

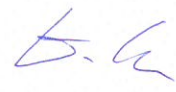
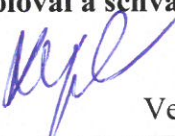
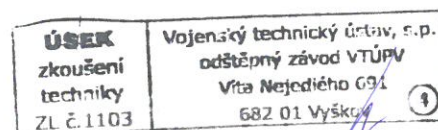


Vojenský technický ústav, s. p. odštěpný závod VTÚPV s certifikovaným systémem jakosti dle ČSN EN ISO 9001		Číslo úkolu/zakázky: 23-19-5-93-3074/060 Číslo protokolu: 194300-090/2023
	Úsek zkoušení techniky ZKUŠEBNA EMC	Výtisk číslo: 1 Počet listů: 18 Počet příloh: --
<h2 style="text-align: center;">PROTOKOL O ZKOUŠCE</h2> <h3 style="text-align: center;">STÍNICÍ ÚČINNOSTI – VLOŽNÉHO ÚTLUMU MATERIÁLU</h3>		
Jméno a adresa zadavatele:		Vojenský výzkumný ústav, s. p. Veslařská 337/230, 637 00 Brno - Pisárky
Identifikace zkoušeného předmětu:		Vzorek materiálu o rozměrech 320 x 320 x 4,6 mm
Typ / označení:		P3/2023
Počet:		1 kus
Výrobce:		Vojenský výzkumný ústav, s. p. Veslařská 337/230, 637 00 Brno - Pisárky
Technická dokumentace:		nedodána
Metoda zkoušení: Modifikovaná metoda vycházející z IEEE Std 299 TM - 2006 (200 MHz až 40 GHz)		
Datum přijetí do zkoušky: 19. 4. 2023	Vedoucí zkoušky: Ing. Daniel Kula, Ph.D. Výzkumný a zkušební inženýr 	
Datum a místo provedení zkoušky: 19. 4. - 21. 4. 2023 zkušebna EMC, VTÚPV Vyškov	Zkoušku provedl: Ing. Daniel Kula, Ph.D. Výzkumný a zkušební inženýr 	
Datum vydání protokolu: 26. 4. 2023	Kontroloval a schválil:  Ing. Petr Kupka Vedoucí zkušebny EMC  	
Výsledky zkoušky: Výsledky zkoušky jsou uvedeny na dalších stranách protokolu		
Adresa: Vojenský technický ústav, s.p. odštěpný závod VTÚPV Úsek zkoušení techniky Víta Nejedlého 691 682 01 VYŠKOV	Poznámky: Použita modifikovaná metoda měření účinnosti stínění materiálového vzorku, vycházející ze standardu IEEE Std 299 TM – 2006, vydaného dne 28.2.2007.	
Telefon: +420 910 105 611 E-mail: daniel.kula@vtusp.cz		

Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušeného předmětu tak, jak byl přijat. Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. Zkušebna nenese odpovědnost za data a informace dodané zákazníkem, mající vliv na platnost výsledků.

OBSAH

1	POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE.....	3
2	KLIMATICKÉ PODMÍNKY PŘI ZKOUŠENÍ	3
3	ZKOUŠENÉ ZAŘÍZENÍ (EUT)	3
4	POUŽITÁ METODA MĚŘENÍ	4
4.1	Uspořádání měřicího řetězce	6
4.2	Postup měření	6
4.2.1	Měření referenčních úrovní pro okno 260 x 260 mm	6
4.2.2	Určení dynamického (dostupného) rozsahu měření stínící účinnosti	6
4.2.3	Měření stínící účinnosti testovaných vzorků materiálů.....	7
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	8
5.1	Naměřené hodnoty v kmitočtových rozsazích E1 až E3	9
6	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	15
7	FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE	16



1 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Označení	Název	Výrobní číslo
A08	Anténa „Double Ridge Horn“ HP3115	8902-1464
A20	Anténa „Double Ridge Horn“ HF906	100068
A09	Anténa „DRH“ 40 GHz EMCO 3116	9802-2376
-	Anténa „DRH-Split“ 40 GHz AT4560	29412
-	Anténa spirálová 150 MHz – 1000 MHz	NBU0H000HG1J
-	Anténa spirálová 150 MHz – 1000 MHz	NBU0H000HG0O
E02	Měřicí přijímač Rohde & Schwarz ESIB 40	100089
E14	Měřicí přijímač Rohde & Schwarz ESU 26	100289
E11	Generátor Rohde & Schwarz SMR 40	100021
-	Laptop HP ProBook 4340s, Win 7 Professional ver. 2011, SP1, sw ATTmeter 7.1	2CE3082HSP

2 KLIMATICKÉ PODMÍNKY PŘI ZKOUŠENÍ

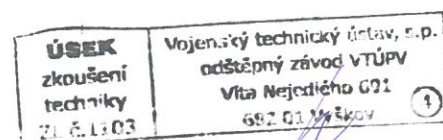
Atmosférický tlak: 97,2 kPa \pm 0,1 kPa
 Teplota okolí: 21,0 °C \pm 0,5 °C
 Relativní vlhkost: 33 % \pm 5 %

3 ZKOUŠENÉ ZAŘÍZENÍ (EUT)

Jeden vzorek materiálu, s plošnými rozměry 320 x 320 mm a označením dle Tab. 1.

Číslo vzorku	tloušťka	jednotková hmotnost
P3/2023	4,6 mm	712 g

Tabulka 1 Seznam měřených vzorků stínících materiálů



4 POUŽITÁ METODA MĚŘENÍ

Použitá metoda měření primárně vychází ze standardu IEEE Std 299TM-2006 „Standardní metoda pro měření účinnosti elektromagneticky stíněných komor“. Ve stěně měřicí stíněné komory je vytvořeno čtvercové okno o maximálních uvažovaných rozměrech cca 610 x 610 mm (24" x 24"), mající svůj původ v měřicím uspořádání pro měření stínicí účinnosti těsnících materiálů dle MIL-DTL-83528. Modifikace metody uvedené v IEEE Std 299TM-2006 je nutná proto, že požadavkem zde není změření stínicí účinnosti celé stíněné komory, ale pouze vložného útlumu materiálového vzorku upnutého ve čtvercovém okně této stíněné komory. Referenční úroveň signálu je proto získána z měření provedeného na stíněné komoře s volným oknem bez upnutého vzorku. Samotná měřicí stíněná komora je pak umístěna v semibezodrazové místnosti (SAR). Takto modifikovaná metoda měření stínicí účinnosti – vložného útlumu materiálového vzorku pak klade podstatná omezení na použitý kmitočtový rozsah měření.

