěrné“, „Tajné“ nebo „Přísně tajné“, vyžaduje se napájení IS ze síťových přívodu vybaveného vysokofrekvenčním filtrem. Pro zpracování utajovaných informací stupně utajení „Důvěrné“ lze použít jakýkoliv schválený (ČSN) komerční typ, pro zpracování utajovaných informací vyšších stupňů utajení je nutná konzultace s NBÚ. [1,2]
- V případě, že IS obsahuje vysílač, je třeba vždy konzultace s NBÚ.
- U komponentů IS, které obsahují paměti typu RAM (např. tiskárny), je nutné počítat s tím, že informace v těchto pamětech zůstávají i po odpojení napájecího napětí. Tomu je třeba přizpůsobit režim zacházení s těmito komponentami. V případě servisu či jiné manipulaci neproověřenými osobami se např. doporučuje obsah paměti přepsat neutajovanými informacemi.
- Musí být zohledněny instalační požadavky – většinou dodržení určité vzdálenosti komponent informačního systému (počítač, monitor, klávesnice, myš, tiskárna apod.) od metalických vedení a jiných zařízení (např. běžných telefonů), orientace monitorů vzhledem k oknům a stěnám místností.
- Pro LAN je nutno zahrnout do úvah i kabeláž a aktivní prvky sítě. V této oblasti je opět nutné posouzení NBÚ. U nově budovaných sítí pro stupeň utajení „Důvěrné“ a vyšší doporučujeme konzultaci z NBÚ.

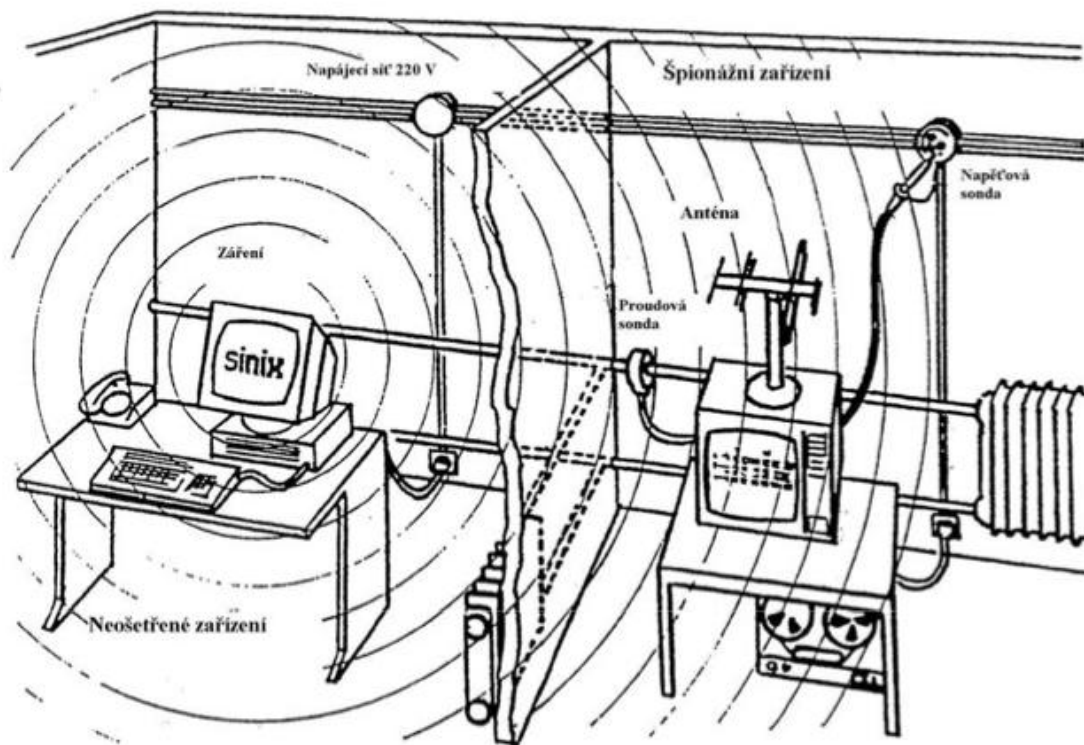
Hodnocení zařízení a prostorů provádí NBÚ pracoviště TEPEST na základě vlastních měření nebo měření provedených na odborném pracovišti, se kterým má/bude mít NBÚ uzavřenou smlouvu o provádění takových činností (podle zákona č 412/2005 Sb.). Na pracovišti TEMPEST je k dispozici aktualizovaný seznam počítačových sestav třídy 1 vybraných z komerčních typů. [1,2]

K dispozici je i seznam dodavatelů zařízení třídy 0 a stínících komor. Tato zařízení však vždy musí být podrobena kontrolnímu měření a odsouhlasena NBÚ. Pracoviště TEMPEST provádí i poradenskou činnost v oblasti kompromitujícího vyzařování. [1,2]

1.1.3 Principy a mechanismy vyzařování informací

Každý elektrický obvod může produkovat elektromagnetické záření, které se šíří prostorem a je ho možno zachytit na poměrně velkou vzdálenost. Pokud jsou informace přenášeny prostorem, radiovými vlnami nebo po vodičích, je možno je zašifrovat (i když při současném stavu výpočetní techniky je možno poměrně rychle tyto zprávy dešifrovat) a

tím poněkud oddálit okamžik zneužití informace. Jsou však situace, kdy je třeba informace zpracovávat popř. uchovávat v nezakódovaném tvaru. Představme si modelovou situaci, která je na obr. 1. [3]



Obrázek 1 Situace při zneužití parazitního elektromagnetického vyzařování [3]

Na obrázku je vidět neošetřený výpočetní systém, který samozřejmě v souladu s fyzikálními zákony vyzařuje do okolí elektromagnetickou energii. Tato energie se jednak šíří prostorem, jednak se indukuje do vodičů ve svém okolí. Ve vedlejší místnosti je vidět zařízení, které umožňuje toto parazitní (nechtěné) elektromagnetické vyzařování zachytit zpracovat a zneužít. Je vidět, že vyzařování je možno zachytit různým způsobem. Anténou je možno zachytit vyzařování šířené prostorem, sondami pak vyzařování z vodičů společných oběma místnostem nebo dokonce z kovových trubek ústředního topení. Skutečnost samozřejmě není tak jednoduchá, ale zkušenosti a experimenty ukazují, že je skutečně možné na poměrně velkou vzdálenost (několik desítek metrů) zachytit a zobrazit obsah obrazovky nebo zachytit znaky z klávesnice.

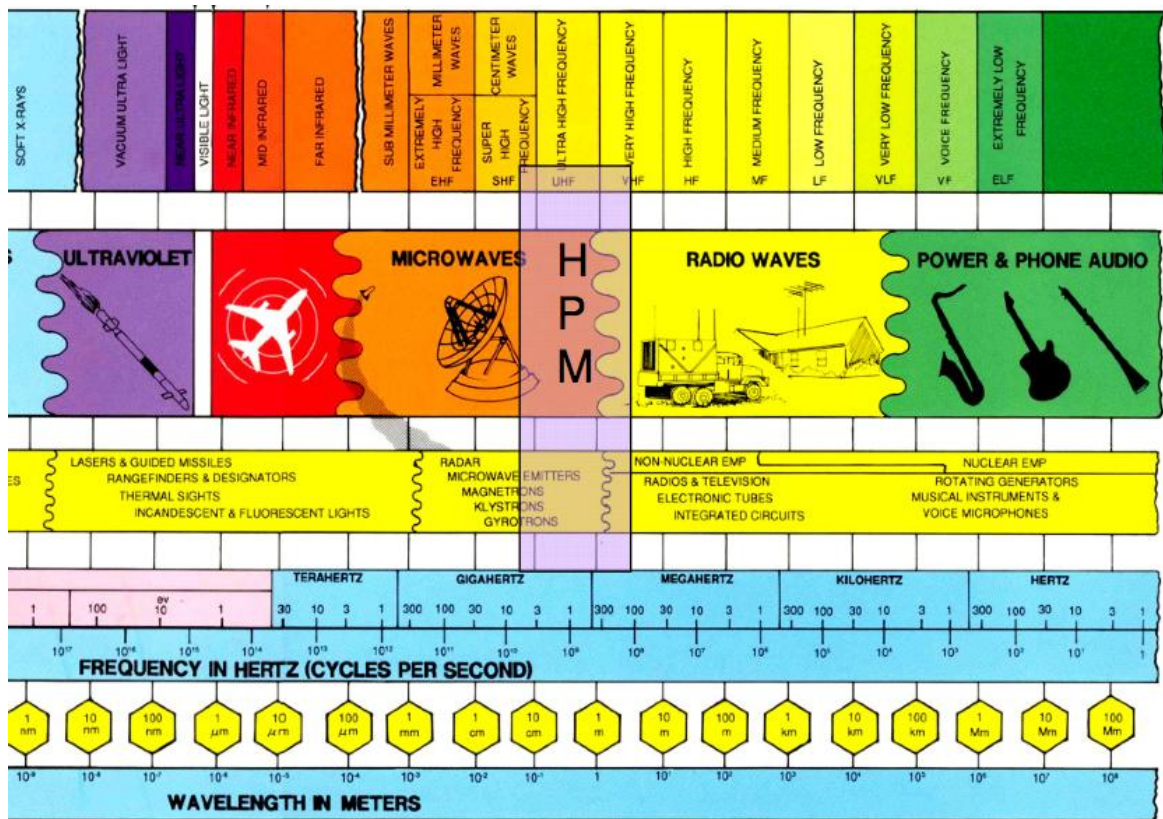
Měření elektromagnetického vyzařování je možno provádět měřicími přijímači, které umožňují měřit intenzitu elektrické i magnetické složky elektromagnetického pole ve velmi širokém frekvenčním spektru, nebo velmi nízké úrovně vf napětí, které se vyskytuje ve vodičích.

Jako měřicí senzory vyzařované energie se používají antény různých druhů a typů. Dále je možno při měření používat napěťové, proudové a výkonové sondy. Vzhledem k tomu, že elektronické komunikační a informační systémy, které jsou hlavním předmětem zájmu z hlediska uniku informací, vyzařují široké elektromagnetické spektrum, které má rozsah od několika stovek Hz až po desítky GHz, je měření poměrně složité. Při měření působí celá řada faktorů, které mohou měření znehodnotit a vést k nesprávným závěrům. Je zřejmé, že ne každá vyzařovaná spektrální složka nese informaci. Velká většina frekvenčních složek má náhodný nebo periodický charakter a informaci neobsahuje. Příkladem vyzařování, které informaci nese, může být např. spínaný zdroj a příkladem rušení, které informaci naopak obsahuje, může být signál z klávesnice nebo monitoru.

Vedle měřicích přijímačů, které naměřené výsledky vydávají ve formě frekvenčního spektra a umožňují zjistit a kvantifikovat parazitní elektromagnetické vyzařování, je možno pro zjištění zda vyzařovaný signál obsahuje informace použít číslicový osciloskop. Pro zpracování naměřených údajů dále existují počítačové programy, které umožňují podrobnou časovou i frekvenční analýzu naměřených údajů. Zkoumání parazitního elektromagnetického vyzařování je záležitost poměrně zdlouhavá a nákladná, protože přístroje pro měření typu TEMPEST jsou poměrně dost drahé a jejich obsluha a zpracování výsledků vyžaduje zkušené a fundované odborníky.[3]

1.2 Elektromagnetické pulzní zbraně

Princip zbraní využívajících elektromagnetický puls (EMP) je znám poměrně dlouho. V USA byly pokusy policie o využití EMP pro vyřazení elektroniky pronásledujícího vozidla a následném zastavení vozidla. Obecně se s efektem EMP setkáváme nejčastěji u blesku. Při úderu blesku je zcela běžné, že v nechráněné budově se částečně nebo i celkově zničí veškerá elektronika. Vojenské využití EMP bylo zkoumáno původně u atomových zbraní, protože jaderný výbuch vysílá záření na všech vlnových délkách. Některé studie ukazují, že při výbuchu ve velké výšce (řádově desítky kilometrů) se může EMP projevit ve vzdálenostech nad 1 000 kilometrů. [4]



Obrázek 2 HPM (High-Powered microwave) v elektromagnetickém spektru. [6]

1.2.1 Co je EMP?

Elektromagnetický puls by se dal popsat jako energetická "tlaková vlna", která se od zdroje šíří s intenzitou, která klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Tato "vlna" je ve skutečnosti hranice pohybujícího se elektromagnetického pole s vysokou energií. A právě této energie lze využít jako mimořádně účinné zbraně. EMP může být až neuvěřitelně efektivní proti veškeré komunikační technice a vůbec všemu, co využívá elektroniku. V zásadě jde o to, že ono elektromagnetické pole nese napětí řádově v kilovoltech, tedy tisících voltů. A teď si uvědomte, že veškeré integrované obvody a mikročipy jsou stavěné nejvýše na jednotky voltů (zpravidla spíše na desetiny voltu). Jestliže se jejich minimální odpor setká s kilovoltovým napětím, vzniknou proudy v hodnotách tisíců nebo i miliónů ampérů. Veškeré obvody se doslova usmaží! V okruhu vlivu EMP budou zničeny mimo jiné všechny telefony, vysílačky, televizory a počítače, pokud nejsou chráněny proti mimořádnému přepětí (což asi nejsou). Další efekt EMP spočívá v tom, že ono elektromagnetické pole na všech větších vodivých předmětech naindukuje dost značná napětí a proudy, což může být velice nebezpečné. Objevily se i studie, které poněkud

zpochybňují zařazení EMP zbraní mezi nesmrtící. Dokládají, že v menších zařízeních, v nichž je "nahuštěno" mnoho elektroniky (např. mobilní telefony nebo notebooky), dojde po zásahu EMP k takovému zahřátí vzduchu, že celé zařízení jednoduše exploduje. Uznejte, že výbuch mobilu v náprsní kapse může být dost nepříjemný. [4]

1.2.2 Popis impulzu

Samotný magnetický impuls neobsahuje nikterak závratnou magnetickou intenzitu, dá se srovnat se silnými neodymovými magnety (nejslabší EMP), ničivost pulsu spočívá v jeho rychlosti. Tudiž čím bude rychlejší změna magnetického toku, tím bude naindukované napětí větší. Tudiž B (magnetická indukce) vypočítáme z H (magnetické intenzity) takto

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

kde μ_0 je permeabilita vakua, μ_r je relativní permeabilita. Takže pokud budeme vycházet z toho, že EMP je silné jako neodymové magnety, budeme tedy počítat s hodnotou 1,5 T, což je běžná hodnota u neodymových magnetů. Za plochu S si dosadíme plochu drátu, například 1 m * 1 mm a za indukci B velikost indukce.

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

úhel α je úhel, který svírá normálový vektor plochy s vektorem magnetické indukce. Jinými slovy nám určuje, pod jakým úhlem dopadá magnetický tok na plochu. Vycházejme z toho, že magnetický tok dopadá z 90°.

Takže teď už jen zbývá spočítat naindukované napětí:

$$U = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

při dosazení 0,0015 Wb za Φ a 0,000001 s za t vyjde napětí 1500 V na drátu s plochou 0,0015 m² například mobilní telefon má plochu 10 cm * 4 cm což je 0,0004 m², při indukci 1,5 T nám vyjde tok 0,0006 Wb a při 1 μ S je toto naindukované napětí rovno 60 V, což je pro mobilní telefon pracující s 3-4 V absolutně smrtelné.

Ionizovaný vzduch také naruší rádiový provoz na těch typech vln, které používají odraz od ionosféry ke svému šíření. Vysílače využívající k šíření přímou viditelnost (FM pásmo) by měly být normálně slyšet, pokud nedostanou zásah EMP pulsem také. [5]

1.2.3 Ochrana před EMP

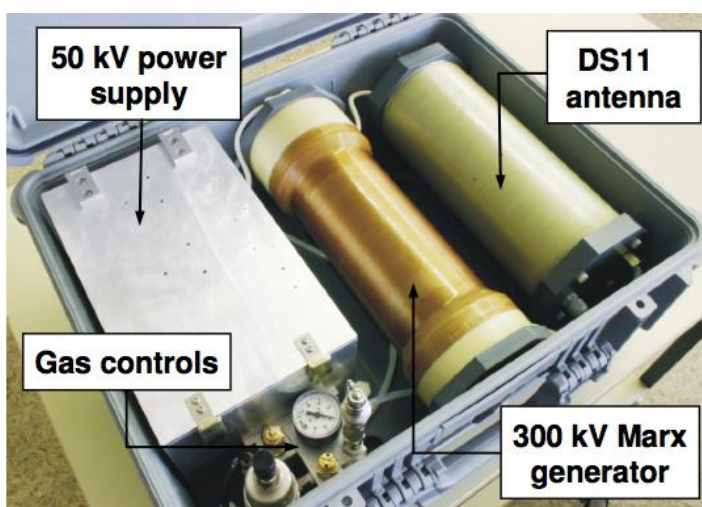
Elektrické přístroje lze, jak už bylo řečeno výše, ochránit tím že je vložíme do uzemněné kovové krabičky, nebo do Faradayovy klece. Tímto je ochráníme před elektrickou složkou pulsu, ovšem abychom přístroje uchránili i před magnetickou složkou pulsu, musíme je vložit do magneticky vodivé krabičky (železo, ferit). Pokud je spotřebič v síti (230 V, LAN, atd.) je vhodné spotřebič ochránit na těchto vstupech transilem nebo trisilem. Těmito součástkami se dají ochránit i vstupy antén. Samozřejmě odstíněná rádia nemohou správně pracovat, avšak starší zařízení na bázi elektronik není tak náchylné k působení EMP. Proto byla v době studené války sovětská letadla vybavována elektronickými systémy založenými na elektronkách. Ovšem sebelepší stínění nepomůže, pokud je přístroji ponechána zapojená anténa. [5]

1.2.4 Příklady EMP zbraní

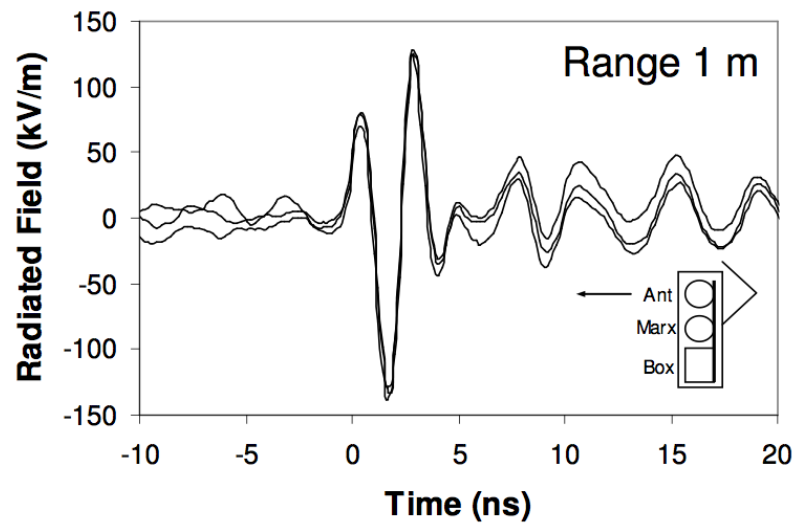
Na internetu můžeme najít a za několik centů stáhnout schémata a podrobný popis pro zhotovení pulzní zbraně. V některých případech se jako součástka může použít mikrovlnná trouba. Dokonce na amerických stránkách lze koupit celé zařízení. Manipulace s pulzními zbraněmi je velice nebezpečná. V některých případech je pulz nekontrolovatelný.

