

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vícekanálové ozvučení v automobilu – realizace**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Libor LUKÁŠEK**  
Osobní číslo: **E17B0084P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Téma práce: **Vícekanálové ozvučení v automobilu – realizace**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

### Zásady pro vypracování

1. Prostudujte a popište současné řešení vícekanálového ozvučení automobilu Škoda Superb
2. Navrhněte nové zapojení vícekanálového zvuku v automobilu s důrazem na variabilitu celého zapojení.
3. Navržené změny realizujte a zdokumentujte.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. Stavíme reproduktorové soustavy, Sýkora Bohumil, A-Radio 10/97 – 9/2001
2. Sound System Engineering, Davis Don, ISBN-13: 978-0240818467
3. High Performance Loudspeakers, Colloms Martin, ISBN-13: 978-0470094303

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Zuzjak, Ph.D.**  
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



  
\_\_\_\_\_  
**Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

## **Abstrakt**

V bakalářské práci je rozebráno vícekanálové ozvučení automobilu Škoda Superb 2. generace. K této práci byl k dispozici právě tento model automobilu. Část práce se zabývá teorií ozvučování kabiny automobilu a parametry reproduktorů. Další část se prakticky zaměřuje na ozvučení interiéru jak sériového, tak speciálně upraveného Superbu, kde jsou vysvětleny podstatné změny především v rozšíření a změně umístění reproduktorů. Poslední část je zaměřená na měření parametrů reproduktorů v bezdrazové komoře, v laboratoři a následně také v samotném automobilu.

## **Klíčová slova**

Vícekanálové ozvučení automobilu, Škoda Superb Combi, 2.generace, reproduktory, interiér automobilu, akustické měniče, TS parametry

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the multi-channel sound system of the Škoda Superb 2nd generation. This car model was available for this work. The first part of the work deals with the theory of sound, especially the car cabin and the parameters of the speakers. The second practical part focuses on the sound of the interior of both the serial and extensively modified Superb, where the substantial changes are explained, especially in the expansion and change of the location of the speakers. The third part is focused on measuring the parameters of speakers in the acoustic chamber, in the laboratory and subsequently also in the vehicle itself.

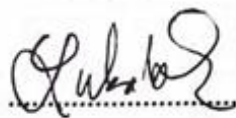
## **Key words**

Multi-channel car sound system, Škoda Superb Combi, 2nd generation, speakers, car interior, acoustic transducers, TS parameters

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.



.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2021

Libor Lukášek

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Zuzjakovi Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady při její realizaci.

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Vícekanálové ozvučení automobilu</b> .....	<b>11</b>
1.1 Vlivy ovlivňující ozvučení interiéru.....	12
<b>2 Parametry reproduktoru</b> .....	<b>13</b>
2.1 Mechanické parametry .....	13
2.2 Všeobecné parametry .....	13
2.2.1 Elektrický příkon.....	13
2.2.2 Citlivost.....	14
2.2.3 Maximální akustický tlak.....	14
2.2.4 Impedance.....	14
2.2.5 Frekvenční rozsah .....	15
2.3 Mechanicko-elektrické parametry .....	15
<b>3 Sériové ozvučení automobilu Škoda Superb Combi 2. generace</b> .....	<b>17</b>
<b>4 Speciálně upravené ozvučení Škoda Superb 2. generace</b> .....	<b>19</b>
<b>5 Měření reproduktorů v laboratoři a v bezodrazové komoře</b> .....	<b>24</b>
5.1 Měření impedance .....	24
5.2 Měření TS parametrů reproduktorů.....	25
5.3 Měření amplitudových frekvenčních charakteristik, zkraslení a citlivosti.....	28
<b>6 Měření ozvučení v automobilu</b> .....	<b>30</b>
6.1 Měření blízké pole .....	31
6.2 Měření samotné řidič .....	31
6.3 Měření samotné v zadní části – spolujezdec .....	32
6.4 Měření společně – řidič .....	32
6.5 Měření společně v zadní části spolujezdec.....	33
<b>Závěr</b> .....	<b>34</b>
<b>Seznam literatury a informačních zdrojů</b> .....	<b>35</b>
<b>Příloha</b> .....	<b>1</b>
<i>Příloha A – Měření impedance</i> .....	1
<i>Příloha B – Měření amplitudových frekvenčních charakteristik</i> .....	3
<i>Příloha C – Měření zkraslení THD</i> .....	6
<i>Příloha D – Měření blízké pole</i> .....	7
<i>Příloha E – Měření samotné řidič</i> .....	14
<i>Příloha F – Měření samotné v zadní části – spolujezdec</i> .....	20