V konfiguraci bez vzorku je přijímaná úroveň signálu měřicího přijímače naladěného na konkrétní hodnotu kmitočtu dána rozdílem mezi výkonovou úrovní generátoru TxP (viz Obr.1) a celkovým útlumem měřicí trasy vedoucí skrze čtvercové okno PL_{FS}, který v sobě zahrnuje vložný útlum koaxiálních kabelů, zisk Rx a Tx antén, vliv rozložení elektromagnetického pole uvnitř stíněné komory, vliv blízkosti stěn stíněné komory na vyzařovací charakteristiky přijímací antény (přijímací anténa je fakticky sondou v dutinovém rezonátoru), difrakční ztráty na měřicím okně a upínacím rámu, změnu přizpůsobení Rx antény vlivem přítomnosti vzorku v jejím blízkém poli, a pod. Je-li tedy upínací rám prázdný a čtvercové okno zcela volné, platí pro tuto referenční přijímanou úroveň:

$$RxL_{FS} [dBm] = TxP [dBm] - PL_{FS} [dB] \quad . \quad (1)$$

Po vložení konkrétního testovaného vzorku do upínacího rámu se celkový útlum měřicí trasy zvětší na hodnotu PL_{EUT}, k níž, kromě výše uvedených dílčích faktorů, přispívá i stínicí účinek – vložný útlum testovaného vzorku. TxP je přitom stále udržován na konstantní úrovni, typicky v rozmezí **3 až 13 dBm**, dle proměřovaného kmitočtového rozsahu. Pro přijímanou úroveň lze tak psát:

$$RxL_{EUT} [dBm] = TxP [dBm] - PL_{EUT} [dB] \quad (2)$$

Stínicí účinnost - vložný útlum materiálového vzorku SE lze pak přibližně vyjádřit vztahem (3). Tento výraz nezohledňuje specifické rozložení elektromagnetického pole uvnitř i vně stíněné komory odlišné od vlny TEM, ani rezonanční vlastnosti okna s upínacím rámem. Aby tento vztah platil s rozumnou přesností a reprodukovatelností, je tato metoda použitelná pro kmitočtové rozsahy ležící nad základním rezonančním kmitočtem okna umístěného ve stěně stíněné komory.

$$SE [dB] = RxL_{FS} [dBm] - RxL_{EUT} [dBm] \quad (3)$$

Zatímco stínicí účinnost ideální stíněné komory bez šterbin, průchodů a bez jiných nehomogenit, zpravidla přesahuje hodnotu 100 dB, je praktická stínicí účinnost použité měřicí stíněné komory mnohem nižší. Vlivem nedokonalého elektrického kontaktu mezi sousedními stěnami komory, mezi stěnou s oknem a k ní připevněným upínacím rámem pro vzorky materiálů, jakož i mezi rámem a kleštinami přichyceným vzorkem, dosahuje tato v našem konkrétním případě hodnoty **50 - 70 dB**, v uvažovaném kmitočtovém rozsahu 200 MHz – 40 GHz. Nahradíme-li měřený vzorek pocínovaným plechem, tedy obdobným materiálem z jakého je vyroben plášť měřicí stíněné komory, můžeme tuto skutečnou stínicí účinnost měřicí stíněné komory stanovit z měření přijímané úrovně signálu s vloženým plechem RxL_{TIN}

a určit tak i tzv. dynamický (dostupný) rozsah DR pro měření stínící účinnosti - vložného útlumu materiálových vzorků pro dané uspořádání měřicí sestavy:

$$DR [dB] = RxL_{FS} [dBm] - RxL_{TIN} [dBm] \quad . \quad (4)$$

Plechová měřicí stíněná komora tvoří kvádrový dutinový rezonátor. Rezonanční kmitočty měřicí stíněné komory – dutinového rezonátoru, jsou určeny vztahem:

$$f_{klm} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{k\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{l\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{c}\right)^2} \quad , \quad (5)$$

kde k, l, m jsou vidová čísla (přirozená čísla, z nichž alespoň dvě jsou od nuly různá) příslušného rezonančního vidu a rozměry měřicí stíněné komory: **a = 1186 mm, b = 967 mm, c = 812 mm**. Pro vzduch je relativní permitivita ϵ_r přibližně rovna 1. Několik rezonančních kmitočtů měřicí stíněné komory, počínaje nejnižším, je uvedeno v Tab. 2.

Freq [MHz]	Freq [MHz]	Freq [MHz]
126,39	409,63	560,56
155,01	419,90	568,04
184,60	421,71	575,09
200,01	440,55	588,81
223,72	447,44	593,77
241,05	449,30	600,02
252,78	465,03	607,08
272,18	473,53	608,76
296,52	481,90	613,34
310,02	482,10	627,77
313,01	489,78	628,19
334,80	498,40	634,68
349,29	500,33	645,34
360,82	516,05	647,14
369,20	523,41	671,17
379,16	529,22	683,16
382,32	529,29	688,83
390,24	544,35	704,51
400,01	551,46	723,16
400,42	553,80	734,12

Tabulka 2 Nejnížší rezonanční kmitočty stíněné komory

Na přesnost měření mají zpravidla největší vliv resonance na nejnižších kmitočtech, tedy kmitočtech s nejnižšími vidovými čísly, kde je činitel jakosti stíněné komory – dutinového rezonátoru nejvyšší. S rostoucími vidovými čísly klesá činitel jakosti dutinového rezonátoru a vliv rezonancí na rozptyl výsledků měření stínící účinnosti klesá. Absorbér ve stíněné komoře slouží ke snížení činitele jakosti.

Okno ve stěně stíněné měřicí komory VTÚPV s rámem pro upnutí vzorku má vnitřní rozměry 260 x 260 mm. Budeme-li toto okno považovat za čtvercovou plošnou anténu, pak její nejnižší rezonanční kmitočet je dán vztahem:

$$f_{Wres} = \frac{c}{2l} = \frac{300}{2 \cdot 0,26} = 577 \text{ MHz} \quad . \quad (6)$$

Zatímco nejnižší měřený kmitočet byl v daném případě zvolen 200 MHz, a to s ohledem na parametry použitých antén, spolehlivé a stabilní výsledky naměřené stínící účinnosti - vložného útlumu

testovaného vzorku materiálu lze u zvolené metody očekávat až pro kmitočty ležící nad hodnotou nejnižšího rezonančního kmitočtu určeného dle (6).