1.2.4.1 *Prototype DS EMP*

Kompaktní přenosný systém pro krátký dosah narušení elektrického cílů. V zadní části se nachází plechový kryt, který by měl ochránit útočníka. Vhodný pro testování odolnosti proti pulzním zbraním strategických objektů. [6]



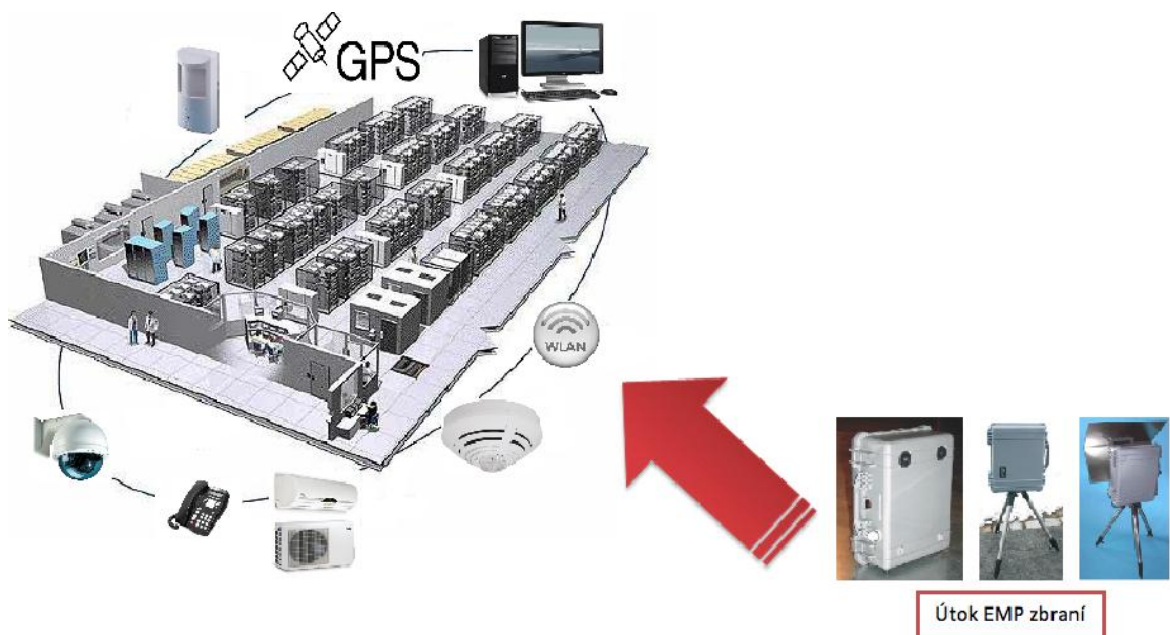
Obrázek 3 Pulzní zbraň v kufříku [6]



Obrázek 4 Průběh EMP [6]

1.2.5 EMP ohrožení v datových centrech

Za pomoci EMP zbraní lze vyřadit elektronické systémy napadeného objektu data centra. Rozsah škod a poškození určuje ochrana objektu, výkon EMP zbraně a rozhodující faktor je vzdálenost EMP zbraně a objektu napadení.



Obrázek 5 Hrozba EMP na data centrum

Ohrožené systémy:

- Datové servery
- CCTV systém
- Elektronický zabezpečovací systém
- Mobilní telefony
- Komunikační systém
- EPS
- Monitory
- Klimatizace a větrání
- A mnoho dalších, kde se nacházejí elektronické součástky

2 KONSTRUKCE STÍNĚNÝCH KOMOR

Konstrukce stíněných komor je základem celého systému stínění datového centra. Podle úrovně požadovaného účinného stínění vybíráme technologie konstrukcí. V minulosti používaná technologie svařování byla v dnešní době nahrazena technologií modulárního systému oboustranně pozinkovaných plechů pospojovaných pomocí šroubů a speciálního EMC těsnění a technologii speciálních metalizovaných tapet, které se aplikují po celém obvodu místnosti. Nejdůležitějším faktorem při zhotovení konstrukcí je preciznost a dodržení všech důležitých podmínek ke kvalitnímu pospojování všech částí komory.

2.1 Vliv otvorů a technologických netěsností na účinnost stínění

Kromě zajištění požadované účinnosti stínění musí stínicí komora pro datové centrum splňovat i další technické požadavky nutné pro správný chod celého objektu, např. správný tepelný režim datového centra, tj. chlazení a větrání, technologičnost konstrukce, opravitelnost konstrukce komory, tj. rozebíratelnost stíněné komory. Všechny tyto funkce nelze zajistit, aniž se naruší kompaktnost, celistvost a homogennost kovové stínicí plochy. Každá reálná stínicí komora tak obsahuje řadu nehomogenit, netěsností a přerušení, jejichž existence do značné míry určuje skutečnou účinnost její stínění. V praxi rozlišujeme tři druhy technických nehomogenit v kovových komorách:

- Otvory, štěrby a další otevření stínicí plochy (např. dveře, okna, větrací otvory, štěrby a netěsnosti mezi jednotlivými kovovými plochami stínění, vstupní otvory pro přípojné kabely, vedení, příp. vnější mechanické ovládací prvky stíněného zařízení).
 - Špatně vodivé (vysokoimpedanční) části stínění (vodivě nedokonalá spojení jednotlivých částí stínění, nedokonale vodivé průhledné plochy (skla)).
 - Vnější přívodní kabely a přípojná vedení (napájecí, signálové a datové kabely, jimiž se mohou dostávat elektromagnetické rušivé signály do vnitřního prostoru stínicího krytu).
- [7]

Hlavní vliv na výslednou účinnost stínění kovových krytů mají otvory ve stínicí ploše. Malý kruhový otvor o poloměru a v tenké kovové přepážce, na kterou dopadá rovinná elektromagnetická vlna, se vůči stíněnému prostoru chová jako plošná anténa s výkonovým ziskem, [7]

$$G = \frac{P_t}{P_i} = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{2\pi a \cdot f}{c} \right)^2;$$

kde P_i je výkon vlny dopadající na stínící plochu s otvorem a P_t je výkon vlny prošlé do stíněného prostoru za otvor. Podle základní definice je pak účinnost stínění tenké kovové přepážky s jedním malým kruhovým otvorem rovna

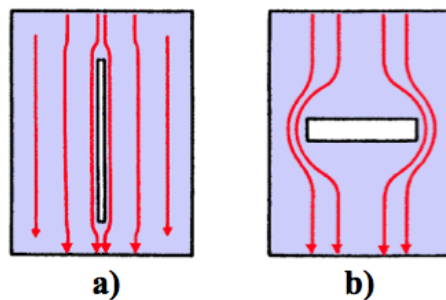
$$SE_{\circ} = R_{\circ} = 10 \cdot \log \frac{P_i}{P_t} = 10 \cdot \log \frac{1}{G} = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2\pi a} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi a \cdot f}; [dB]$$

Je-li ve stínící přepážce celkem n otvorů, je zisk G úměrný jejich celkové ploše, tedy počtu otvorů n . Účinnost stínění tenké kovové přepážky s n stejnými kruhovými otvory je pak rovna

$$SE_{\circ} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi a \cdot \sqrt{n}} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi \cdot a \cdot f \cdot \sqrt{n}}; [dB]$$

Dlouhé štěrby v kovovém stínění se mohou chovat jako účinné štěrbinové antény, které podle své orientace vůči dopadající elektromagnetické vlně, příp. vůči proudům protékajícím po stínící přepážce, mohou intenzivně vyzařovat dovnitř (chráněného) prostoru stínící komory a tím výrazně snižovat účinnost stínění. Případy nejlepší a nejhorší orientace podlouhlé štěrby v kovové stínící ploše z hlediska jejího vyzařování jsou naznačeny v obr. 6. Protože v praxi neznáme orientaci vlny dopadající na stínící přepážku, je v oblasti EMC nutno vždy předpokládat nejhorší možný případ, tedy situaci dle obr. 6.b. Pro tuto orientaci lze odvodit vztah pro účinnost stíněné komory s pravoúhlou štěrbinou.

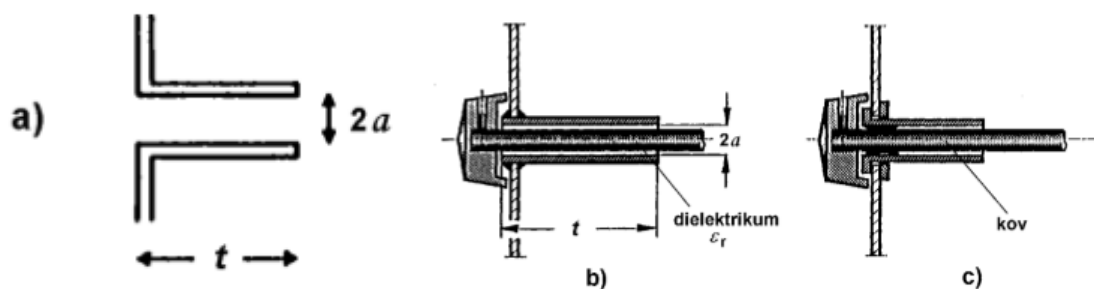
$$SE = R + A = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2l} + 27,2 \cdot \frac{t}{l} = 20 \cdot \log \frac{c}{2l \cdot f} + 27,2 \cdot \frac{t}{l}; [dB]$$



Obrázek 6 Orientace nevyzařující (a) a vyzařující (b) podlouhlé štěrby v kovové stínící komoře [7]

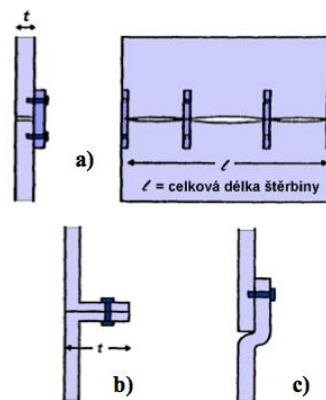
Pomocí „podkritického“ dutého kovového vlnovodu, tj. vlnovodu provozovaného pod svým nejnižším mezním kmitočtem, se v technice elektromagnetického stínění realizují

rovněž průchody a otvory nutné např. pro zavedení kabelů či mechanických ovládacích prvků do vnitřku stíněného prostoru, nebo pro zajištění jeho větrání. Princip takového „vlnodového“ průchodu kovové stínicí stěny je naznačen na obr. 7.a. Příslušné rozměry t , a je přitom nutno volit tak, aby bylo dosaženo žádané účinnosti stínění. Nejvyšší kmitočet rušivého signálu, pro který bude průchod dosahovat požadovanou hodnotu SE, musí přitom být $f \ll f_m$, kde $f_m = c/\lambda_m = c/(3,41a)$. Bude-li průchod vyplněn pevným dielektrikem s relativní permitivitou ϵ_r (např. dielektrickým hřídelem ovládacího prvku podle obr. 7.b), klesá mezní kmitočet tohoto vlnovodu, takže účinnost SE bude zajištěna „pouze“ na kmitočtech $f \ll f_m = c/(\lambda_m \cdot \epsilon_r) = c/(3,41a \cdot \epsilon_r)$. Je-li hřídel kovový, nelze „vlnodové tlumení“ použít vůbec a průchod musí být galvanicky dokonale uzavřen, např. pružinovými kontakty dle obr. 7.c. [7]



Obrázek 7 Průchodky v kovovém stínění na principu „podkritického“ vlnovodu: a) základní provedení, b) průchod s dielektrickým průvlakem, c) průchod s kovovým průvlakem [7]

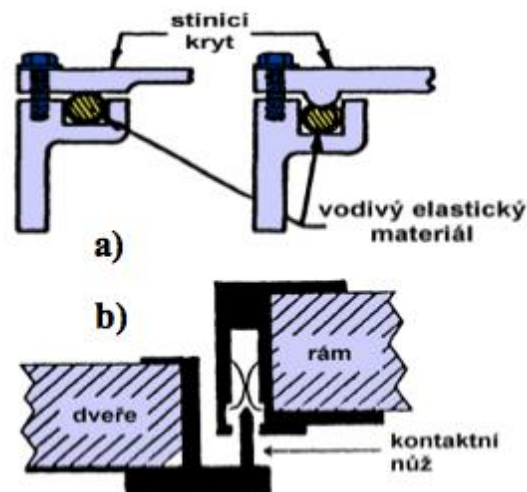
V stíněných komorách vznikají i neúmyslné a nechtěné štěrbiny a průchozí netěsnosti, zejména v místech spojení dílčích stínicích ploch celkového kovového krytu. Tyto štěrbiny, jejichž možný vznik při spojení ne zcela ideálně opracovaných kovových desek způsobem „na tupo“ je zobrazen na obr. 8.a, mohou přitom dosáhnout značných délek (podle rozlohy celé stínicí plochy až desítky cm), [7]



Obrázek 8 Vznik nežádoucích štěrbin při spojení částí stínícího krytu „na tupo“ (a) a způsoby zlepšení účinnosti stínění překryvem spojovaných částí (b,c) [7]

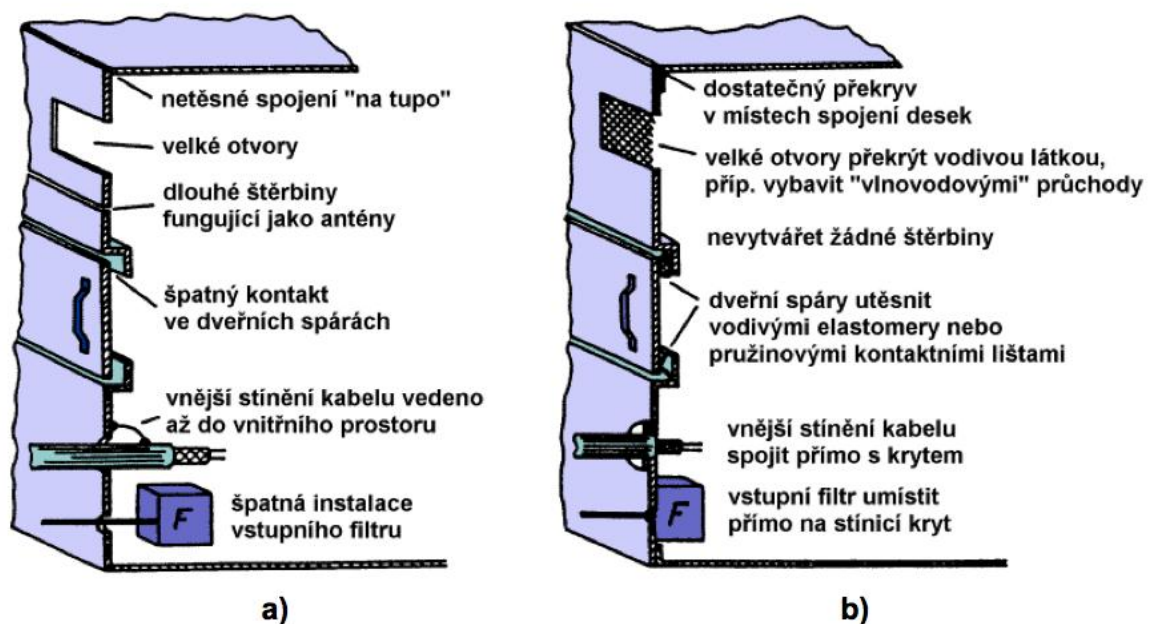
a tím výrazně snížit účinnost stínění kovového krytu již od poměrně nízkých kmitočtů. Potlačit vliv těchto netěsností lze zlepšením způsobu spojení dílčích kovových desek jejich dlouhým vzájemným překryvem dle obr. 8.b nebo obr. 8.c. Těmito způsoby vlastně tvoříme „podkritický vlnovod“ o dostatečné délce t , atím zvyšujeme celkovou účinnost stínění SE, příp. „posouváme“ hranici jejího poklesu k vyšším kmitočtům. [7]

Dalším zdrojem technologicky podmíněných elektromagnetických netěsností stínících komor jsou místa mechanických spojů dílčích částí komory. Kromě principu „podkritického“ vlnovodu se elektromagnetická těsnost těchto míst dosahuje užitím elastických a současně vysoce vodivých materiálů (past, silikonů apod.), které se nanášejí do míst spojení a mechanickým tlakem spojovaných částí zcela vyplní štěrbinu mezi nimi. Tato technika je vhodná zejména tam, kde z konstrukčních či údržbových důvodů je nutno stínící kryt čas od času rozebrat a opět sestavit. Příklad užití vodivého elastického materiálu pro zajištění elektromagnetické těsnosti konstrukce je na obr. 9.a. Velmi kvalitní vodivý kontakt bez štěrbin musí být zajištěn rovněž u všech dveří a dalších často otvíraných přístupů do stíněné komory či místnosti. V zavřeném stavu musí tyto přístupy (dveře) zajišťovat dokonalou elektromagnetickou těsnost. Toho se v praxi dosahuje užitím pružinových kontaktů na pohyblivých částech, příp. užitím pérových nožových kontaktů. Příklad je uveden na obr. 9.b. [7]



Obrázek 9 Řešení elektromagnetického těsnění pomoci vodivých elastomerů (a) a nožových kontaktů (b) [7]

2.2 Souhrn hlavních konstrukčních zásad pro konstrukci stíněných komor



Obrázek 10 Zásady elektromagnetických stíněných komor: a) chybná konstrukce z hlediska EMC, b) zlepšená konstrukce k dosažení vyšší účinnosti stínění [7]

2.3 Účinnost stínění SE (Shielding Effectiveness)

Elektromagnetické stínění je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků EMC umožňujících jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení pole rušivých signálů ve vymezené části prostoru. Technické prostředky (konstrukce), kterými dosahujeme uvedených cílů, nazýváme stínicími kryty či stíněním. Stínění se užívá k ochraně jak jednotlivých součástek a funkčních bloků, tak i celých elektronických zařízení, která mohou být současně zdroji i přijímači elektromagnetického rušení. Stínění je jedním z vysoce efektivních způsobů elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením kontinuálního či impulzního charakteru.