*Příloha G – Měření společně levá a pravá strana – řidič..... 26*  
*Příloha H – Měření společně pravá a levá strana v zadní části spolujezdec..... 29*



## Seznam symbolů a zkratk

$\varnothing$	(cm)	průměr
$S_d$	(cm <sup>2</sup> )	aktivní plocha membrány
P	(W)	elektrický příkon
IEC		Mezinárodní elektrotechnická komise
Z	( $\Omega$ )	impedance
P.M.P.O	(W)	Peak Maximum Power Output – krátkodobý špičkový příkon
RMS	(W)	long term maximum power – maximální dlouhodobý standardizovaný příkon
SPL	(dB/W/m)	Sound Pressure Level – citlivost
$Q_{ms}$	(-)	mechanický činitel jakosti
$Q_{es}$	(-)	elektrický činitel jakosti
$Q_{ts}$	(-)	Celkový činitel jakosti
$f_r$	(Hz)	Rezonanční frekvence
$Z_r$	( $\Omega$ )	Maximální impedance
$R_v$	( $\Omega$ )	Stejnoseměrný odpor reproduktoru
$V_{as}$	(l)	Ekvivalentní objem
$c_{ms}$	(mm/N)	Akustická poddajnost
Bl	(T.m.)	Součin velikosti magnetické indukce a délky drátu cívky v pracovní mezeře

## Úvod

Automobilový průmysl se stále vyvíjí a čím dál více se do popředí dostávají technologie, které zajišťují větší bezpečí a zlepšují komfort posádky. Jedním ze způsobů zlepšení komfortu posádky je audio systém vozu. Je vidět, že výrobci automobilů jsou si vědomi tohoto trendu a mnohdy ve svých modelech nabízejí hned několik variant ozvučení vozidla v různých cenových kategoriích v rámci příplatků.

Tato bakalářská práce se zabývá vícekanálovým ozvučením automobilu Škoda Superb Combi 2. generace, především po stránce umístění reproduktorů a jejich měřením. Také porovnáním vícekanálového ozvučení automobilu v jeho klasické sériové verzi a ve verzi, kdy je ozvučení automobilu speciálně upraveno. U vozu, který má Západočeská univerzita k dispozici, se měřily reproduktory vyjmuté z automobilu v laboratoři a akustické komoře. Následně byly instalovány do vozu a provádělo se měření přímo v interiéru automobilu.

## 1 Vícekanálové ozvučení automobilu

Vícekanálové ozvučení je nedílnou součástí moderních automobilů a problematikou ozvučení interiéru automobilu se zabývá velká část automobilového průmyslu. Se zlepšujícími se technologiemi a zvyšujícím se standardem výbavy automobilů již nemusíme poslouchat zvuk jen z rozhlasových stanic nebo CD mechaniky rádia, ale máme povětšinou k dispozici multimediální jednotku, která obstarává celé audio vozu. Poslech hudby z různých zdrojů (CD, Bluetooth, zrcadlení telefonu a další), také přijímání a zprostředkování hovorů, používání navigace a v neposlední řadě jako zvuková podpora k bezpečnostním systémům automobilu. Osobní automobily mají kvůli své funkčnosti podobné interiéry, a proto se koncepce řešení vícekanálového ozvučení v rámci automobilek a jednotlivých modelů příliš neliší.

Ozvučení automobilu rozdělujeme podle počtu kanálů, do kterých se šíří stereofonní signál. Nejlevnější varianty mohou být dvoukanálové, kdy zvuk vychází ze dvou širokopásmových reproduktorů. Dnes se již více používá vícekanálová varianta, kde se nacházejí reproduktory v předních a zároveň zadních dveřích. Mohou mít také rozdělené bassy a výšky frekvenční výhybkou. Na Obr. 1.1 je vidět průřez kabiny pro cestující osobního automobilu a je znázorněno umístění reproduktorů na pravé straně automobilu. Reproduktory jsou v interiéru umístěny symetricky, a tedy i na levé straně automobilu. Příplatkové vícekanálové zvukové systémy mohou mít samostatné středové kanály, různé efektové kanály a také centrální kanál. Pro zvýraznění basů používají samostatný subwoofer. [1]



Obr. 1.1: Znárodnění možného umístění reproduktorů vícekanálového zvukového systému

## 1.1 Vlivy ovlivňující ozvučení interiéru

Interiér automobilu je specifický pro ozvučování svými rozměry, různorodostí materiálů a členitostí prostoru. Reprodukory jsou umístěny blízko posluchači a zároveň jsou tyto reproduktory, které reprodukuje zvuk v různých frekvenčních pásmech jinak vzdáleny od posluchače. [1] Tento problém také vzniká, protože máme omezené možnosti, kam reproduktory umístit a cestující až na výjimky nesedí symetricky uprostřed interiéru.