Kmitočtový rozsah měření stínící účinnosti byl z důvodu použitého přístrojového vybavení rozdělen na tři dílčí měřicí podrozsahy:

- E1) 200 MHz až 1000 MHz s kmitočtovým krokem 21 MHz,
- E2) 1 GHz až 18 GHz s kmitočtovým krokem 500 MHz,
- E3) 18 GHz až 40 GHz s kmitočtovým krokem 1000 MHz.

Meze stínící účinnosti - vložného útlumu materiálového vzorku, ani kritéria Vyhovělo/Nevyhovělo, nebyla zadavatelem zkoušky stanovena.

4.1 Uspořádání měřicího řetězce

Uspořádání měřicího řetězce pro měřicí rozsahy E1 až E3 je načrtnuto na Obr. 1. Měřicí EMI přijímač s příslušnou přijímací anténou je instalován uvnitř měřicí stíněné komory a, s výjimkou přijímače ESIB 40 (podrozsah E3), je napájen z baterie 24V. Komunikace mezi EMI přijímačem a počítačem s nainstalovaným ovládacím programovým nástrojem ATTmeter ver. 7.1 probíhá skrze rozhraní 100baseFX. Signálový generátor sloužící jako vysílač je spolu s příslušnou vysílací anténou umístěn v SAR, vně měřicí stíněné komory. Tento generátor je synchronizován 10 MHz kmitočtovou referencí z EMI přijímače, skrze optické rozhraní OF-MM 1310 nm. Komunikace mezi signálovým generátorem a počítačem s programovým nástrojem ATTmeter ver. 7.1 je realizována přes GPIB/USB adaptér.

Pro kmitočtový rozsah E1 je použit pár planárních spirálových antén vysílajících/přijímajících cirkulární (kruhovou) polarizaci. Pro pásma E2, E3 jsou použity dva páry antén „Double Ridge Horn“ (DRH), lišící se velikostí a tím i svým kmitočtovým rozsahem. Vzdálenosti mezi vysílací anténou a testovaným vzorkem L1, jakož i vzdálenosti mezi testovaným vzorkem a EMI přijímačem L2 byly zvoleny následující: *pásmo E1* – L1 = 150 cm, L2 = 50 cm; *pásmo E2* – L1 = 105 cm, L2 = 40 cm; *pásmo E3* – L1 = 130 cm, L2 = 45 cm.

Měření přijímané úrovně RxL probíhalo s nastavenou šířkou pásma IF filtru EMI přijímače 200 Hz, se zapnutým detektorem střední hodnoty. Nastavená úroveň výkonu signálového generátoru v rozsahu E1 – TxP = 10 dBm; v rozsahu E2 – TxP = 6 dBm; v rozsahu E3 – TxP = 6 dBm.

4.2 Postup měření

4.2.1 Měření referenčních úrovní pro okno 260 x 260 mm

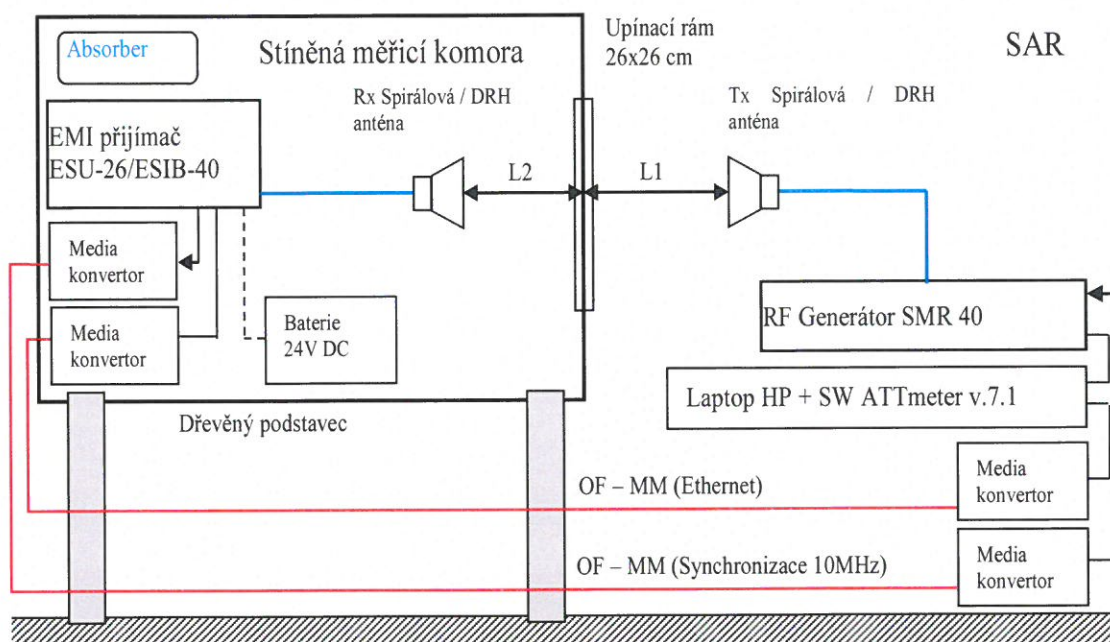
Změření referenční úrovně RxL_{FS} bylo provedeno na otevřeném okně (bez vzorku) s upínacím přípravkem o vnitřních rozměrech 260 x 260 mm. Měření probíhalo automatizovaně, za užití programového nástroje ATTmeter ver. 7.1 v režimu *Lin*, a naměřené hodnoty byly uloženy do textového souboru. Hodnoty RxL_{FS} v tomto souboru reprezentují pro každou diskrétní hodnotu nastaveného kmitočtu vztaznou hodnotu úrovně pro výpočet SE dle (3).