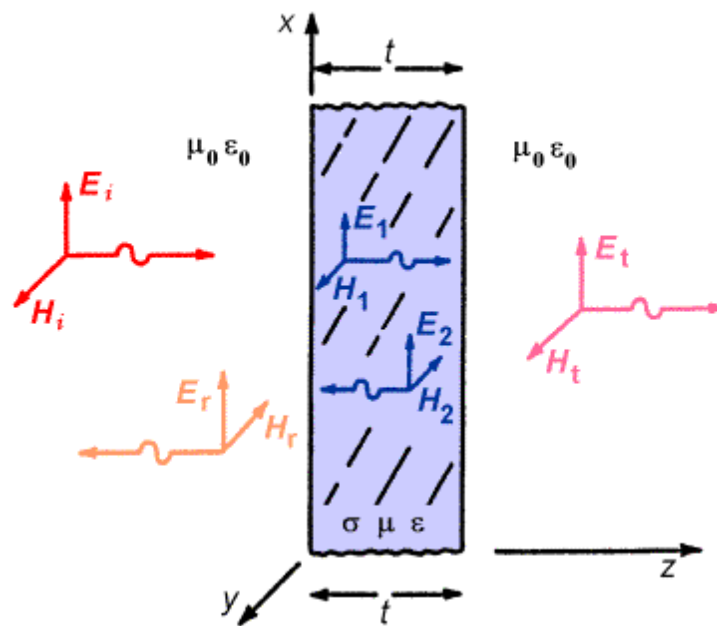
Působení elektromagnetického stínění jakožto lineárního systému lze charakterizovat tzv. koeficientem stínění K_s , který je definován poměrem intenzity elektrického pole E_t (nebo magnetického pole H_t) v určitém bodě stíněného prostoru k intenzitě E_i (H_i) pole dopadajícího na stínicí přepážku (neboli pole v tomtéž bodě bez stínicí stěny), jak je naznačeno na obr. 6 [7]

$$K_s = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{nebo} \quad K_s = \frac{H_t}{H_i}$$

V praxi se většinou užívá logaritmická míra tohoto koeficientu nazývaná efektivnost či účinnoststínění (útlum stínění), angl. Shielding Effectiveness.

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_s|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right|; SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| [\text{dB}]$$

Je-li dopadající vlna homogenní a prostředí na obou stranách stínicí přepážky stejné, jsou obě definice SE stejné, neboť elektrické a magnetické pole jsou vzájemně vázány stejnou charakteristickou impedancí prostředí. U stínění v blízké zóně elektromagnetického pole, příp. přírůzných prostředích na obou stranách stínění, dávají vztahy různé výsledky. I v těchto případech se obvykle užívá první definice. [7]



Obrázek 11 Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku [7]

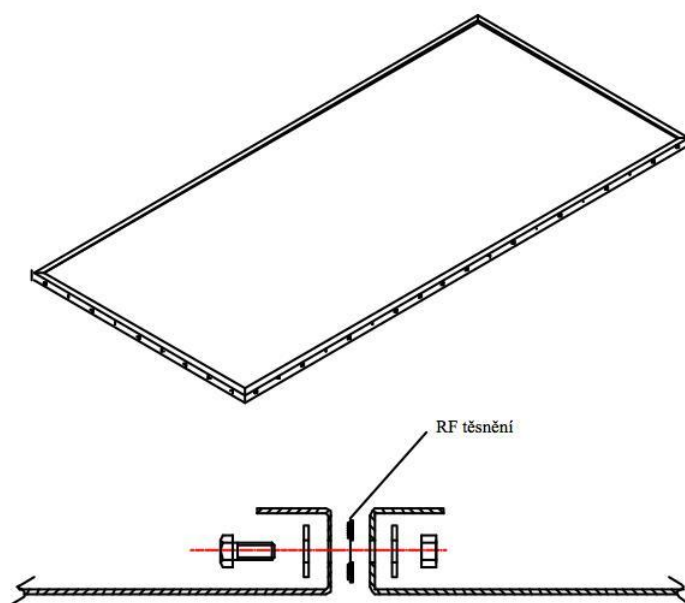
2.4 Modulární systém – konstrukce s pozinkovaných plechů

Stínící místnost je konstruována modulárním systémem stínících panelů. V důsledku modularity systému, může být místnost rozebrána a postavena na jiném místě. Modulární systém překonává problém svařované technologie, která nikdy nemůže být rozebrána a znovu postavena. Panely jsou pozinkované (z obou stran) ocelové panely o tloušťce 2mm. Panely jsou vybaveny děrovými přírubami 40 mm a jsou přišroubovány maticemi a šrouby M10 s použitím vysoce výkonného EMC těsnění. Jednotlivé spoje panelů jsou dotaženy na přesně stanovený konstantní točivý moment.

Největší výhoda modulárního systému je v modularitě panelů, z kterých se může poskládat i členitější prostory, například obejít sloup nebo vazník. Technologie modulárního systému je z hlediska instalace velmi čistá technologie. Nevzniká nepříjemný dým ze svařování. Ještě před samotnou instalací jsou hrany panelů broušené a začištěné s cílem zajistit co nejlepší kontakt. Podlahové panely stínící komory jsou položeny na speciální vrstvu těsnění, která chrání komoru proti vlhkosti.

2.4.1 Stíněný panel

Celá konstrukce stíněný místnosti se skládá ze stíněných panelů. Panely jsou pospojovány pomocí M10 šroubů a mezi hrany panelů se vkládá EMC těsnění. Panely jsou dotaženy momentovým klíčem na předem určený točivý moment. Vzdálenost mezi šrouby v panelu je 150 mm.



Obrázek 12 Detail spojení panelů [8]

Parametry panelu:

Materiál:	oboustranně žárově pozinkované plechy
Tloušťka:	2 mm
Vrstva zinku:	275 g/m ² , tloušťka 20 μm
Standardní rozměr panelů:	2850 x 1350 mm



Obrázek 13 Konstrukce stíněné komory [8]

2.4.2 Stínící účinnost konstrukce s pozinkovaných plechů

Stínící účinnost komor s konstrukcí s pozinkovaných plechů patří k tím nejvyšším. Kvalita stíněné komory je závislá od preciznosti provedení konstrukce, protože vynechání šroubu nebo špatné dotažení šroubů, může mít za následek snížení stínící účinnosti.

Elektromagnetické pole	Frekvence	Stínící účinnost
Magnetické pole	10 kHz	70 dB
	100 kHz	90 dB
	1 MHz	100 dB
	10 MHz	100 dB
Elektrické pole	30 MHz - 300 MHz	100 dB
Rovinné vlny	300 MHz - 10 GHz	100 dB
Mikrovlny	10 GHz - 40 GHz	100 dB - 80 dB

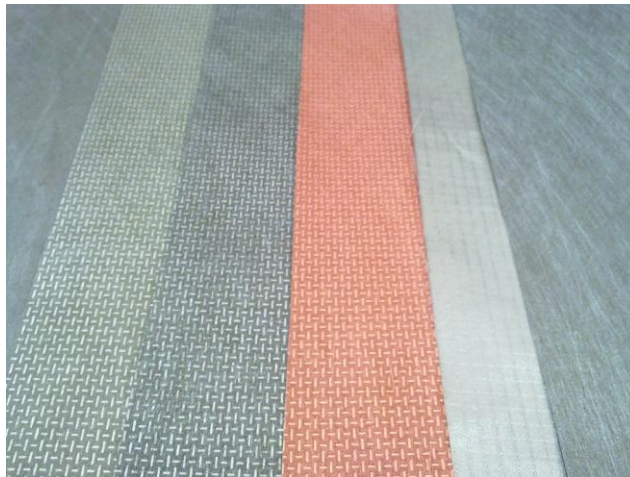
Tabulka 1 Stínící účinnost konstrukce s pozinkovaných plechů

2.5 Konstrukce za pomoci metalizovaných tapet

Konstrukce metalizovaných tapet se využívá v menších datových centrech nebo v datových centrech, kde je vyžadován nižší stínící účinek. Metalizované tapety se aplikují za pomoci vysoce vodivého lepidla. Tapety se lepí na všechny stěny, strop i podlahu. Pro vyšší stínící účinek se můžou aplikovat dvě vrstvy. Dodávané tapety jsou v rolích se šířkou cca. 132 cm. Nelepí se přesně vedle sebe, ale musí se lepit s přesahem cca. 5 až 10 cm, pro co nejlepší kontakt částí tapet.

2.5.1 Metalizovaná tapeta

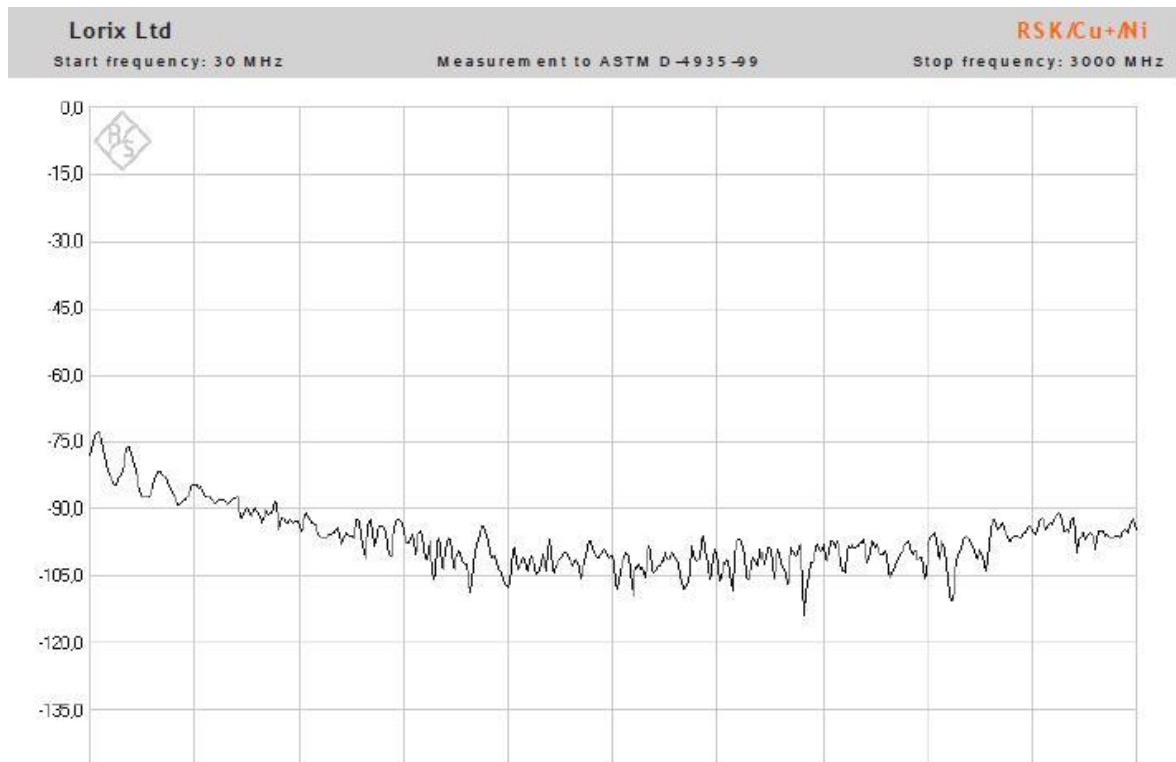
Metalizované tapety se skládají z materiálu jako měď, zinek, nikl apod. S kombinací těchto materiálu se dosahují stínící vlastnosti metalizované tapety.



Obrázek 14 Metalizované tapety

2.5.1.1 Příklad metalizované tapety: RSK Cu+Ni

Popis materiálu:	měď + nikl, tkanina
Šířka role:	132 cm ± 2cm
Měrný povrchový odpor:	0,02 Ω/m^2
Stínící účinnost:	75 - 95 dB pro frekvence 30 MHz – 1,5 GHz 95 – 105 dB pro frekvence 1,5 GHz – 3, GHz
Teplotní rozsah:	-30°C - 90°C
Použití:	vodivá tkanina pro účely EMI/RFI, těsnění, oděvy, tapety



Obrázek 15 Stínící účinnost metalizované tapety RSK Cu + Ni [9]

2.5.2 Stínící účinnost stíněné komory z metalizovaných tapet

Celková stínící účinnost není závislá jenom na charakteristikách tapet ale i dalších dílčích aspektů jako stíněné dveře a okna. Když se dodrží kvalitní stínění všech položek tak výsledný hodnota stíněný může dosahovat hodnot v tabulce č. 2.

Elektromagnetické pole	Frekvence	Stínící účinnost
Magnetické pole	10 kHz	40 dB
	100 kHz	40 dB
	1 MHz	40 dB
	10 MHz	40 dB
Elektrické pole	10 MHz - 30 MHz	60 dB
Rovinné vlny	30 MHz - 1 GHz	60 dB
Mikrovlny	1 GHz - 18 GHz	40 dB

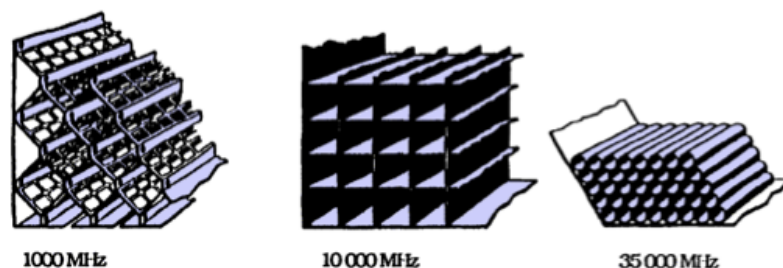
Tabulka 2 Stínící účinnost stíněné komory z metalizovaných tapet

3 STÍNĚNÉ DVEŘE, OKNA A PROSTUPY PRO VENTILACI A KLIMATIZACI

Pro dosažení maximální stínící účinnosti musí být stíněn každý otvor v stíněné komoře. Nejdůležitější částí jsou dveře, okna, otvory pro klimatizaci a ventilaci. V některých případech se musí použít stínící průchodky pro vytápění a potrubí.

3.1 Vliv otvorů a technologických netěsností dveří a ventilací na celkovou účinnost stínění

Na bázi „vlnovodových“ průchodů se v technice elektromagnetického stínění vyrábějí celé větrací, příp. průchodkové sekce z řady podkritických vlnovodů, které tak tvoří jakousi „komínkovou“ strukturu dle obr. 13. Používané vlnovody mají nejčastěji kruhový, pravouhlý, příp. hexagonální příčný průřez, jehož rozměry musí být takové, aby i pro nejvyšší předpokládaný kmitočet elektromagnetického rušení byla zajištěna jejich činnost (hluboko) pod nejnižším mezním kmitočtem vlnovodu. [7]



Obrázek 16 Větrací a průchodkové sekce stínících krytů [7]

3.2 Stíněné dveře

Každé datové centrum obsahuje dveře pro vstup obsluhy nebo pohyb zařízení v data centrech. Podle potřeby se volí velikost dveří a způsob manipulace. Stíněné dveře můžeme rozdělit do dvou skupin na speciální stíněné dveře s vysokým útlumem a předělané stíněné stávající dveře pomocí stíněné tapety a těsnění.

3.2.1 Stíněné dveře s vysokým útlumem

Stíněné dveře s vysokým útlumem se používají s kombinací konstrukce pozinkovaných plechů. Dveře se většinou dělají na zakázku a jsou nainstalovány rovno do jednoho velkého panelu, který se pak napojí na konstrukci stíněné komory. Nejdůležitější částí dveří je speciální rám, který obsahuje dva nože, které zapadají do beryliového těsnění,

kteří garantuje co nejlepší kontakt k dosažení stínícího účinku. Způsob zavírání dveří se nazývá duální zavírání, protože se nejdřív dveře přijdou do polohy přesně proti beryliovým těsněním, tak aby se dvojitý nůž dveří dostal kolmo do rámu dveří a až pak se dveře dostatečně zavírají. Tenhle způsob je pro dosažení co nejdelšího opotřebení beryliových těsnění. Způsob manipulace dveří může být manuální nebo plně automatický. Dveře mohou obsahovat zámek na klíč nebo čipovou kartu. Konstrukce dveří se dělí na 2 skupiny. První jsou dveře jednokřídlé a druhá skupina jsou dveře posuvní. Jednokřídlé dveře se používají pro vstup obsluhy, jsou menších rozměru. Dveře posuvné se používají pro vstup obsluhy a manipulaci zařízení větších rozměrů, nebo se používají v prostorách, kde se není prostor pro otevření křídla dveří. Stínící účinnost dveří se pohybuje kolem 100 dB.



Obrázek 17 Manuální stíněné dveře, detail na nože s beryliovým těsněním [8]



Obrázek 18 Automatické posuvné stíněné dveře [8]

3.2.2 Předělané stíněné dveře

Předělané stíněné dveře se používají v prostorách s nižším požadovaným stínícím účinkem, převážně s kombinací konstrukce stíněné komory s metalizovaných tapet. Metalizované tapety se lepí na stávající dveře pomocí vodivého lepidla. Pro dosažení stínícího efektu se lepí dvě až tři vrstvy. Kolem celého rámu dveří a na samotné dveře se nainstaluje těsnění pro dosažení co nejlepšího kontaktu dveře – rám.