Zvuková vlna se v interiéru může odrážet od objektů ve vozidle (skel, přístrojové desky nebo od plastových komponentů). Vznikat také může stojaté vlnění, které je způsobeno interferencí přímých a odražených zvukových vln. Tyto odrazy mohou způsobit dojem poslechu zvuku z více zdrojů s časovým zpožděním. [2] [3]

V interiéru mohou vlivem reprodukce zvuku, zvláště v nízkých frekvencích, vnikat vibrace a rezonance částí interiéru, kdy se tyto části chovají jako vlastní zdroje zvuku. Tento jev může vzniknout nevhodně navrženým ozvučením interiéru anebo špatně zvolenými materiály a jejich nevhodným spojením.

## 2 Parametry reproduktoru

Reproduktor, též nazýván elektroakustický měnič, transformuje elektrický signál na akustické vlnění, které vnímáme jako zvuk. Tento převod není příliš účinný, protože se většina elektrické energie změní na teplo. [4] Důležité jsou jeho parametry, které dělíme na čistě mechanické, všeobecné, mechanicko-elektrické a také grafické. [2]

### 2.1 Mechanické parametry

Automobilový interiér je poměrně náročný na umístění reproduktorů, proto klade důraz na rozměry. Reprodukory mají zpravidla tvar kružnice a udává se jejich průměr, který se značí  $\varnothing$ . Některé reproduktory mají také montážní otvory, kde nás zajímá průměr kružnice pro rozteč šroubů a také průměr otvorů pro šrouby. Rozměry magnetu a celková zastavěná hloubka reproduktoru jsou také důležité. Hmotnost nám může napovědět o velikosti magnetu a koše, který má na tento parametr velký vliv. Pro určité výpočty je důležité znát aktivní plochu membrány, která se počítá z jejího poloměru bez závěsu. [2]

$$S_d = \pi r_d^2 \quad (1)$$

### 2.2 Všeobecné parametry

#### 2.2.1 Elektrický příkon

Udává, jak velkým příkonem můžeme zatěžovat reproduktor, aby nedošlo k poškození. Udává se ve Watech.  $U$  značí napětí na reproduktoru a  $Z$  je jeho jmenovitá impedance.

$$P = \frac{U^2}{Z} \quad (2)$$

Když se u reproduktoru řekne elektrický příkon, není zcela jednoznačné, který má zrovna daný výrobce na mysli. Správně by měl výrobce udávat maximální dlouhodobý standardizovaný příkon (long term maximum power), označovaný také jako RMS. Standardizovaný znamená, že signál, kterým se reproduktor testoval, podléhal určitému standardu měření. Je tedy definován IEC. Testovací signál byl navržen po dlouhodobém zkoumání spektrálního složení různých hudebních nahrávek a lidské řeči. [2]

Další možnost značení je P.M.P.O. (Peak Maximum Power Output). Česky tato hodnota značí krátkodobý špičkový příkon. Je počítán z maximální hodnoty, takzvané špička-špička hodnoty. Toto označení je zavádějící, protože se tímto příkonem reproduktor nemůže zatěžovat trvale, nýbrž jen špičkově. [5]