4.2.2 Určení dynamického (dostupného) rozsahu měření stínící účinnosti

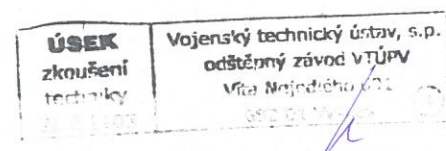
Měření úrovně signálu RxL_{TIN} nutné pro zjištění dynamického (dostupného) rozsahu měření stínící účinnosti, proběhlo za použití srovnávacího vzorku pocívaného plechu o rozměru 320 x 320 mm, osazeného v okně měřicí stíněné komory. Měření probíhalo opět automatizovaně, za užití programového nástroje ATTmeter ver. 7.1 v režimu *From File*. Z naměřených hodnot byly programovým nástrojem ATTmeter ver. 7.1 vypočteny hodnoty dynamického (dostupného) rozsahu DR dle vztahu (4).

4.2.3 Měření stínící účinnosti testovaných vzorků materiálů

Při měření testovaných stínících materiálů byl vzorek upnut do přípravku vždy ve stejné orientaci – text s označením vzorku nahoře. Měření byla prováděna automatizovaně za použití programového nástroje ATTmeter ver. 7.1, jednotlivě v každém kmitočtovém rozsahu E1 až E3. Programový nástroj ATTmeter ver. 7.1, pracující v režimu *From File*, provádí i výpočet stínící účinnosti dle (3). Na rozsazích E2, E3 bylo měření prováděno při obou ortogonálních polarizacích antén (horizontální, vertikální). Na rozsahu E1 bylo měření prováděno rovněž při obou ortogonálních cirkulárních polarizacích antén (levotočivá, pravotočivá). Po odměření vzorků byla znovu změřena referenční úroveň, aby se zabránilo degradaci výsledků měření vlivem posunu referenční úrovně při opakované mechanické manipulaci s měřicí stíněnou komorou.



Obrázek 1 Uspořádání měřicího řetězce

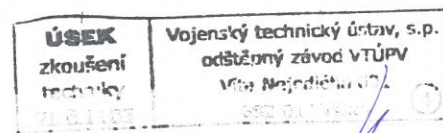


5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny hodnoty stínící účinnosti – vložného útlumu měřeného materiálového vzorku (přední strana vzorku „FRONT“ směřuje k vysílací anténě = *měření z přední strany*; zadní strana vzorku „BACK“ směřuje k vysílací anténě = *měření ze zadní strany*) a srovnávacího vzorku pocínovaného plechu. Tabulka naměřených hodnot obsahuje pro vzorek zprůměrované hodnoty stínící účinnosti přes obě ortogonální polarizace, pro jednotlivé diskrétní hodnoty kmitočtů nastavované v kmitočtových rozsazích E1, E2, E3. První hodnota kmitočtu každého kmitočtového rozsahu v pořadí E1, E2, E3, je uvedena číslem zelené barvy.

Grafické závislosti používají logaritmickou stupnici kmitočtu (Frequency) v MHz a lineární stupnici hodnot stínící účinnosti – vložného útlumu měřených materiálů (Insertion Loss) v dB (decibelech).

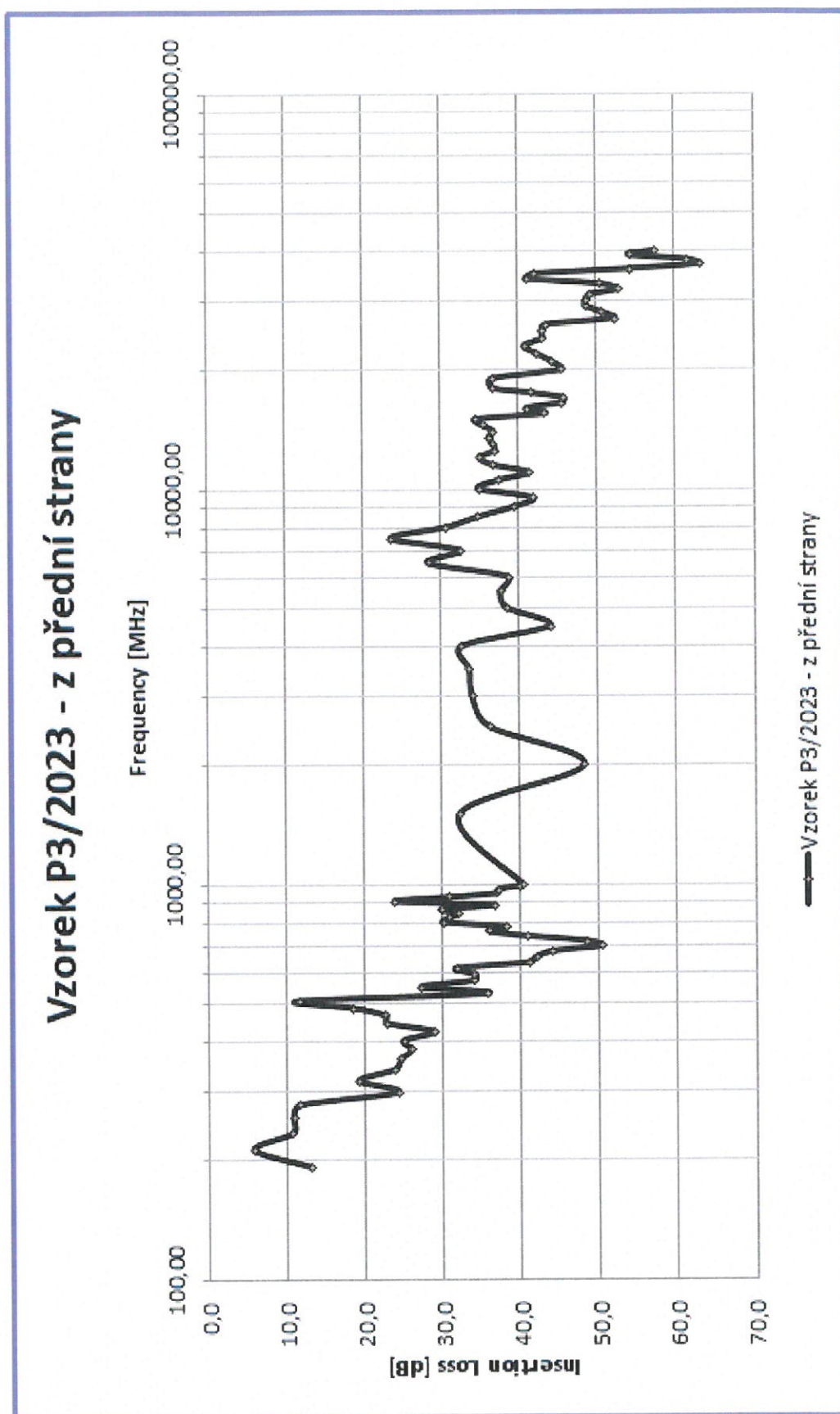
Detailní tabelární hodnoty stínící účinnosti pro jednotlivé polarizace, jakož i odpovídající přijímané úrovně R_{XLFs} a R_{XLEUT} z nichž byla stínící účinnost vypočtena dle (3), jsou k dispozici v MS Excel souboru souhrnných výsledků **VVU_1vzorekMaterialu_042023.xlsx**, který byl zaslán zadavateli před vypracováním tohoto protokolu.