Obrázek 19 Tapety a těsnění pro předělání dveří [8]

3.3 Stínění pro ventilaci a klimatizaci

Každé datové centrum potřebuje kvalitní systém ventilace a klimatizace. Potrubí do stíněných prostor potřebují otvory pro vstupy potrubí. Otvory mohou být v různých rozměrech a tvarů. Pro stínící účinek se používají tzv. „honeycombs“. Jedná se o šestiúhelníkový tvar voštiny z plechů. Podle potřebného stínícího účinku volíme mezi maximálními kmitočty 18 GHz a 40 GHz. Voštiny se instalují do stínících panelů a obsahují dřevěný rám, na který se může instalovat potrubí pro ventilaci, dřevěný je proto, aby nevzniklo elektrické spojení mezi stíněnou komorou a potrubím ventilace vedené mimo komoru. Časem je potřebná kontrola voštiny, jestli se na „plástev“ nezachytí nečistoty, které by měly negativní vliv na chod ventilace.



Obrázek 20 Stínění pro ventilaci [8]



Obrázek 21 Stínění pro ventilaci a topení, dřevěný rám

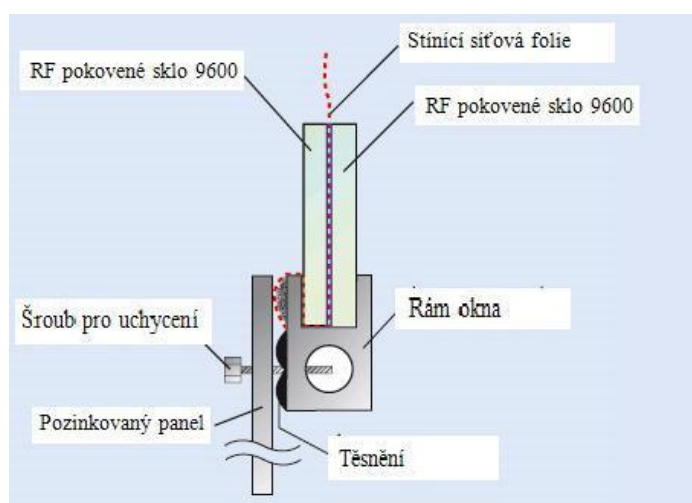
3.4 Stíněné okna

V dnešní době se budují datové centra výhradně bez oken, ale může se stát, že uvnitř stíněné komory nebo datového centra bude výskyt oken. Pro konstrukci s pozinkovanými plechy se okna dělají na zakázku. Okno se rovnou instaluje s rámem do panelů a ten je vložen do modulárního systému. Okna se můžou specifikovat úrovní stínění, vyšší stínění, tím je průhlednost okna menší. Stíněné okno se nedá otevřít.

Další možností stínění oken je za pomoci stávajících oken. Na okna se nalepí speciální stínící folie a kolem celého rámu se aplikuje těsnění, podobně jako u dveří. Okna je možné otevírat, ale při otevření okna, ztrácí stíněná místnost stínící efekt. Otevírání oken se doporučuje jenom při nevyhnutných okolnostech.



Obrázek 22 Stíněné okno pro modulární systém komor



Obrázek 23 Stíněné okno – profil [7]

4 DATOVÉ A NAPÁJECÍ FILTRY

Každé datové centrum má nespočetné množství vstupu a výstupu. Pro komplexní stínění prostoru se musí všechny vstupy a výstupy filtrovat. Nestačí zastínit konstrukci komory a dveře a okna, ale všechny vstupy.

4.1 Síťové, napájecí odrušovací filtry

Zvláštním druhem síťových odrušovacích filtrů jsou tzv. filtry NEMP, příp. LEMP, nazývané též filtry EMP. Tyto filtry byly vyvinuty pro ochranu elektronických zařízení proti působení rušivých impulzů velké intenzity. Na rozdíl od běžných síťových odrušovacích filtrů LC má filtr EMP na svém vstupu zapojeny ještě součástky omezující přepětí (bleskojistky, varistory, ochranné diody apod.) Kromě rozsáhlých vojenských aplikací (filtry NEMP) se tyto filtry užívají všude tam, kde je nebezpečí výskytu přepětíových pulzů v důsledku bouřek, spínacích pochodů apod. schopných ohrozit správnou funkci zařízení. V katalozích výrobců jsou filtry EMP označovány jako „RFI / EMI filters“. Jiným speciálním typem odrušovacích filtrů jsou tzv. filtry TEMPEST (Temporary Emanation and Spurious Transmission – přechodné úniky a nepravé přenosy). Slouží k zamezení úniku informací předávaných telekomunikačními zařízeními a zařízeními pro přenos dat, které mohou být zneužity nepovolanými osobami. Technická specifikace filtrů TEMPEST je tajná a liší se filtr od filtru. Tyto filtry se vyznačují velmi vysokými parametry: vysokým útlumem 80 až 100 dB ve velmi širokém kmitočtovém rozsahu obvykle od 10 kHz až 1 GHz. Je zřejmé, že takový filtr musí být tvořen mnohastupňovým řetězcem článků LC umístěných ve vysoce kvalitním elektromagneticky stíněném a hermeticky uzavřeném pouzdru se speciálními vstupními a výstupními konektory. Zkratka TEMPEST se stala synonymem pro všechny aktivity a opatření v souvislosti s nežádoucím vyzařováním či odposlechem elektronicky přenášených zpráv a dat. V USA je jako TEMPEST označován celý národní program na ochranu počítačů a jejich periférií před nežádoucím odposlechem dat. [7]

4.1.1 Jednofázové odrušovací filtry s vysokým útlumem

U těchto filtrů se jedná o dolní propust vyššího řádu. Tyto filtry s označením „D“ mají vysoký útlum od nízkých kmitočtů do několika GHz. Jsou zde poříty bezpečnostní kondenzátory typu X zapojené mezi fázemi pro filtraci symetrické složky a Y proti zemi pro filtraci asymetrické složky. Vyráběny jsou v kovovém pouzdře, přívodní kabel procházející skrz průchodky se připojuje přímo do svorek. Filtry se používají převážně pro vojenské a speciální účely, kde je potřeba velmi vysoký útlum.



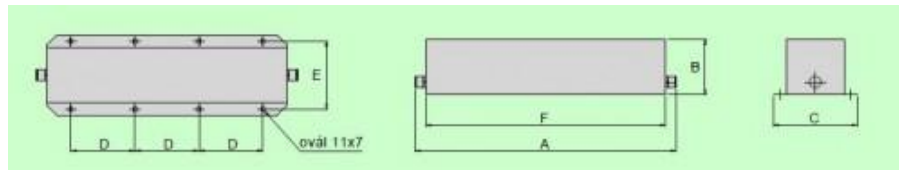
Obrázek 24 Jednofázový odrušovací filtr

Provozní jmenovité napětí	Un:	230 V ac
Rozsah pracovních kmitočtů	Fn:	50 - 60 Hz
Rozsah pracovních proudů	In:	16 - 50 A
Útlum od 150 kHz do 1 GHz / 2 GHz	b:	80 dB / 60 dB
Krátkodobá proudová přetížitelnost		50%
Tepelná třída		B
Stupeň krytí		IP54

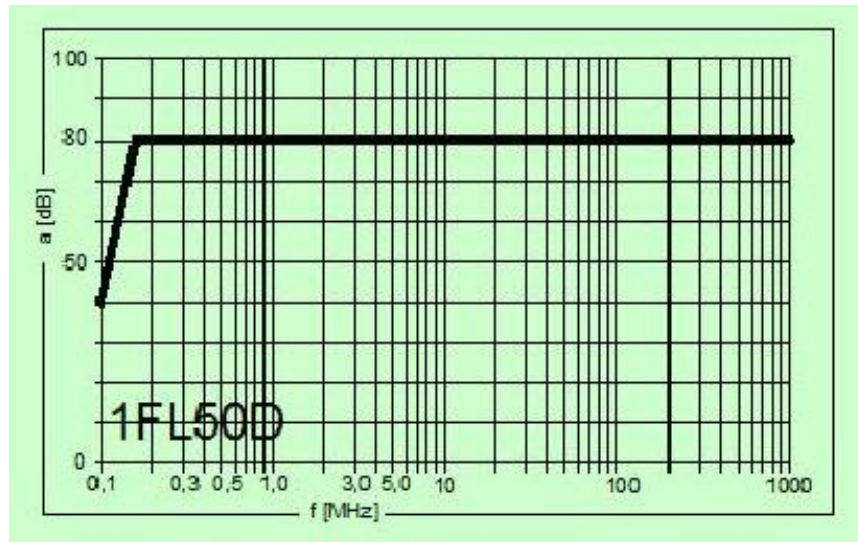
Tabulka 3 Specifikace jednofázových filtrů

Typ	Jmenovitý proud [A]	Unikající proud [mA]	Hmotnost [kg]	Průřez přípoj. vodičů [mm ²]	základní rozměry [mm]					
					A	B	C	D	E	F
					délka	výška	šířka	rozteč	rozteč	ostatní
SKY1FL10D	10	<14	2	4 až 6	360	68	129	120	103	320
SKY1FL16D	16	<14	2	4 až 6	360	68	129	120	103	320
SKY1FL50D	50	<14	5	6 až 10	490	110	158	120	134	450

Tabulka 4 Technické parametry jednofázových filtrů



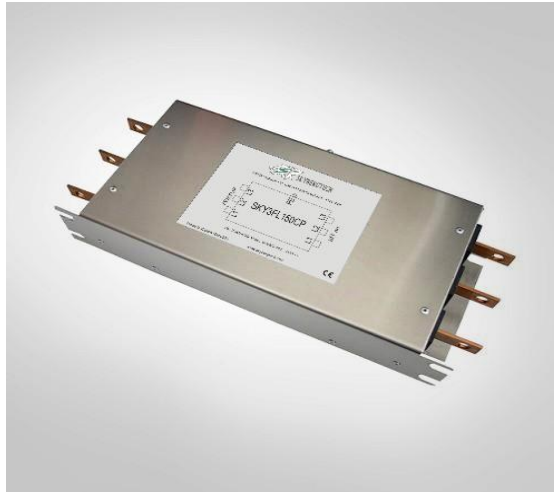
Obrázek 25 Rozměrový náčrtes: SKY1FL50D



Obrázek 26 Útlumová charakteristika SKY1FL50D

4.1.2 Třífázové odrušovací filtry

Jedná se o dvojité LC člunek skládající se z tlumivek a kondenzátorů. U třífázových filtrů je kompenzovaná tlumivka tvořená třemi vinutími. Použité bezpečnostní kondenzátory typu X jsou zapojeny mezi fázemi pro filtraci symetrické složky a kondenzátory typu Y proti zemi pro filtraci asymetrické složky. Jsou dodávány v kovovém pouzdře. LC filtr je tvořen dolní propustí 0 -9 kHz. Snižuje úroveň vysokofrekvenčního rušení ve vodičích ze strany spotřebiče a zároveň zvyšuje odolnost vůči rušení z okolí. Filtry fungují obousměrně. Jejich nejlepší účinnost je od 150 kHz do 30 MHz.



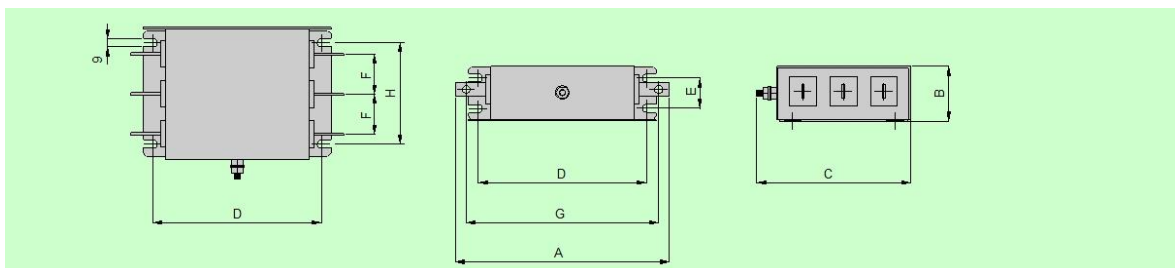
Obrázek 27 Třífázový odrušovací filtr

Provozní jmenovité napětí	Un:	3x230/400 V ac
Rozsah pracovních kmitočtů	Fn:	50 - 60 Hz
Rozsah pracovních proudů	In:	60 - 400 A
Krátkodobá proudová přetížitelnost		50%
Tepelná třída		B
Stupeň krytí		IP00
Rozsah pracovních teplot		-10°C + 40°C

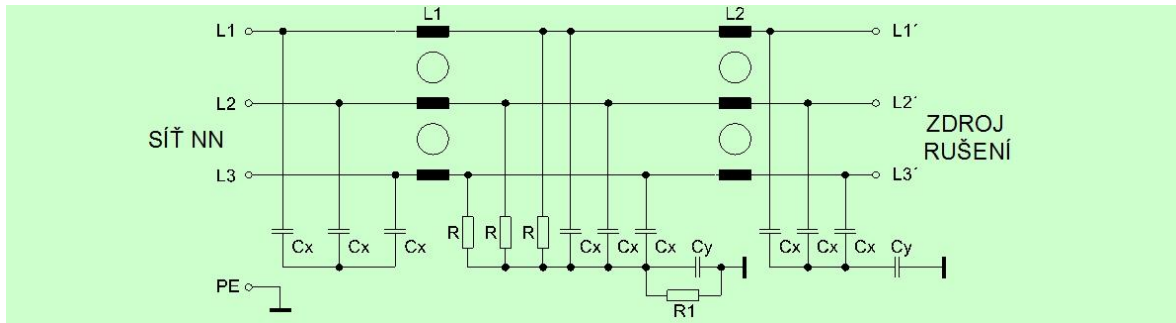
Tabulka 5 Specifikace třífázových filtrů

Typ	Jmenovitý proud [A]	Unikající proud [mA]	Hmotnost [kg]	Průřez přípoj. vodičů [mm ²]	základní rozměry [mm]							
					A	B	C	D	E	F	G	H
					délka	výška	šířka	rozteč	rozteč	rozteč	rozteč	rozteč
SKY3FL60	60	<80	3.0	16x3x9	308	61.5	171	257	34	45	284	114
SKY3FL100	100	<80	3.7	16x3x9	353	61.5	171	302	34	45	329	114
SKY3FL200	200	<80	3.9	20x3x9	357	61.5	171	302	45	45	333	114
SKY3FL400	400	<80	5.9	25x3x11	395	61.5	202	332	60	60	361	138

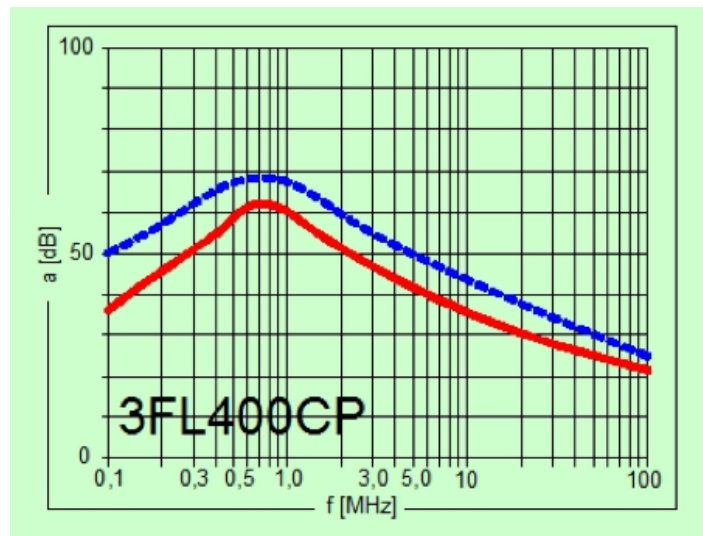
Tabulka 6 Technické parametry třífázových filtrů



Obrázek 28 Rozměrové nákresy třífázových filtrů



Obrázek 29 Schéma zapojení třífázového filtru



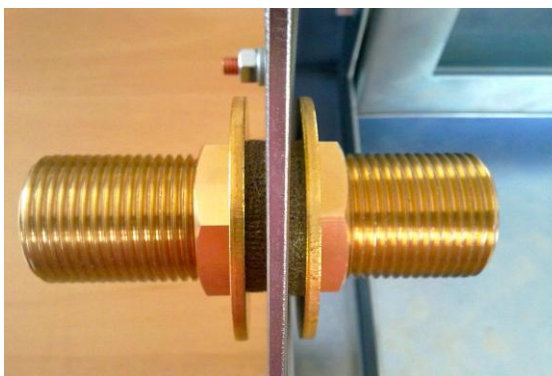
Obrázek 30 Útlumová charakteristiky

4.2 Datové filtry

Kromě síťových odrušovacích filtrů se zejména v telekomunikačních zařízeních používají tzv. datové filtry (*Data-LineFilters*) k omezení rušení na datových a signálových vedeních. Jejich základní odlišností od síťových filtrů je nižší pracovní proud a napětí datových filtrů. Datové filtry pracují v impedančně přizpůsobených systémech ($Z_s = Z_z$) a jimi propouštěné užitečné signály (datové či sdělovací) charakteristiky mezi propustným a nepropustným pásmem (u síťových odrušovacích filtrů je tato vlastnost nepodstatná). Tyto požadavky lze splnit jen pomocí vícestupňového filtru LC.

4.3 Filtry pro optické vedení

Optické vedení je nejlepší vedení pro data nejen pro jejich rychlost, ale taky proto, že optické vedení se nedá odposlouchávat a z hlediska stínění je to nejlepší volba vedení do datového centra, protože se nejedná o metalické vedení ale o optické vedení, které se nemusí speciálně stínit. Prakticky do stíněné komory se navrtá otvor o požadovaném průřezu, který je daný počtem optických kabelů, které jsou do data centra a tam je instalovaná průchodka pro optické kabely s těsněním, které zabezpečuje maximální kontakt průchodky a stínícího panelu. Průchodka pro optické vedení je situována tak, aby vstup byl pod zdvojenou podlahou komory, pro lepší rozvod kabeláže.



Obrázek 31 Průchodka pro optické vedení

4.4 VGA a anténní filtry

Datové centra obsahují spojení přes VGA konektory a anténní spojení například pro Wi-fi. Pro spojení existují speciální filtry. Anténní N konektory se taky používají pro měření stínící účinnosti pro kontrolu stínícího efektu nebo pro certifikaci stíněné komory.