5.1 Naměřené hodnoty v kmitočtových rozsazích E1 až E3

Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]	Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]
192,00	13,2	5500,00	37,7
213,00	5,8	6000,00	38,6
234,00	10,8	6500,00	28,4
255,00	10,9	7000,00	32,5
276,00	11,6	7500,00	23,6
297,00	24,2	8000,00	30,7
318,00	19,2	8500,00	34,9
339,00	23,8	9000,00	39,4
360,00	24,7	9500,00	41,9
381,00	26,0	10000,00	35,0
402,00	25,0	10500,00	37,4
423,00	28,9	11000,00	41,4
444,00	22,9	11500,00	36,8
465,00	22,7	12000,00	35,1
486,00	18,4	12500,00	37,0
507,00	11,6	13000,00	36,8
528,00	35,7	13500,00	36,3
549,00	27,2	14000,00	36,9
570,00	34,2	14500,00	35,4
591,00	34,2	15000,00	34,5
612,00	31,8	15500,00	43,4
633,00	41,0	16000,00	41,1
654,00	42,0	16500,00	45,6
675,00	44,2	17000,00	45,9
696,00	50,3	17500,00	41,7
717,00	48,5	18000,00	36,8
738,00	40,8	19000,00	36,6
759,00	36,0	20000,00	45,5
780,00	38,1	21000,00	44,3
801,00	30,1	22000,00	42,4
822,00	31,0	23000,00	40,8
843,00	32,0	24000,00	43,2
864,00	30,0	25000,00	43,0
885,00	36,7	26000,00	43,5
906,00	24,0	27000,00	52,3
927,00	30,8	28000,00	50,6
948,00	37,1	29000,00	48,7
969,00	37,2	30000,00	48,7
990,00	40,0	31000,00	49,3
1000,00	40,3	32000,00	52,8
1500,00	32,3	33000,00	50,5
2000,00	48,2	34000,00	41,2
2500,00	36,3	35000,00	42,2
3000,00	34,0	36000,00	54,4
3500,00	33,7	37000,00	63,2
4000,00	32,7	38000,00	61,5
4500,00	43,9	39000,00	54,2
5000,00	38,5	40000,00	57,5

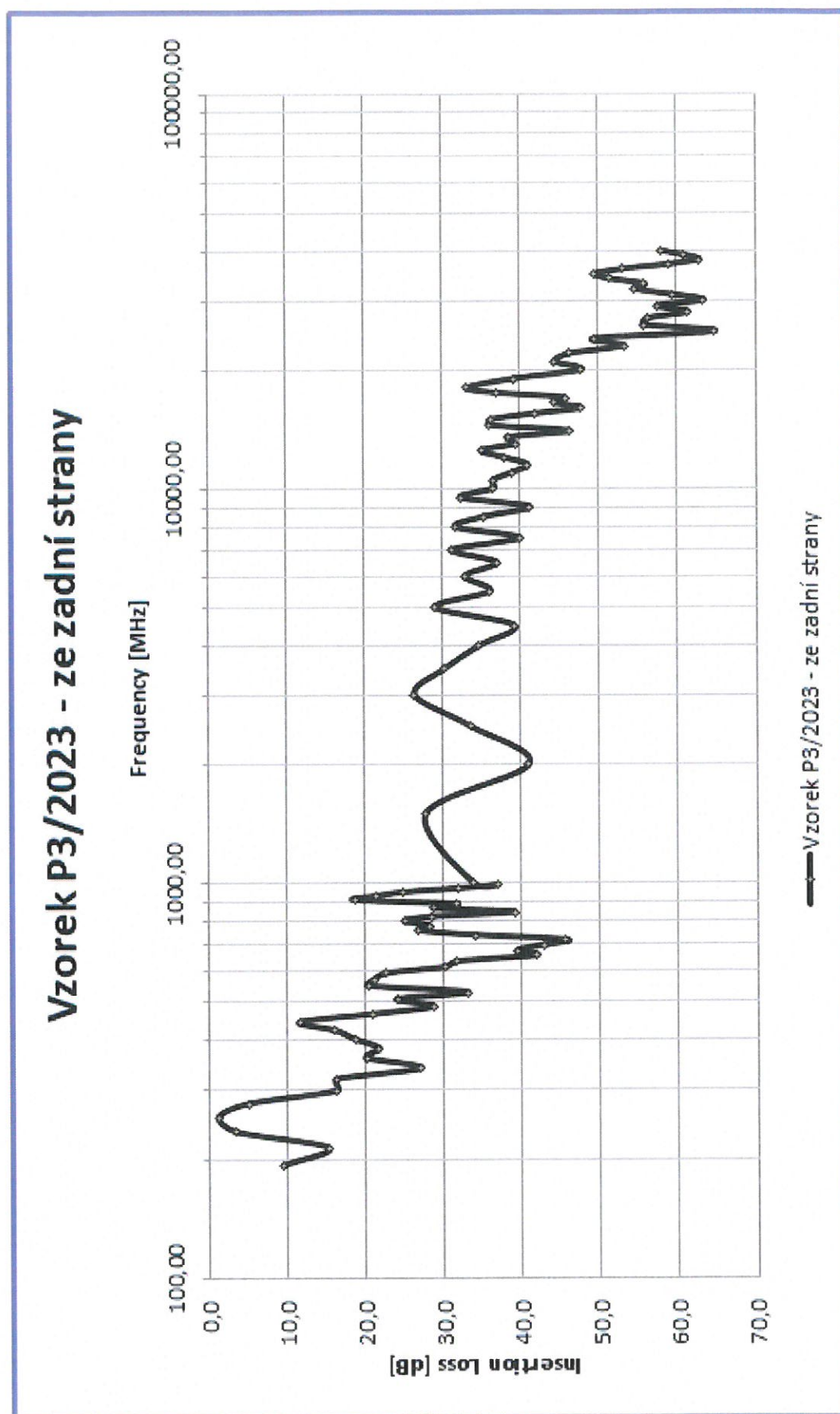
Tabulka 3 Naměřené hodnoty stínící účinnosti – vložného útlumu vzorku materiálu v rozsahu kmitočtů E1-E3: vzorek P3/2023 – z přední strany