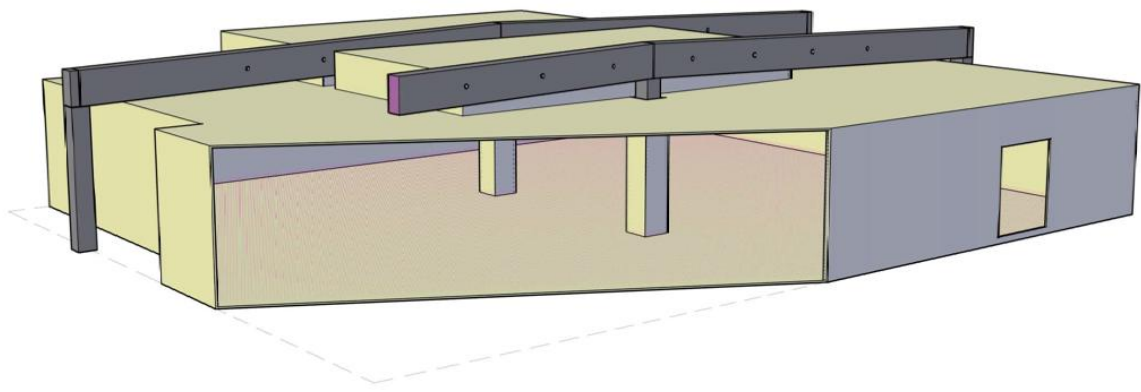


Obrázek 32 Panel s anténními filtry a filtry pro optické vedení

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH STÍNĚNÉ KOMORY PRO DATOVÉ CENTRUM

První část praktického zadání je návrh stíněné komory pro datové centrum netypického tvaru. Rozměry stíněné komory jsou: délka 21750 mm, šířka 17400 mm a výška je rozdělená na dvě části, 3225 mm a 4125 mm. V datovém sálu se nachází dva sloupy, které se musí obejít a stejně dva střešní vazníky.



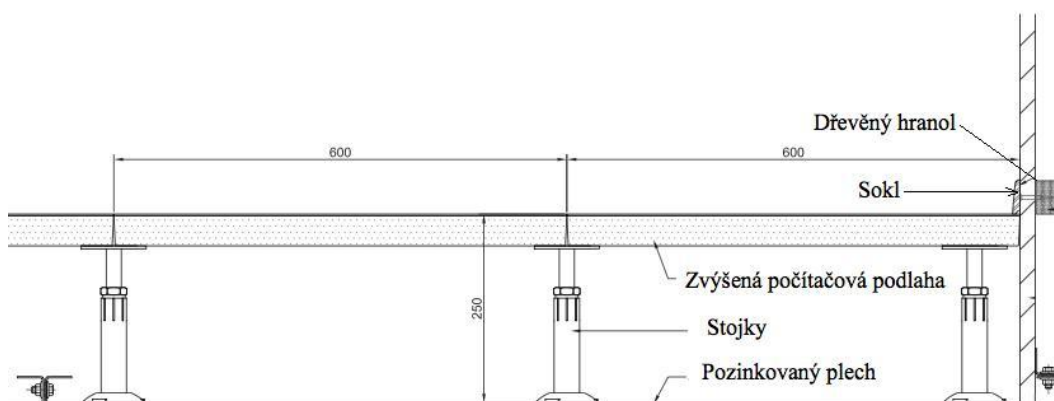
Obrázek 33 3D výkres stíněné komory

5.1 Výběr konstrukce

Vybral jsem konstrukci modulárního systému stíněných komor, pro vyšší požadovaný stínící účinek a pro modularitu a jednoduchost systému. Celá konstrukce je složena z obou straně pozinkovaných plechů, které jsou pospojovány šrouby. Na rozdíl od zastaralé technologie svařování je technologie modulárního systému čistější a rychlejší. Při úvaze nad svařování je potřeba se zamyslet nad vzniknutým dýmem a nečistot. Potřeba větrat a pracovat s přestávkami. Modulární systém je přesně navržen na rozměry místnosti a stínící panely jsou vyráběny mimo stavby. Na stavenišťe se přivezou předem navržené panely s požadovanými rozměry. V podstatě instalace stíněné komory je jako skládačka, kde na místě instalace nemusíte řezat plechy, svařovat nebo pájet. Tyhle aspekty urychlí celou instalaci. Modulární systém má ještě jednu obrovskou výhodu. Komora se dá instalovat do novostavby a taky do stávajících prostor, kde byly předtím datové sály. S teoretického hlediska se dá uvažovat i o demontáži celého systému a znovu montáži na jiném místě. To je u svařovaných komor zcela nemožné.

5.2 Podlaha stíněné komory

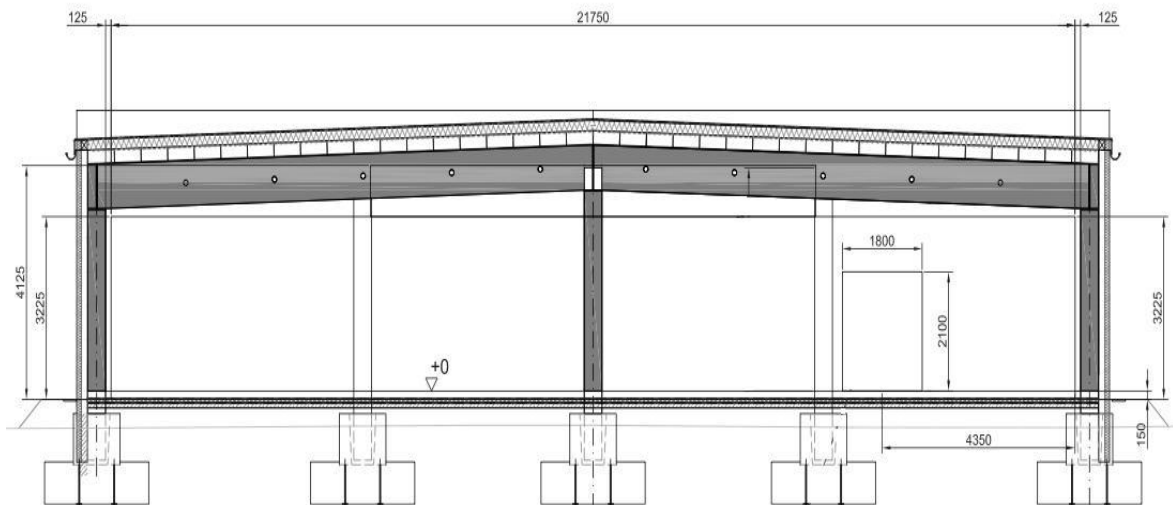
Konstrukce stíněné komory se instaluje od podlahy. Na stávající podlahu objektu, kde bude stíněná komora, se položí ochranní povrch na podlahy o tloušťce 3 mm, který chrání konstrukci komory před korozi. Nevyhnutnou podmínkou pro povrch podlahy objektu je rovnost podlahy. Rovnost se musí předem změřit a popřípadě dorovnat.



Obrázek 34 Podlaha stíněné místnosti

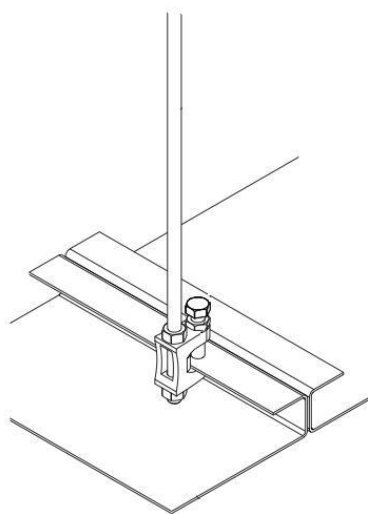
Na ochrannou vrstvu podlahy se položí pozinkované plechy, které se pospojují. Vytvoří celek podlahy. Když je kompletní konstrukce stíněné komory, tak se může udělat zvýšená počítačová podlaha. Instaluje se na speciálních stojkách, které jsou upraveny na instalaci antistatické podlahy, stojky jsou připevněny za pomoci lepidla, které potřebuje 24 hodin na vytvrzení. Podlaha se skládá z desek rozměrů 600 x 600 mm.

5.3 Stěny a strop stíněné komory



Obrázek 35 Pohled stíněné komory v objektu

Po položení panelů podlahy se začnou stavět stěny. Začíná se z rohu místnosti do písmene L. Při menších komorách se udělají nejdřív stěny a pak se položí strop. To ale u stíněné komory velkých rozměru nejde. Musí se stavět stěna a strop spolu, aby nedocházelo k výkyvům panelů a znehodnocení pospojování. Strop se musí kotvit o strop stávajícího objektu, protože konstrukce takových rozměrů už není samonosná. Používají se mechanické nebo chemické kotvení. Zatížení stropu stíněné komory je 25 kg/m^2 .



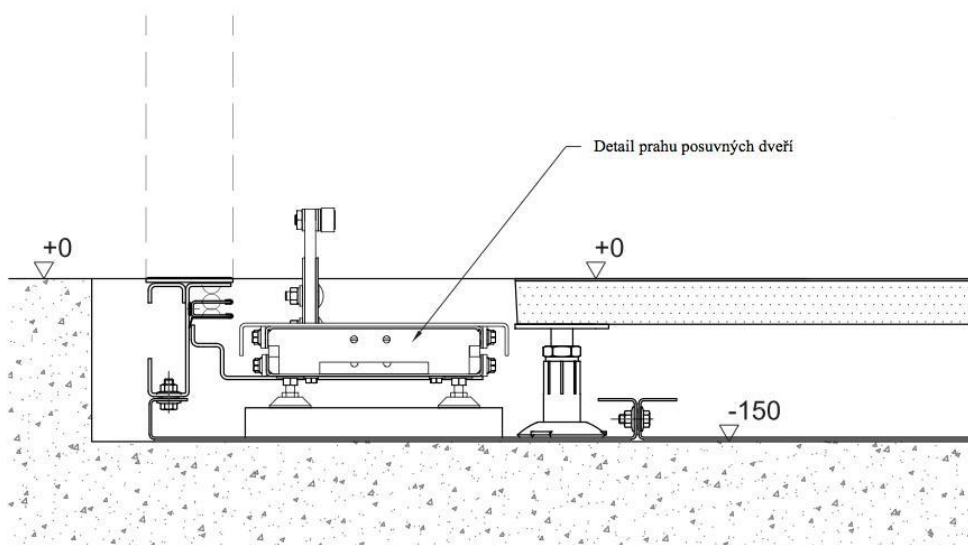
Obrázek 36 Kotva stropního panelu

5.4 Stíněné dveře

Pro objekt tak velkých rozměrů jsem vybral posuvné manuální stíněné dveře. Rozměry dveří jsou: výška 2100 mm a šířka 1800 mm. Rozměry by měli být dostačující pro pohyb osob a taky pro manipulaci zařízení v datovém centru, například racky. Práh dveří je posuvný, čímž je zajištěna bezpečnost pohybujících se osob a možnost bezproblémové manipulace s technologiemi a mezi podlahou uvnitř místnosti a vně není žádný schod. Manipulace dveří je velice jednoduchá. Dveře obsahují ochranný kryt, který se dá odjistit při technických prohlídkách dveří.



Obrázek 37 Manuální posuvné dveře [8]

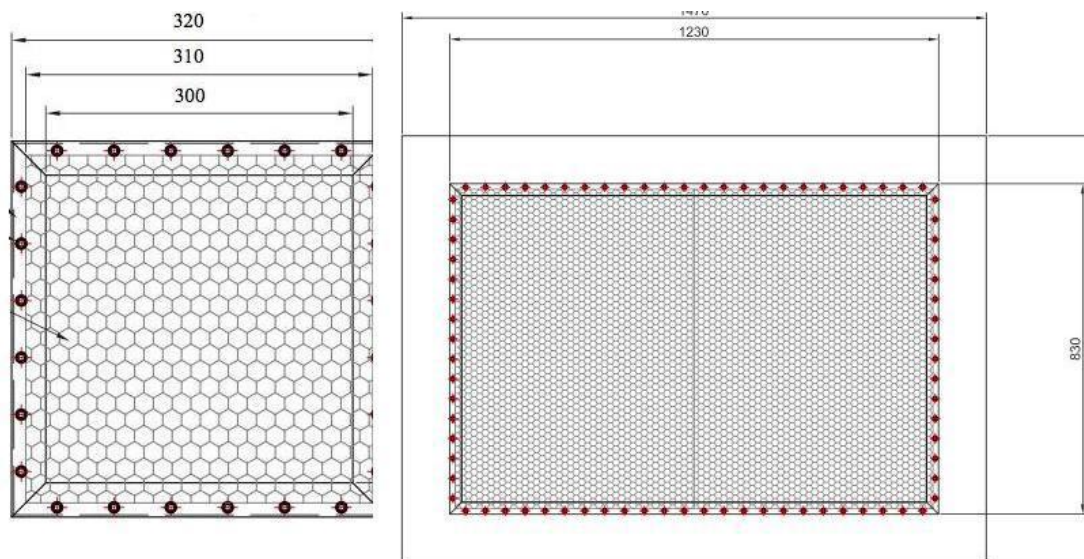


Obrázek 38 Posuvní práh dveří

5.5 Otvory pro klimatizaci a ventilaci

V datovém centru při provozu se produkuje teplo. Proto je v každém centru klimatizační systém. Pro stíněnou komoru jsem navrhl dva rozměry otvoru pro klimatizaci a ventilaci. Jedná se o filtry pro ventilaci, kde je voština navržena na stínění kmitočtů do 18 GHz. Každý filtr pro klimatizaci obsahuje dřevěný rám pro uchycení potrubí klimatizačního vedení vnější i vnitřní části komory.

Menší rozměr otvoru pro klimatizaci je 300 mm x 300 mm a větší je 1230 mm x 830 mm.



Obrázek 39 Stínění pro ventilaci

5.6 Napájecí odrušovací filtry

Každé datové centrum potřebuje obrovské množství energie. Pro plynulý chod datového centra jsem zvolil tři napájecí okruhy. První je pro napájení osvětlení a zásuvek. Další je pro napájení technologií datového centra a poslední je záložní napájení datového centra. Všechny jsou třífázové.

1. 3-fázový filtr, 400 V AC, 63A,
útlum filtrů 100 dB na kmitočtu od 14 kHz do 18 GHz
2. 3-fázový filtr, 400 V AC, 160A,
útlum filtrů 100 dB na kmitočtu od 14 kHz do 18 GHz

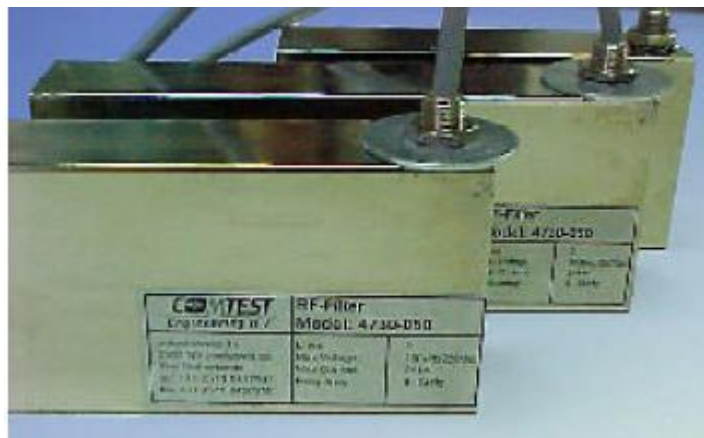
3. 3-fázový filtr, 400 V AC, 160A,
útlum filtrů 100 dB na kmitočtu od 14 kHz do 18 GHz



Obrázek 40 Pohled na napájecí filtr

5.7 Ostatní filtry

Pro datové centrum jsem navrhl 4 průchodky pro optické vedení. Všechny se nacházejí, tak aby vstup do komory byl pod zdvojenou podlahou. Průměr průchodek pro optické vedení je 2,14 cm. Dále jsem doplnil datové filtry, každý datový filtr má 4 linie. Celkový počet datových filtrů je 5. Datové filtry se dají použít pro komunikaci EPS, EZS nebo klimatizaci. Pro anténní vedení jsem vybral N konektor 50 ohm, který bude poskytovat vstup pro wifi a anténní vstup pro měření stínící účinnosti.



Obrázek 41 Data line filter [8]

Specifikace data filtrů:

Rozměry:	100 x 50 x 25 mm
Provozní teplota:	-25°C až 40°C
Počet žil:	4
Proud:	0,3 A
Napětí:	120 Vac / 250 Vdc
Rozsah:	0 – 4 MHz / 649 kBit/s
Stínící účinnost:	100 dB

5.8 Finální úprava

Pro finální úpravu stíněné komory se dá použít na stěny sádkartonová stěna, která se následně může natřít barvou, dle požadavků data centra. Pro strop je nejlepší řešení minerální podhled. Když se provede finální úprava, tak datové centrum v stíněné komory je opticky úplně stejné, jako datové centrum bez stíněné komory.

5.9 Stínící účinnost datového centra

Elektromagnetické pole	Frekvence	Stínící účinnost
Magnetické pole	10 kHz	70 dB
	100 kHz	90 dB
	1 MHz	100 dB
	10 MHz	100 dB
Elektrické pole	30 MHz - 300 MHz	100 dB
Rovinné vlny	300 MHz - 10 GHz	100 dB
Mikrovlny	10 GHz - 18 GHz	100 dB - 80 dB

6 SIMULACE STÍNĚNÍ V PROGRAMU WIPL-D 3D EM SOLVER

V části simulace vlastností stíněné komory jsem použil program WIPL, kde jsem následně vytvořil model krychle o rozměru 1 m x 1 m x 1m. V přední části krychle se nachází štěrba o rozměru 0,001 m x 0,5 m. Výsledkem simulace je zjištění stínící účinnosti vytvořeného objektu.

6.1 Výpočet vlastní rezonance komory

Elektromagneticky stíněná komora svou konstrukcí tvoří „uzavřený“ dutý kovový kvádr a představuje tak vlastně tzv. dutinový rezonátor známý z klasické mikrovlnné techniky. Taková dutina (komora) se chová jako rezonanční obvod s vysokou hodnotou vlastního činitele jakosti, která může obecně rezonovat na nekonečně mnoha diskrétních kmitočtech. Jsou-li (vnitřní) rozměry komory a [m], b [m], c [m], lze tyto rezonanční kmitočty určit známým vztahem:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

v němž celá nezáporná čísla m , n , p jsou tzv. vidová čísla určující rezonanční vid, tj. uspořádání pole v dutině. Vlivem ne zcela dokonalé „uzavřenosti“ stíněné komory a vlivem ne zcela prázdného jejího vnitřního prostoru (uvnitř komory je zkoušený objekt, měřicí anténa, příp. další technické vybavení) se skutečné rezonanční kmitočty od vypočtených hodnot poněkud liší. Odchyly jsou však malé a při posouzení vlastních rezonancí měřicí stíněné komory je lze obvykle zanedbat. Rezonanční kmitočty i velkých stíněných komor leží přitom v rozsahu kmitočtů anténních měření. Tak např. ve stíněné hale s rozměry 7 x 6,7 x 17 m nastává nejnižší rezonance na kmitočtu 23,2 MHz s tzv. příčně elektrickým videm TE₁₀₁ ($m = 1$, $n = 0$, $p = 1$). Od tohoto kmitočtu až do kmitočtu cca 81,5 MHz pro vid TE₂₂₆ rezonuje hala s dalšími 80 (!) vidy, a tedy na dalších 80 rezonančních kmitočtech. Při měření uvnitř takové stíněné haly mohou být všechny tyto rezonance (a mnoho dalších na vyšších kmitočtech) vybuzeny širokopásmovým vyzařováním zkoušeného objektu a tím silně zkreslovat výsledky měření až po jejich úplné znehodnocení. Je zřejmé, že kolísání pole v daném místě je tak velké, že v podstatě znemožňuje objektivní vyhodnocení jakéhokoli měření. Výsledky anténních měření by tak nezávisely jen na vyzařování zkoušeného objektu a na vzdálenosti a orientaci měřicí antény vůči němu, ale podstatnou mírou i na umístění a orientaci samotné antény ve

stíněné komoře, a to odlišně na různých kmitočtech vlastní rezonance komory. To je však z hlediska jednoznačnosti a reprodukovatelnosti měření nepřijatelné.

Odstranit vliv vlastních rezonancí lze principiálně tak, že pro jednotlivé rezonanční kmitočty výrazně snížíme činitel jakosti Q „dutinového rezonátoru“ tvořeného stíněnou komorou. Původní vysokou hodnotu Q (řádově až jednotky tisíc) lze efektivně snížit tím, že výrazně zvýšíme útlum jednotlivých rezonančních vidů v komoře. K tomu je nutné zjistit (např. výpočtem známým z teorie dutinových rezonátorů) místa maxim elektrického pole jednotlivých rezonančních vidů v komoře a do těchto míst umístit např. desku či kvádr z absorpčního ztrátového materiálu. Je jasné, že místa maximální intenzity elektrického pole rezonančních vidů neleží na stěnách komory, ale v jejím volném vnitřním prostoru. Pohlcujícím materiálem desek (kvádrů) se výrazně zvýší ztráty daného rezonančního obvodu, tj. dutinového rezonátoru (komory) pro daný vid na daném rezonančním kmitočtu, takže příslušná rezonance v komoře prakticky nevznikne. Tento změřený výsledný průběh rozložení elektrického pole pro danou polohu zdroje a danou polohu měřicí antény pak při vlastním měření slouží jako jakási „kalibrační“ křivka dané komory. [7]

Pro rozměry komory vytvořené v programu WIPL-D 3D Em Solver 1 m x 1 m x 1 m rezonanční frekvence podle tabulky

	Rezonanční frekvence	TE
f1	0,212 GHz	110
f2	0,212 GHz	011
f3	0,212 GHz	101
f4	0,254 GHz	111

Obrázek 42 Rezonanční frekvence krychle

6.2 Program Wipl-D 3D EM Solver

WIPL-D poskytuje komerční software pro vysokofrekvenční elektromagnetické modelování a simulace. Je vhodný pro modelování objektů a následné změření výsledné stínící účinnosti. Program je vhodný jak pro začátečníky, tak i pro pokročilé.

6.3 Vytvoření anténního systému pro měření I_{ref}

Pro měření stínící účinnosti potřebujeme 2 antény, jedna je vyzařovací a druhá přijímací. Velikost antén jsem zvolil 20 cm. Jedná se o dipól. Napětí na generátoru jsem zvolil 10000V. Odporový článek má hodnotu 50 Ω . Na začátku jsem zvolil body v souřadnicovém systému, kde jsem nakonec vytvořil pospojováním dvě antény. Vzdálenost antén je 7,35m.

	Coordinates				Nodes		Radii Imm l		Do. 1st	Ncs
	x [m]	y [m]	z [m]		1st	2nd	1st	2nd		
1	7.35	0	0.5	1	1	2	0.1	0.1	1	0
2	7.35	0	0.6	2	3	1	0.1	0.1	1	0
3	7.35	0	0.4	3	4	5	0.1	0.1	1	10
4	0	0	0.5	4	6	4	0.1	0.1	1	10
5	0	0	0.6							
6	0	0	0.4							

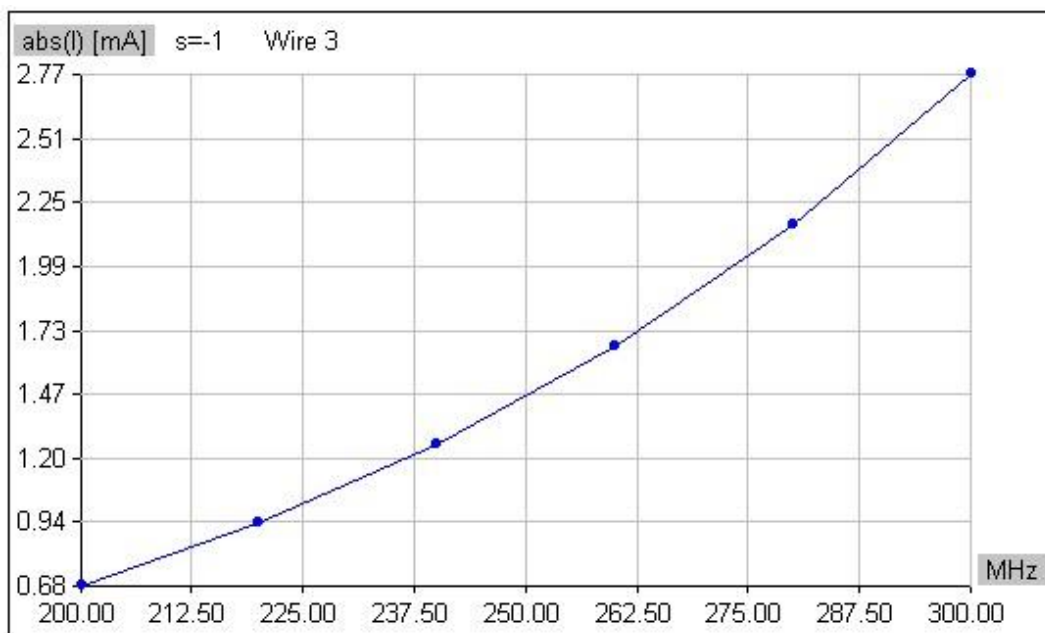
Obrázek 43 Vytvoření bodů a následné pospojování

Concentrated Loadings		Nodes		Voltage [V]	
type		1st	2nd	Real	Imag
1	R+jX	1	2	10000	0

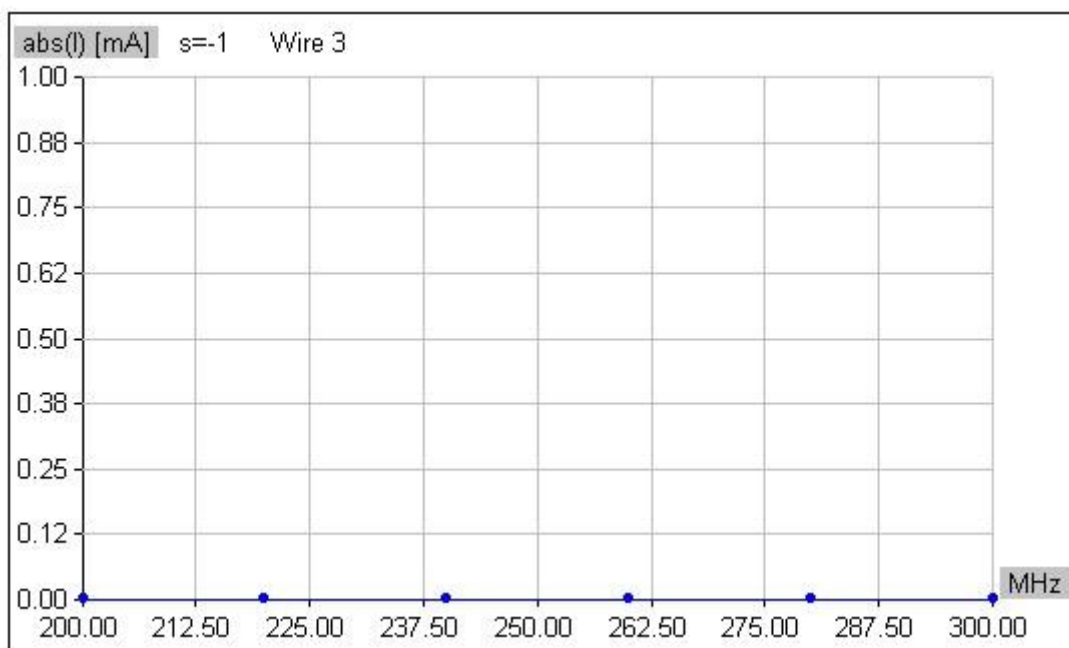
Concentrated Loadings		Nodes		Voltage [V]	
type		1st	2nd	Real	Imag
1	R+jX	1	2	10000	0

Obrázek 44 Hodnota R článku a generátoru

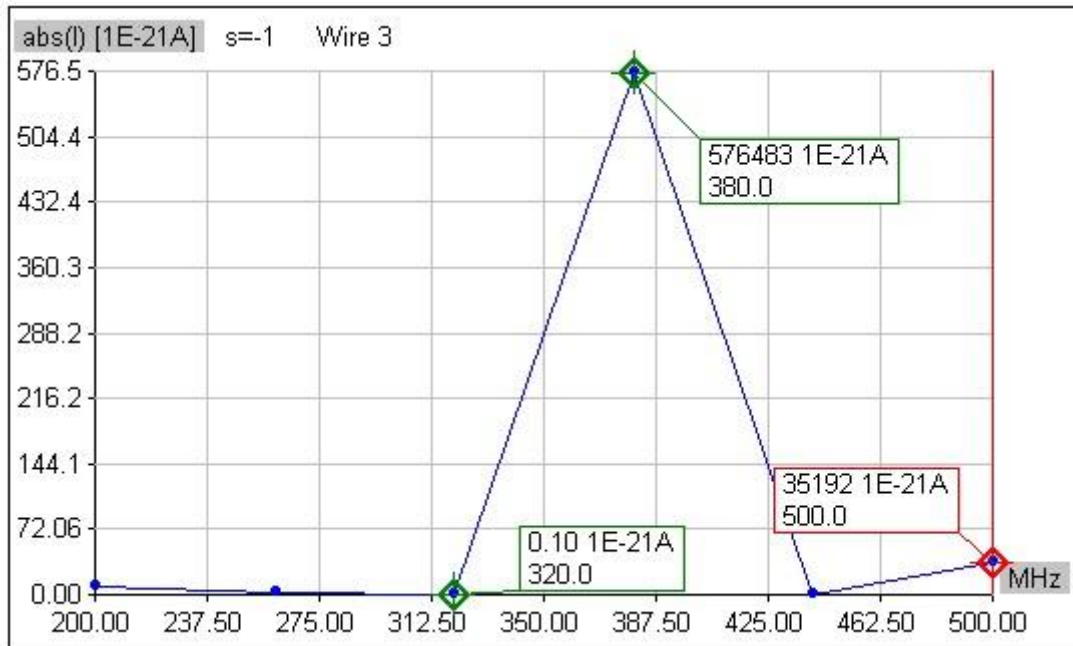
Po vytvoření anténního systému jsem změřil referenční hodnoty, které jsou zobrazené na obrázku č. 45.



Obrázek 45 Referenční hodnoty pro natočení přijímací antény v ose z



Obrázek 46 Rezonanční charakteristika pro naklonění v ose x (od 200 MHz – 300 MHz)

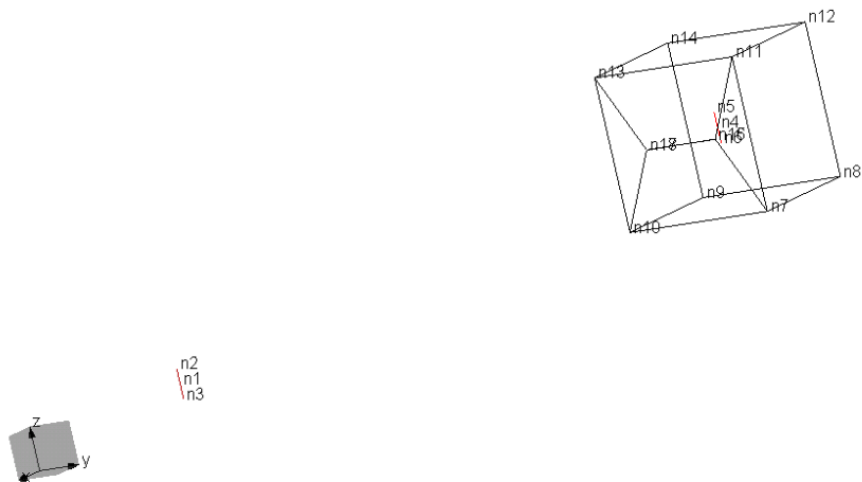


Obrázek 47 Rezonanční charakteristika pro naklonění v ose x (od 200 MHz – 500 MHz)

Pro zjištění hodnoty proudu jsem musel zvolit větší rozsah, protože při rozsahu do 300 MHz nebyly hodnoty čitelné. V ose y proběhlo stejné měření s podobným výsledkem, kde byly hodnoty proudu zanedbatelné. Proto jsem se rozhodl, že pro výpočet stínícího účinku použiju polarizaci v ose z .

6.4 Vytvoření stíněné komory se štěrbinou

V souřadnicovém systému jsem zadal každý jeden bod krychle. Krychle má rozměry 1 m x 1 m x 1 m. V menu Plates jsem vytvořil plochy objekty a taky štěrbinu. Body jsem volil tak, aby uvnitř objektu byla přijímací anténa.



Obrázek 48 Model krychle se štěrbinou

	Coordinates		
	x [m]	y [m]	z [m]
1	7.35	0	0.5
2	7.35	0	0.6
3	7.35	0	0.4
4	0	0	0.5
5	0	0	0.6
6	0	0	0.4
7	0.5	0.5	0
8	-0.5	0.5	0
9	-0.5	-0.5	0
10	0.5	-0.5	0
11	0.5	0.5	1
12	-0.5	0.5	1
13	0.5	-0.5	1
14	-0.5	-0.5	1
15	0.5	0.25	0.5
16	0.5	0.25	0.501
17	0.5	-0.25	0.5
18	0.5	-0.25	0.501

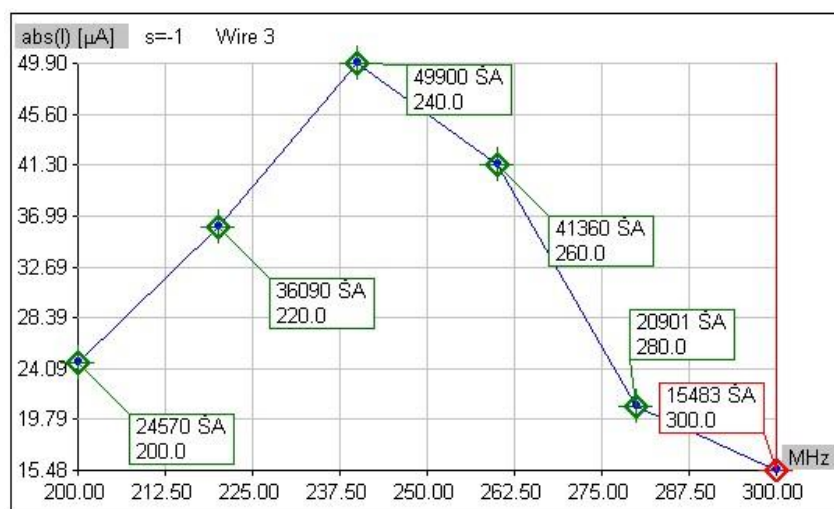
Plates									
	Nodes				Domains		Current		
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	Ncp	Ncs	
1	7	8	10	9	1	0	0	0	
2	7	8	11	12	1	0	0	0	
3	9	10	14	13	1	0	0	0	
4	9	14	8	12	1	0	0	0	
5	11	13	12	14	1	0	0	0	
6	11	13	16	17	1	0	0	0	
7	7	10	15	18	1	0	0	0	
8	10	13	18	17	1	0	0	0	
9	7	11	15	16	1	0	0	0	

Obrázek 49 Vytvoření bodů objektu a následné vytvoření krychle se štěrbinou

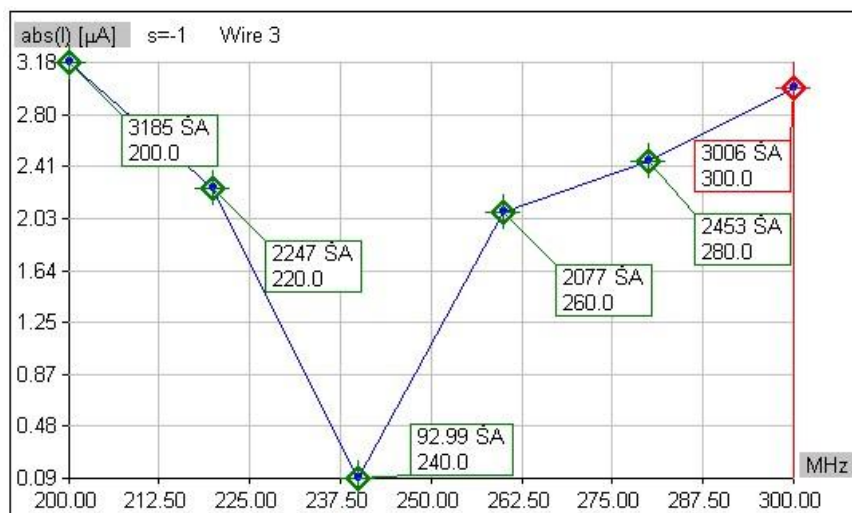
6.5 Měření stínící účinnosti

Celkové měření pozůstává s dílčích měření. Jako první se měří referenční signál bez krychle se štěrbinou. Dále se měří signál, kde je přijímací anténa uvnitř krychle. Tohle měření pozůstává z troch pozic přijímací antény. Pozici antény měníme podle osy x , y a z .