Obrázek 2 Stínící účinnost – vložný útlum vzorku materiálu, naměřená v rozsahu kmitočtů E1-E3:
vzorek P3/2023 – z přední strany

Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]	Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]
192,00	9,5	5500,00	36,1
213,00	15,3	6000,00	32,8
234,00	3,4	6500,00	37,0
255,00	1,2	7000,00	31,2
276,00	5,1	7500,00	39,9
297,00	16,3	8000,00	31,7
318,00	16,3	8500,00	35,3
339,00	27,1	9000,00	41,2
360,00	20,2	9500,00	32,3
381,00	21,8	10000,00	36,5
402,00	18,6	10500,00	36,5
423,00	16,2	11000,00	38,9
444,00	11,6	11500,00	40,9
465,00	21,0	12000,00	38,0
486,00	28,6	12500,00	35,0
507,00	24,0	13000,00	39,4
528,00	33,1	13500,00	38,4
549,00	20,4	14000,00	46,3
570,00	21,1	14500,00	36,0
591,00	22,7	15000,00	36,3
612,00	30,2	15500,00	41,8
633,00	31,7	16000,00	47,7
654,00	41,8	16500,00	44,3
675,00	39,5	17000,00	45,6
696,00	42,8	17500,00	37,0
717,00	45,6	18000,00	33,1
738,00	34,1	19000,00	39,1
759,00	26,8	20000,00	47,8
780,00	28,2	21000,00	44,3
801,00	25,0	22000,00	46,3
822,00	28,4	23000,00	53,2
843,00	39,1	24000,00	49,4
864,00	28,7	25000,00	64,8
885,00	31,6	26000,00	55,7
906,00	18,6	27000,00	56,1
927,00	21,5	28000,00	61,4
948,00	24,9	29000,00	57,4
969,00	31,8	30000,00	63,4
990,00	37,0	31000,00	59,4
1000,00	33,8	32000,00	54,6
1500,00	27,8	33000,00	55,8
2000,00	41,0	34000,00	51,4
2500,00	33,5	35000,00	49,5
3000,00	26,4	36000,00	53,1
3500,00	30,3	37000,00	58,9
4000,00	34,7	38000,00	62,8
4500,00	39,2	39000,00	61,0
5000,00	29,0	40000,00	58,0

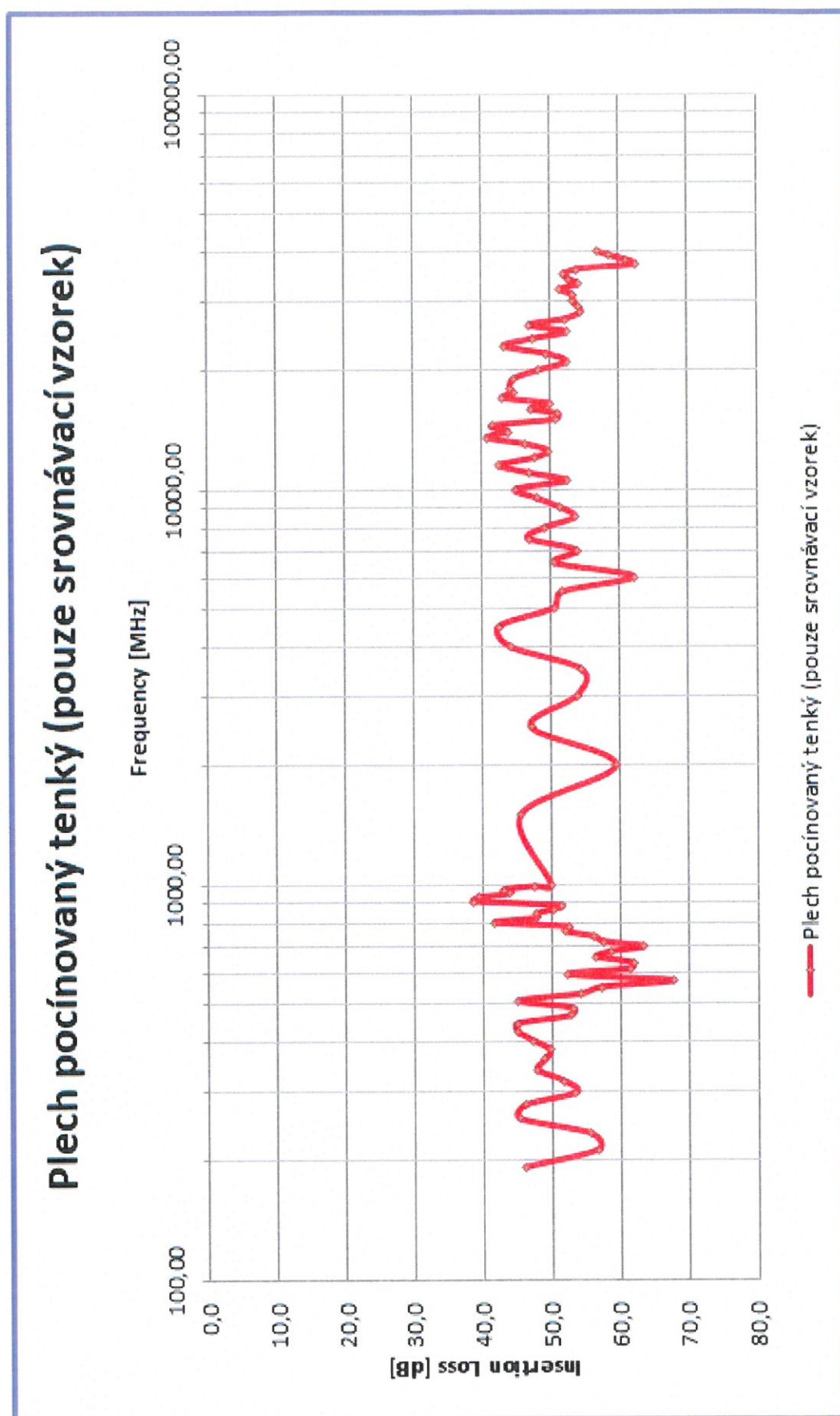
Tabulka 4 Naměřené hodnoty stínící účinnosti – vloženého útlumu vzorku materiálu v rozsahu kmitočtů E1-E3: vzorek P3/2023 – ze zadní strany