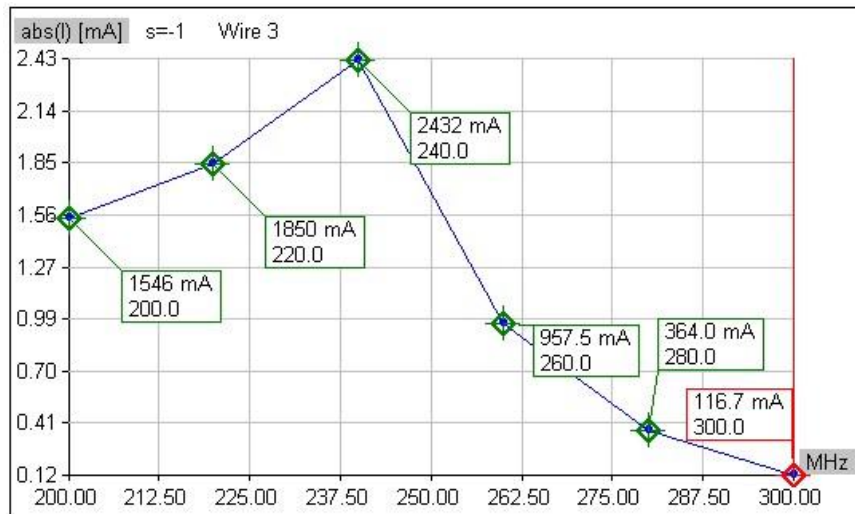
Po dosažení všech hodnot lze vypočítat výslednou stínící hodnotu pro daný objekt. Zvolené frekvenční pásmo je od 200 MHz do 300 MHz po 20 MHz krocích. Výsledek stínící účinnosti je v tabulce č.



Obrázek 50 Přijímací anténa v pozici osy X



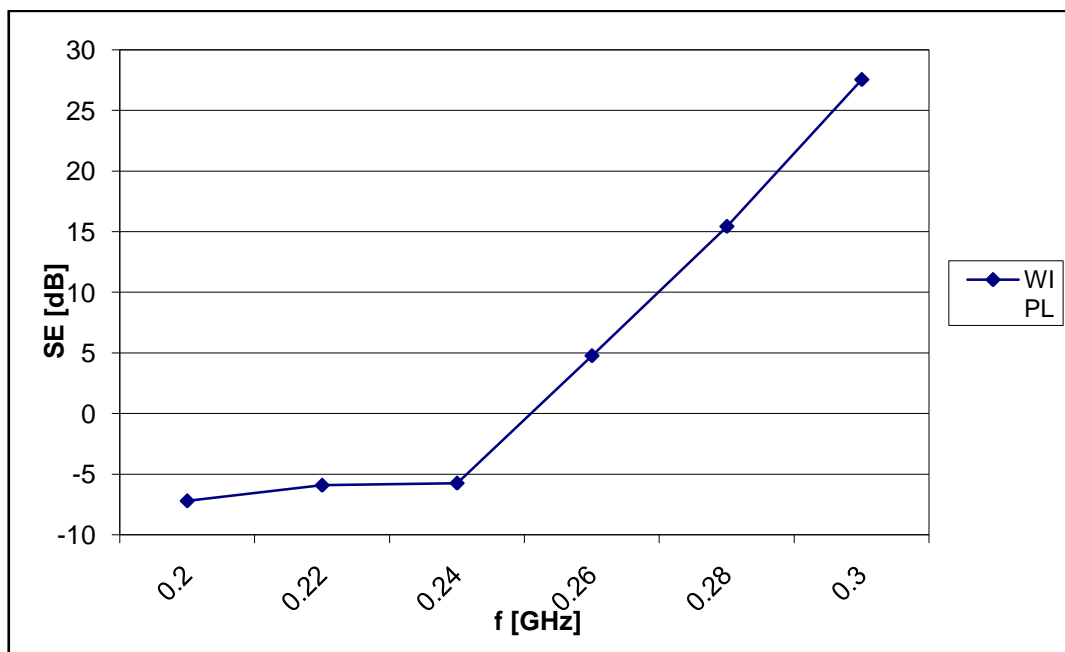
Obrázek 51 Přijímací anténa v pozici osy Y



Obrázek 52 Přijímací anténa v pozici osy Z

Frekvence [GHz]	I ref [A]	I [A] krychle	Účinnost [dB]
2,00E-01	6,83E-01	1,56E+00	-7,20E+00
2,20E-01	9,37E-01	1,85E+00	-5,91E+00
2,40E-01	1,26E+00	2,43E+00	-5,73E+00
2,60E-01	1,66E+00	9,57E-01	4,77E+00
2,80E-01	2,15E+00	3,64E-01	1,54E+01
3,00E-01	2,77E+00	1,16E-01	2,76E+01

Tabulka 7 Tabulka pro výslední stínící účinnost krychle se štěrbinou pro natočení antény v ose Z



Obrázek 53 Stínící účinnost pro krychli se štěrbinou

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo seznámení použití stíněných komor pro datová centra. Stíněné komory se využívají v laboratořích a měřicích ústavech pro dosažení co nejlepších podmínek pro měření, kdežto stíněná komora pro datové centrum slouží na ochranu proti kompromitujícímu vyzařování a ochranu proti elektromagnetickému impulzu. V teoretické části jsem vypsal rizika a hrozby pro datové centrum, kde jsem bral na pozornost, jak velice lehce se může útočník dostat k účinné elektromagnetické zbraně. V další části podrobně popisují konstrukci stíněných komor podle požadovaných stínících účinností, které nám určují typ pro konstrukci stíněné komory. Popsal jsem dva typy konstrukcí. Konstrukce s nižším výsledným stíněním od 40 dB – 60 dB, které jsou konstruovány pomocí metalizovaných stínících tapet, které se aplikují nalepením na stěny, strop i podlahu vysoce vodivým lepidlem. Pro střední až vysoké stínění jsem použil konstrukci modulárního systému obou straně pozinkovaných plechů, kde výsledná stínící účinnost může poskytnout kolem 100 dB. Využívají se pro ochranu informačních systému, které jsou certifikovány od stupně zabezpečení „důvěrné“ a vyšší a dále poskytují ochranu proti útoku elektromagnetickým pulzem a ochranu proti kompromitujícímu vyzařování. V konstrukční části jsem popsal vliv otvorů a technologických netěsností na výslednou stínící účinnost. Dále jsou zde popsány typy dveří, oken a otvorů pro stíněné komory. Pro stínící efekt komplexní stíněné komory je nutno použít odrušovací napájecí filtry, filtry pro datové linky, pro optické vedení a pro anténní vedení.

V praktické části jsem simuloval stíněnou komoru v rozměrech 1m x 1m x 1m, která obsahuje v přední části štěrbinu 0,5 m x 0,001 m. Simulace proběhla v programu Wipl-D 3D EM solver. Měření probíhalo ve frekvenčním rozsahu od 200 MHz do 300 MHz. Vypočítal jsem vlastní rezonanční kmitočty „dutinového rezonátoru“, kterým komora určitě je. První rezonanční frekvence je 212 MHz. Měření stínící účinnosti proběhlo s polarizací antén ve vertikální poloze. Nejvyšší stínící účinek byl naměřen na frekvenci 300 MHz a to 27,6 dB. V další praktické části je návrh stíněné komory pro ochranu datového centra v rozměrech: délka 21750 mm, šířka 17400 mm a výška je rozdělená na dvě části, 3225 mm a 4125 mm. Jedná se o členitý objekt, kde je využívána modularita modulárního systému konstrukce s pozinkovaných plechů, které jsou pospojovány šrouby a těsněním. Návrh obsahuje jedny stíněné manuální dveře, napájecí odrušovací filtry, filtry pro datové vedení, průchodky pro optické vedení, anténní filtry a otvory pro ventilaci a klimatizaci. Podrobné výkresy se nacházejí v přílohách diplomové práce.

CONCLUSION

The goal of the thesis was familiarization of using shielding chamber for data centers. Shielding chambers are used in laboratories and measuring institutes to achieve the best conditions for measuring, whereas shielding chamber for data center serves as a protection against damaging radiation and protection against electromagnetic pulse. In the theoretical part, I named the risks and threats for a data center, where I focused on how easily an offender can get to an effective electromagnetic weapon. In the next part, I describe in detail the construction of shielding chambers according to requested shielding effectiveness, which determines the type for construction of shielding chamber. I described two types of such constructions. The construction with lower resulting shielding from 40 dB – 60 dB, which are constructed using metallic shielding wallpapers that are applied by glue to walls, ceiling and floor with highly conductive glue. For medium to high shielding, I used the construction of modular system of double-sided galvanized metal plates, where the resulting shielding efficiency can provide about 100 dB. They are used as protection of informational systems that are certified from the degree of safety “confidential” and higher, and further provide protection against the attack by electromagnetic pulse and protection against damaging radiation. In the construction part, I described the influence of gaps and technological leaks on the resulting shielding effectiveness. Additionally, the types of doors, windows, and gaps for shielding chambers are described. For the shielding effect of complex shielded chamber is necessary to use suppression power filters, filters for data lines, for fiber optic, and for antennas lines.

In the practical part, I simulated a shielding chamber in the dimension of 1m x 1m x 1m, which consists of a gap of 0,5 m x 0,001 m in the front part. The simulation was carried out in the program Wipl-D 3D EM solver. The measuring was in frequency range from 200 MHz to 300 MHz. I calculated my own resonant frequencies of the “cavity resonator”. The first resonant frequency is 212 MHz. The measurement of shielding effectiveness was carried out with polarization of antennas in the vertical position. The highest shielding effect was measured to the frequency of 300 MHz, specifically 27,6 dB. In the next practical part, there is a draft of shielding chamber for the protection of data center in the dimension: length 21750 mm, width 17400 mm, and altitude is divided into two parts, 3225 mm and 4125 mm. It is a multiple object, where modularity of modular system of construction with galvanized metal plates, which are connected with bolts and seals, is used. The draft consists of one shielding manual door, suppressive power filters, filters for

data lines, waveguide for optical lines, antennas filters and gaps for ventilation and air conditioning. Detailed drawings are placed in the attachments of the thesis.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Věstník Národního bezpečnostního úřadu*. Bartůňkova 4, 149 01 Praha 415 : Národní bezpečnostní úřad, 1999. 216 s. Dostupné z WWW: <http://www.nbu.cz/_downloads/vestnik/container-nodeid-545/0918-09.pdf>.
- [2] *Ochrana utajovaných informací* [online]. 2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.nbu.cz/cs/ochrana-utajovanych-informaci/bezpecnost-informacnich-systemu/kompromitujici-vyzarovani/standardy/>>.
- [3] HANOUSEK, Jiří . Testování a měření parazitního elektromagnetického vyzařování : Testování a měření parazitního elektromagnetického vyzařování. In *Testování a měření parazitního elektromagnetického vyzařování*. V. Nejedlého 691, 682 03 Vyškov : VOP-026 Šternberk, 1999. s. 12.
- [4] *Military.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-26]. Nesmrtící zbraně. Dostupné z WWW: <<http://www.military.cz/accessories/emp/empbombs.htm>>.
- [5] Elektromagnetick%C3%BD impuls. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1995, last modified on 26.2.2011 [cit.2011-05-26]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%BD_impuls>.
- [6] *Scmi-iraq* [online]. 2006 [cit. 2011-05-26]. Www.scmi-iraq.com. Dostupné z WWW: <<http://www.scmi-iraq.com/images/jamming.pdf>>.
- [7] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibility*. Brno : VUT Brno, 2001. ISBN 80-21418737.
- [8] *Comtest* [online]. 2000 [cit. 2011-05-26]. Comtest. Dostupné z WWW: <<http://www.comtestnl.com/index.shtml>>.
- [9] *Lorix* [online]. 2010 [cit. 2011-05-26]. Lorix. Dostupné z WWW: <<http://lorix.com/>>.
- [10] *Skybertech* [online]. 2000 [cit. 2011-05-26]. Skybertech. Dostupné z WWW: <<http://www.skybergtech.com/prod-listy>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMP	Elektromagnetický puls
TIA	Telecommunications Industry Association
NBÚ	Národní bezpečnostní úřad
EMC	Elektromagnetic compatibility
VGA	Video Graphick Array
Kv	Kompromitující vyzařování
Is	Informační systém
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
SDIP	Safe Driver Insurance Plan
ČSN	České národní normy
RAM	Random acces memory
LAN	Local Area Network
Hz	Herz
HPM	High power microwave
FM	Frekvenční modulace
CCTV	Closed circuit television
EPS	Elektronická požární signalizace
SE	Shielding effectiveness
Cm	Centimetr
bB	Decibel
NEMP	Nuclear Elektromagnetic Pulse
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Situace při zneužití parazitního elektromagnetického vyzařování [3]	17
Obrázek 2 HPM (High-Powered microwave) v elektromagnetickém spektru. [6]	19
Obrázek 3 Pulzní zbraň v kufříku [6]	21
Obrázek 4 Průběh EMP [6].....	22
Obrázek 5 Hrozba EMP na data centrum	22
Obrázek 6 Orientace nevyzařující (a) a vyzařující (b) podlouhlé štěrby v kovové stínící komoře [7]	25
Obrázek 7 Průchodky v kovovém stínění na principu „podkritického“ vlnovodu: a) základní provedení, b) průchod s dielektrickým průvlakem, c) průchod s kovovým průvlakem [7].....	26
Obrázek 8 Vznik nežádoucích štěrbin při spojení částí stínícího krytu „na tupo“ (a) a způsoby zlepšení účinnosti stínění překryvem spojovaných částí (b,c) [7]	27
Obrázek 9 Řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů (a) a nožových kontaktů (b) [7]	28
Obrázek 10 Zásady elektromagnetických stíněných komor: a) chybná konstrukce z hlediska EMC, b) zlepšená konstrukce k dosažení vyšší účinnosti stínění [7]	28
Obrázek 11 Kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny na kovovou stínící přepážku [7].....	30
Obrázek 12 Detail spojení panelů [8]	31
Obrázek 13 Konstrukce stíněné komory [8]	32
Obrázek 14 Metalizované tapety	33
Obrázek 15 Stínící účinnost metalizované tapety RSK Cu + Ni [9]	34
Obrázek 16 Větrací a průchodkové sekce stínících krytů [7].....	35
Obrázek 17 Manuální stíněné dveře, detail na nože s beryliovým těsněním [8].....	36
Obrázek 18 Automatické posuvné stíněné dveře [8]	37
Obrázek 19 Tapety a těsnění pro předělání dveří [8].....	38
Obrázek 20 Stínění pro ventilaci [8].....	38
Obrázek 21 Stínění pro ventilaci a topení, dřevěný rám.....	38
Obrázek 22 Stíněné okno pro modulární systém komor.....	39
Obrázek 23 Stíněné okno – profil [7]	39
Obrázek 24 Jednofázový odrušovací filtr	41
Obrázek 25 Rozměrový náčrt: SKY1FL50D	42

Obrázek 26 Útlumová charakteristika SKY1FL50D.....	42
Obrázek 27 Třífázový odrušovací filtr.....	43
Obrázek 28 Rozměrové nákresy třífázových filtrů.....	43
Obrázek 29 Schéma zapojení třífázového filtru	44
Obrázek 30 Útlumová charakteristiky	44
Obrázek 31 Průchodka pro optické vedení	45
Obrázek 32 Panel s anténními filtry a filtry pro optické vedení.....	45
Obrázek 33 3D výkres stíněné komory.....	47
Obrázek 34 Podlaha stíněné místnosti	48
Obrázek 35 Pohled stíněné komory v objektu	49
Obrázek 36 Kotva stropního panelu	49
Obrázek 37 Manuální posuvné dveře [8].....	50
Obrázek 38 Posuvní práh dveří.....	50
Obrázek 39 Stínění pro ventilaci	51
Obrázek 40 Pohled na napájecí filtr.....	52
Obrázek 41 Data line filter [8].....	52
Obrázek 42 Rezonanční frekvence krychle	55
Obrázek 43 Vytvoření bodů a následné pospojování	56
Obrázek 44 Hodnota R článku a generátoru	56
Obrázek 45 Referenční hodnoty pro natočení přijímací antény v ose z	57
Obrázek 46 Rezonanční charakteristika pro naklonení v ose x (od 200 MHz – 300 MHz)	57
Obrázek 47 Rezonanční charakteristika pro naklonení v ose x (od 200 MHz – 500 MHz)	58
Obrázek 50 Model krychle se štěrbinou	59
Obrázek 51 Vytvoření bodů objektu a následné vytvoření krychle se štěrbinou	59
Obrázek 52 Přijímací anténa v pozici osy X.....	60
Obrázek 53 Přijímací anténa v pozici osy Y.....	60
Obrázek 54 Přijímací anténa v pozici osy Z.....	61
Obrázek 55 Stínící účinnost pro krychli se štěrbinou	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Stínící účinnost konstrukce s pozinkovaných plechů	32
Tabulka 2 Stínící účinnost stíněné komory z metalizovaných tapet.....	34
Tabulka 3 Specifikace jednofázových filtrů	41
Tabulka 4 Technické parametry jednofázových filtrů	41
Tabulka 5 Specifikace třífázových filtrů	43
Tabulka 6 Technické parametry třífázových filtrů	43
Tabulka 7 Tabulka pro výslední stínící účinnost krychle se štěrbinou pro natočení antény v ose Z.....	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: 3D model stíněné komory pro datové centrum