Obrázek 3 Stínící účinnost – vložný útlum vzorku materiálu, naměřená v rozsahu kmitočtů E1-E3:
vzorek P3/2023 – ze zadní strany

Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]	Frequency [MHz]	Insertion Loss [dB]
192,00	46,1	5500,00	51,7
213,00	56,7	6000,00	62,3
234,00	55,7	6500,00	50,7
255,00	45,3	7000,00	54,0
276,00	46,1	7500,00	46,9
297,00	53,5	8000,00	49,3
318,00	51,8	8500,00	53,7
339,00	47,9	9000,00	51,4
360,00	49,1	9500,00	48,0
381,00	49,7	10000,00	45,0
402,00	47,4	10500,00	52,5
423,00	45,1	11000,00	47,0
444,00	45,0	11500,00	42,7
465,00	52,8	12000,00	47,8
486,00	53,2	12500,00	49,9
507,00	45,2	13000,00	46,6
528,00	54,2	13500,00	40,8
549,00	57,3	14000,00	44,1
570,00	67,8	14500,00	41,7
591,00	52,4	15000,00	51,0
612,00	61,5	15500,00	51,3
633,00	61,9	16000,00	47,3
654,00	56,5	16500,00	50,0
675,00	58,7	17000,00	43,3
696,00	63,6	17500,00	44,7
717,00	57,5	18000,00	44,3
738,00	56,3	19000,00	44,8
759,00	52,1	20000,00	48,5
780,00	52,7	21000,00	52,6
801,00	41,8	22000,00	49,6
822,00	47,8	23000,00	43,3
843,00	47,9	24000,00	47,5
864,00	50,3	25000,00	52,5
885,00	51,6	26000,00	47,1
906,00	38,7	27000,00	52,4
927,00	39,4	28000,00	54,5
948,00	44,1	29000,00	54,2
969,00	43,1	30000,00	53,4
990,00	47,6	31000,00	53,4
1000,00	50,0	32000,00	51,6
1500,00	45,7	33000,00	54,2
2000,00	59,5	34000,00	52,9
2500,00	47,2	35000,00	52,1
3000,00	53,8	36000,00	54,1
3500,00	54,6	37000,00	62,5
4000,00	44,1	38000,00	61,3
4500,00	42,6	39000,00	58,8
5000,00	50,5	40000,00	56,9

Tabulka 5 Naměřené hodnoty stínící účinnosti – vložného útlumu materiálového vzorku v rozsahu kmitočtů E1-E3: Srovnávací vzorek pocínovaného plechu



Obrázek 4 Stínící účinnost – vložný útlum materiálového vzorku, naměřená v rozsahu kmitočtů E1-E3:
Srovnávací vzorek pocínovaného plechu

6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Jak výše uvedeno, je měření stínicí účinnosti – vložného útlumu materiálového vzorku zdola kmitočtově omezeno rozměry měřicího okna. Stabilních výsledků měřené stínicí účinnosti je proto dosaženo až od kmitočtu cca 600 MHz. Rozptyl naměřených hodnot byl zmenšen průměrováním výsledků ze dvou ortogonálních polarizací, tj. průměrováním výsledků z levotočivé cirkulární a pravotočivé cirkulární polarizace u měření prováděných v kmitočtovém rozsahu E1, jakož i z vertikální a horizontální polarizace u měření prováděných v kmitočtových rozsazích E2, E3.

K fluktuacím hodnoty stínicí účinnosti – vložného útlumu měřených vzorků v závislosti na kmitočtu, zejména u kmitočtů do 1 GHz, dochází vlivem vlastních resonancí měřicí stíněné schránky, dále vlivem posunu rezonančních maxim schránky při vložení vzorku do měřicího okna ve srovnání s otevřeným oknem bez vzorku, event. též vlivem nedokonalého přizpůsobení jednotlivých prvků měřicí sestavy (kabelů, antén). Hodnota stínicí účinnosti naměřeného materiálového vzorku v rámci proměřovaného kmitočtového pásma:

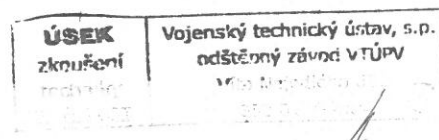
- 1) 400 MHz – 1 GHz je útlum **< 35 dB**,
- 2) 1 GHz – 18 GHz je útlum cca **35 dB**,
- 3) 18 GHz – 40 GHz je útlum **> 40 dB**.

Lze konstatovat, že útlum vzorku v celém proměřovaném kmitočtovém rozsahu je poměrně významný.

Měřicí stíněná komora s upnutým srovnávacím vzorkem pocínovaného plechu pak dosahuje stínicí účinnosti cca 40 – 65 dB v pásmu kmitočtů od 200 MHz do 40 GHz. Na kmitočtech blízkých 40 GHz se útlum vzorku již blíží dynamickému (dostupnému) rozsahu měření.

Poznámka:

V případě potřeby přesnějších výsledků v pásmu 200 – 600 MHz, kde použitá metoda nedává přesné výsledky vlivem blízkosti vlastní rezonance měřicího okna, by musela být použita jiná měřicí metoda, např. metoda s vázanými TEM buňkami (DTEM cells). Metoda s vázanými TEM buňkami je použitelná v rozsahu kmitočtů 30 MHz – 1000 MHz.