Příloha P II: Nárys stíněné komory v objektu

Příloha P III: Půdorys stíněné komory

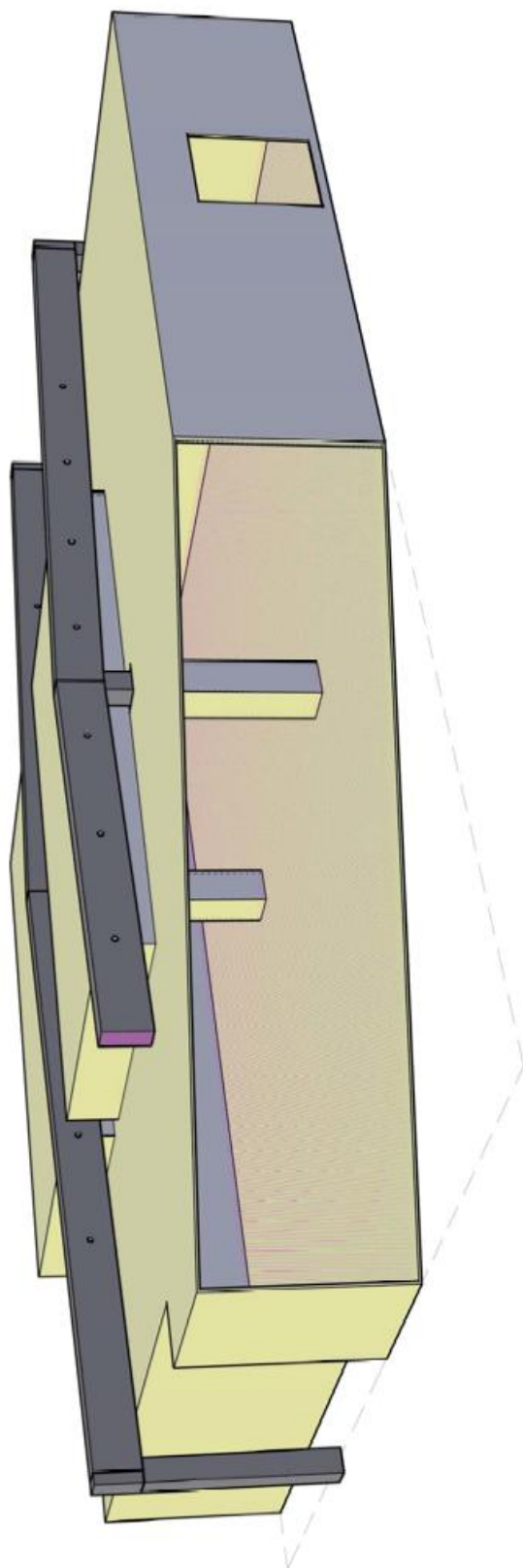
Příloha P IV: Detail podlahy pro stíněnou komoru

Příloha P V: Detail prahu dveří pro stíněnou komoru

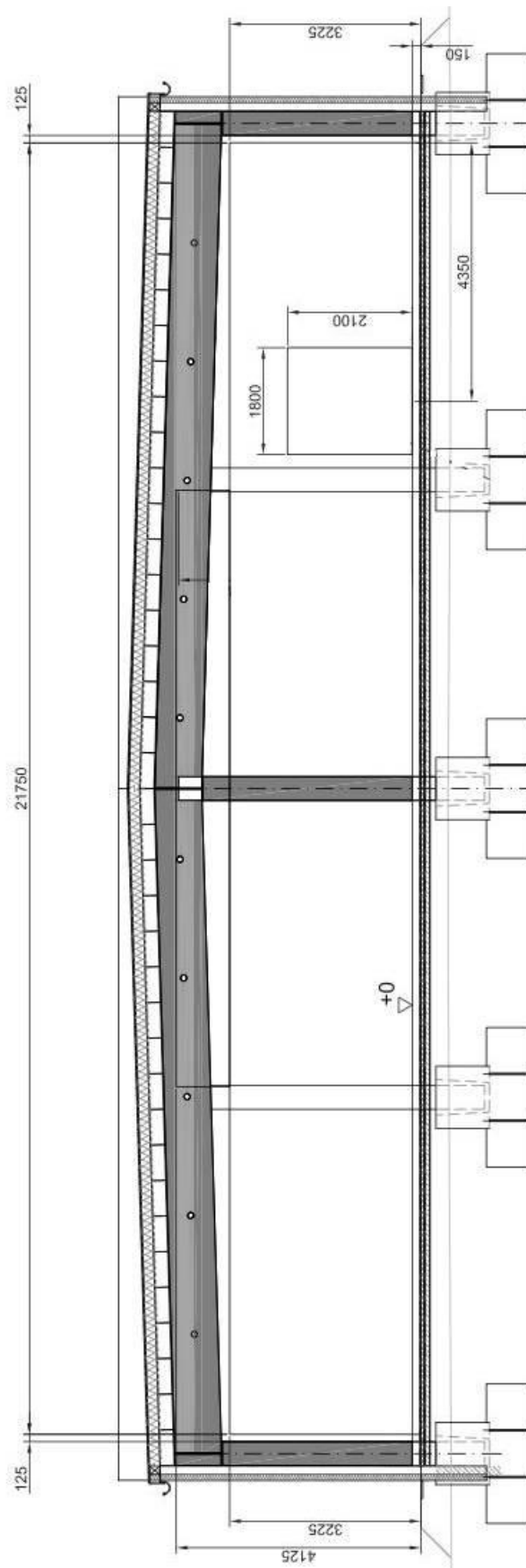
Příloha P VI: Výkres pro otvory stínění pro ventilaci

Příloha P VII: Výkres pro otvory stínění pro ventilaci

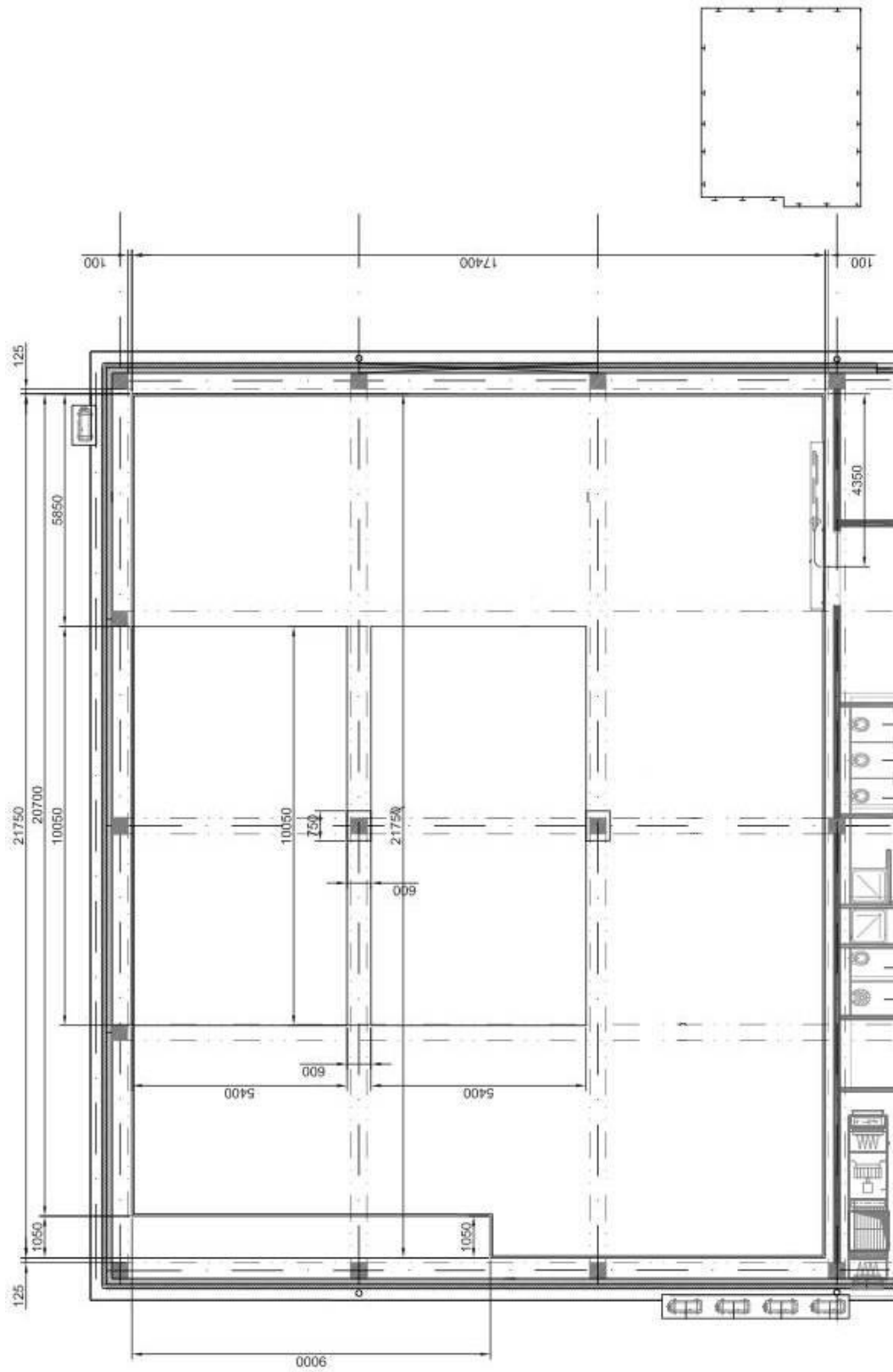
PŘÍLOHA P I: 3D MODEL STÍNĚNÉ KOMORY PRO DATOVÉ CENTRUM



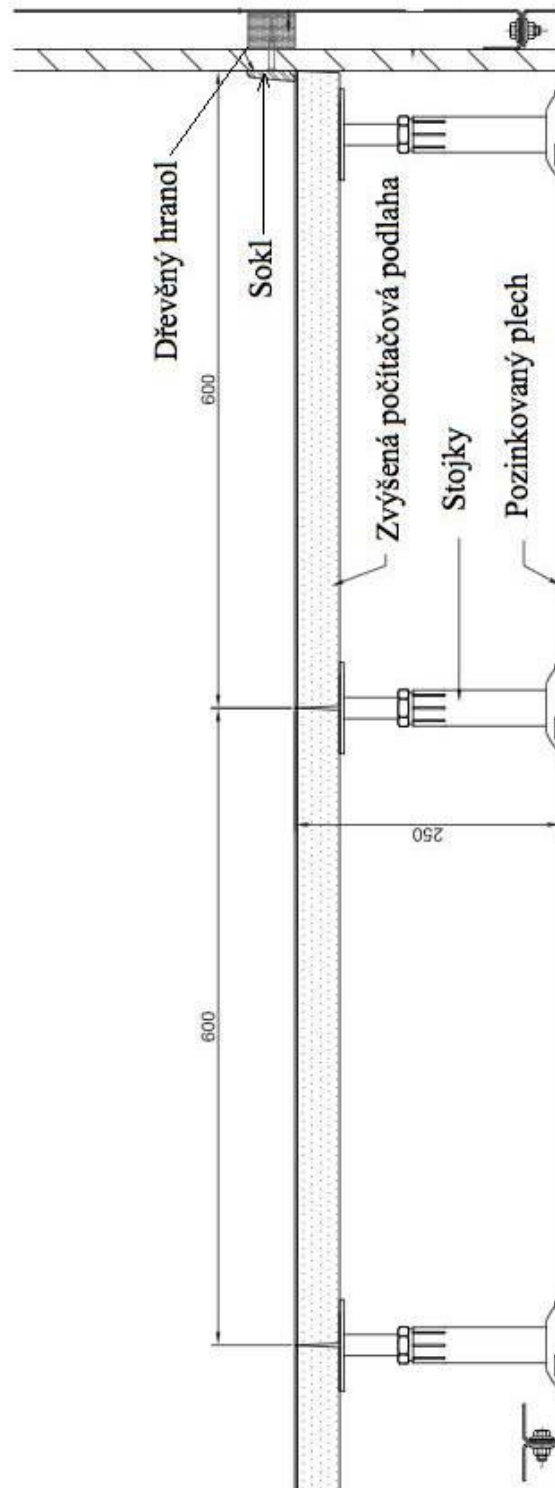
PŘÍLOHA P II: NÁRYS STÍNĚNÉ KOMORY V OBJEKTU



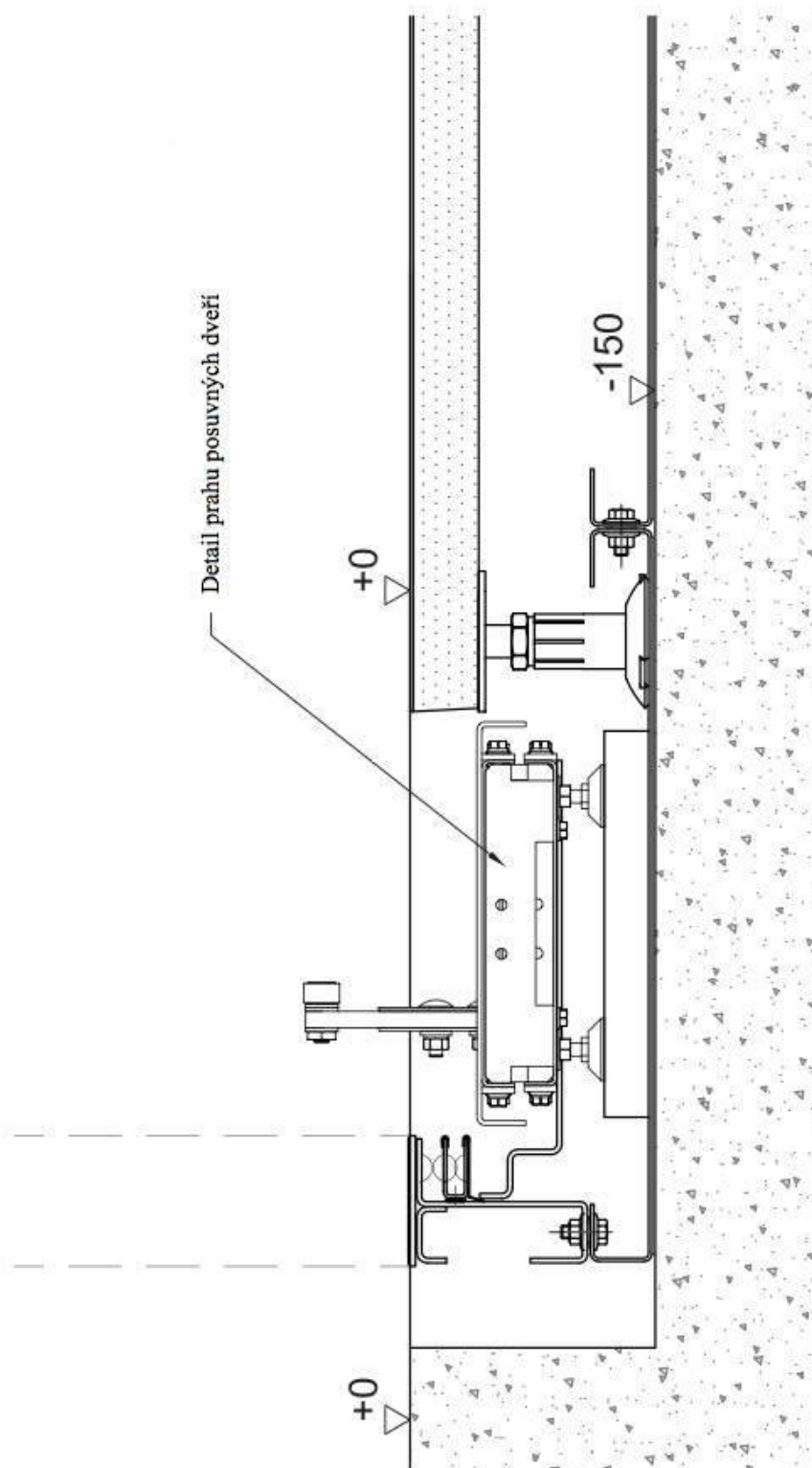
PŘÍLOHA III: PŮDORYS STÍNĚNÉ KOMORY



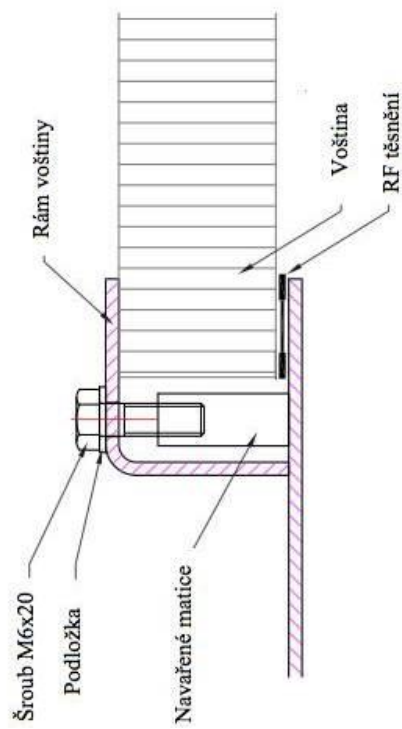
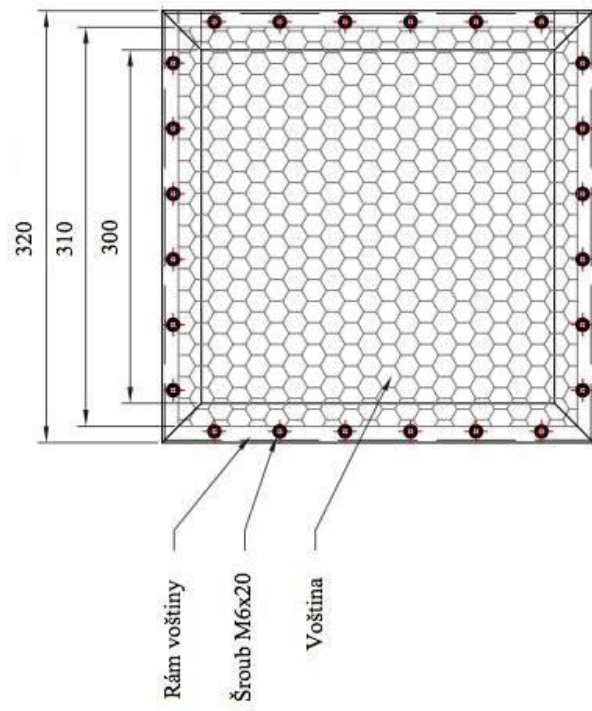
PŘÍLOHA P IV: DETAIL PODLAHY PRO STÍNĚNOU KOMORU



PŘÍLOHA V: DETAIL PRAHU POSUVNÝCH DVEŘÍ



PŘÍLOHA P VI: VÝKRES PRO STÍNĚNÍ OTVORŮ PRO VĚTRÁNÍ



PŘÍLOHA P VII: VÝKRES PRO STÍNĚNÍ OTVORŮ PRO VĚTRÁNÍ