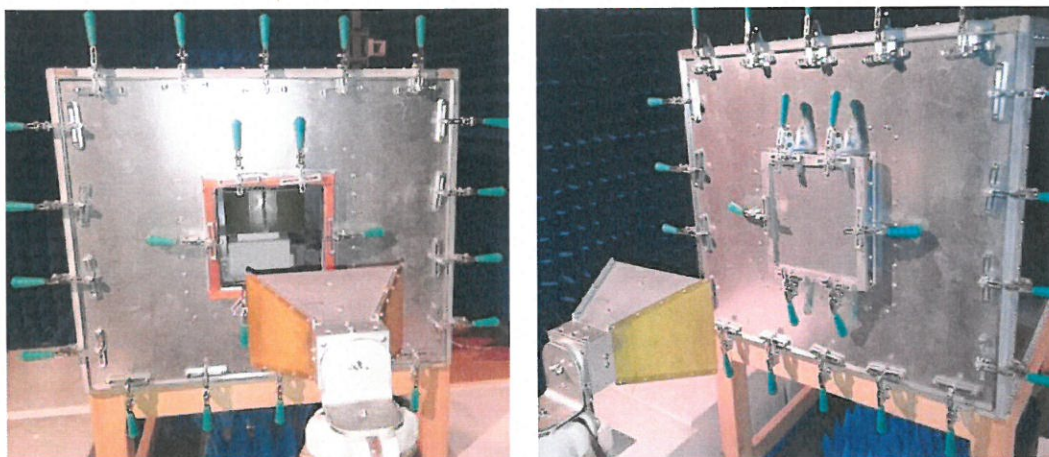
7 FOTOGRAFICKÁ DOKUMENTACE



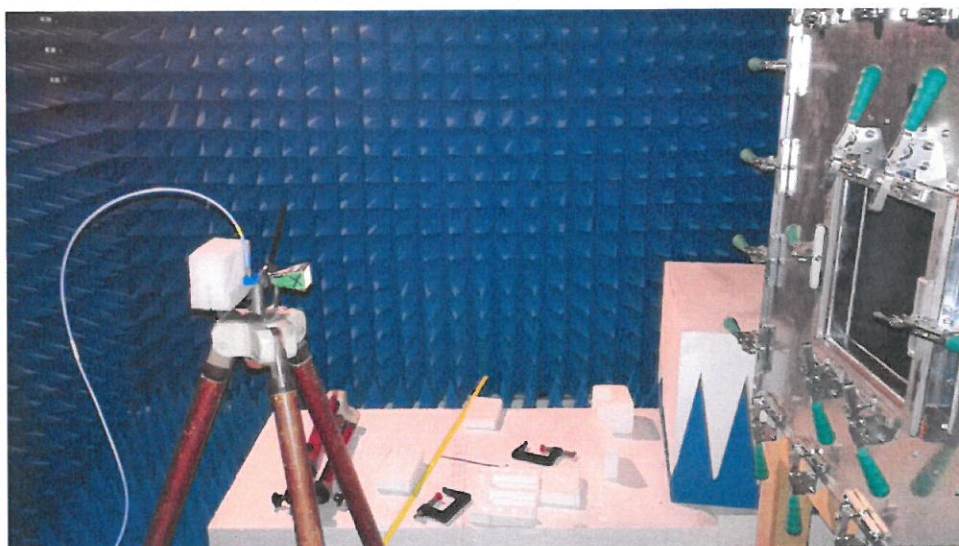
Obrázek 5 Měření EUT – pásmo E2, vzorek P3/2023 ze zadní strany, vertikální polarizace



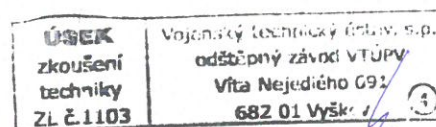
Obrázek 6 Měření EUT – pásmo E2, vzorek P3/2023 z přední strany, horizontální polarizace



Obrázek 7 Měření v rozsahu E2, reference (vlevo), srovnávací vzorek plechu (vpravo), vertikální polarizace

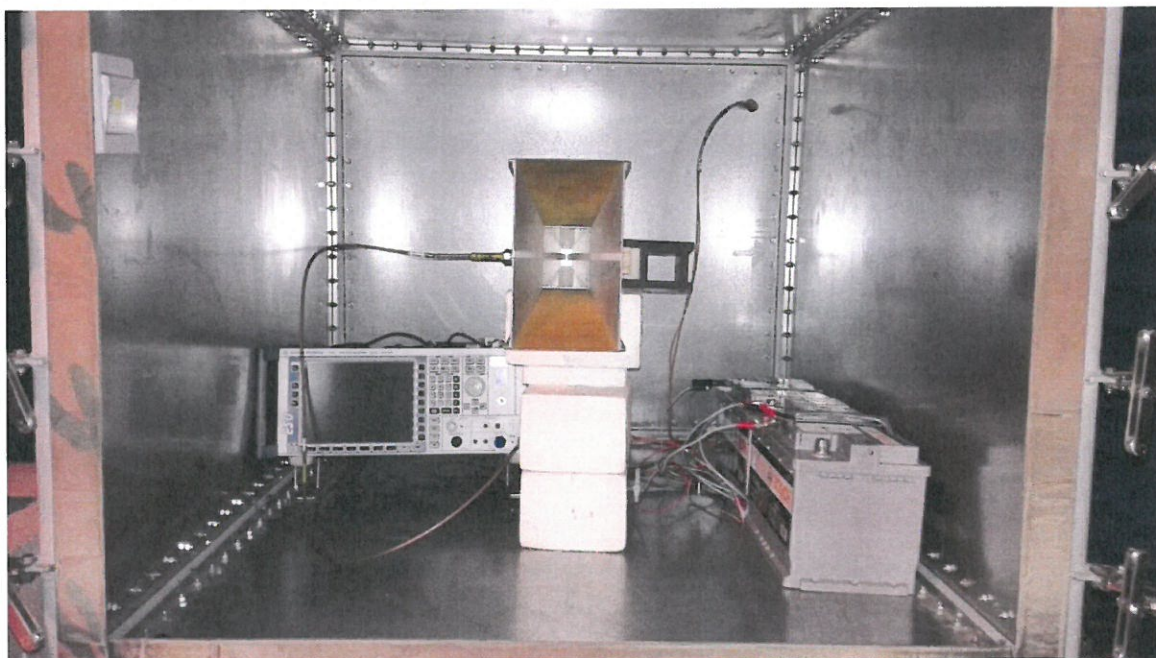


Obrázek 8 Měření reference v kmitočtovém rozsahu E3, vertikální polarizace





Obrázek 9 Měření EUT – pásmo E3, vzorek P3/2023 z přední strany, vertikální polarizace



Obrázek 10 Sestava EMI přijímače v měřicím stíněném boxu, kmitočtový rozsah E2, horizontální polarizace

KONEC PROTOKOLU

ÚSEK zkoušení techniky ZL č. 1103	Vojenský technický ústav, s.p. odštěpný závod VTÚPV Víta Nejedlicho 691 682 01 Vyškov <i>[Signature]</i>
---	--