## 2.2.2 Citlivost

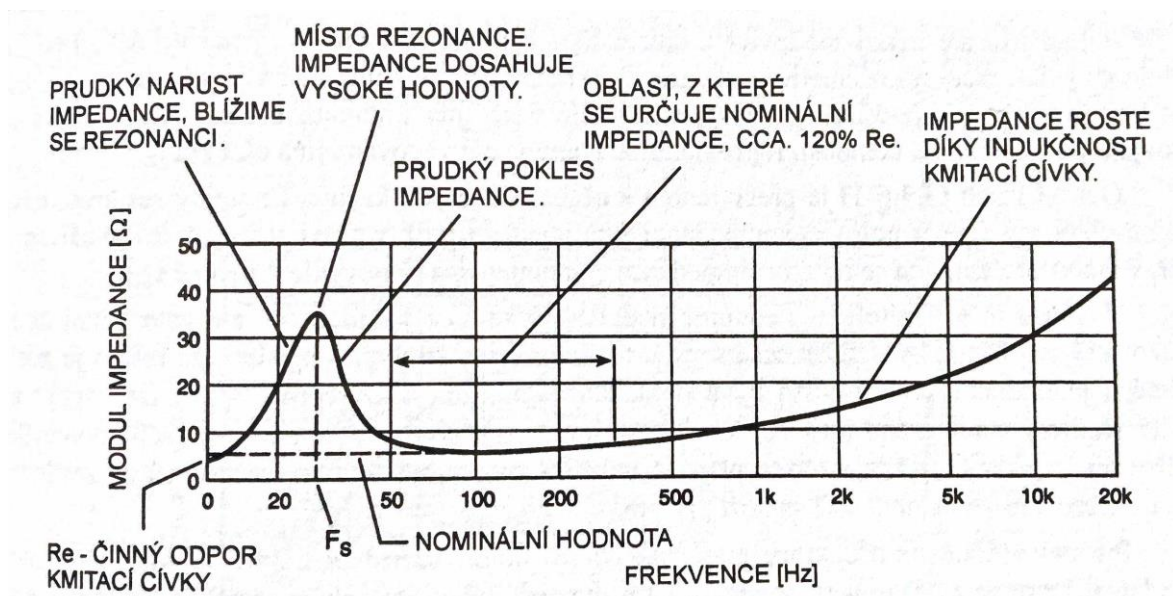
Udává, jaký akustický tlak vytvoří reproduktor z 1 metru při zdánlivém příkonu 1 W. Anglicky SPL (Sound Pressure Level). Tento parametr také udává, jak nahlas bude daný reproduktor hrát. Udává se v dB/W/m. [4]

## 2.2.3 Maximální akustický tlak

Tento parametr udává, intenzitu zvuku, kterou reproduktor vyprodukuje při maximálním elektrickém příkonu. Lze jej vypočítat z citlivosti a elektrického příkonu. Udává se v dB. Pokud má reproduktor vyšší citlivost, je potřeba pro jeho vybuzení menší příkon, aby dosáhl stejného akustického tlaku. [5]

## 2.2.4 Impedance

Je třeba si uvědomit, že impedance reproduktoru není jen odpor, ale je to impedance frekvenčně závislá, komplexní a má činnou a reaktanční složku. Protože jde fyzicky o kmitající cívku má tato impedance reproduktoru induktivní charakter. Na obr 2.1



Obr. 2.1: Impedanční křivka basového reproduktoru (převzato z [2]).

je vidět místo rezonance, kde impedance dosahuje vysoké hodnoty. Je to místo kde reproduktor kmitá s nejvyšší výchylkou. Typické hodnoty nominální impedance, které mají často reproduktory vytištěné na sobě, jsou  $2 \Omega$ ,  $4 \Omega$ ,  $8 \Omega$ ,  $16 \Omega$ . Nominální impedance by měla být totožná s výstupní impedancí zesilovače. [2] [5]

### 2.2.5 Frekvenční rozsah

Závislost intenzity akustického tlaku na frekvenci a to při konstantním napětí na reproduktoru. Ideální reproduktor by měl charakteristiku rovné přímky. To znamená, že by zvuky na všech frekvencích reprodukoval stejně dobře. Reálný reproduktor má ale své limity a tak hraje v určitém pásmu. [5]

## 2.3 Mechanicko-elektrické parametry

Těmto parametrů se jinak říká TS parametry (Thiele-Small parametry) a popisují reproduktory jako mechanicko – elektrickou soustavu. [2]

První z parametrů popisuje ztráty vznikající díky konečným odporům, ať už mechanickým nebo elektrickým. Jedná se o činitel jakosti, který je bezrozměrný. Čím vyšší činitel je, tím nižší jsou tyto odpory. Dá se říct, čím vyšší činitel jakosti je, tím lepší reproduktor je. Máme tři činitele jakosti. První se jmenuje mechanický činitel jakosti  $Q_{ms}$ . Vliv na tento činitel mají středění a závěs, kdy je dosaženo lepšího činitele, když je závěs lépe zkonstruovaný a méně brzdí membránu v pohybu. Vliv má také materiál nosiče cívky, kdy ve vodivém nosiči vznikají vířivé proudy, které působí proti pohybu cívky. Když není prostor pod vrchlíkem odvětrán, tak je vzduch stlačován a rozpínán, toto též snižuje mechanický činitel jakosti. Druhý činitel jakosti se jmenuje elektrický a označuje se  $Q_{es}$ . Při pohybu cívky magnetickým polem, generuje tato cívka vlastní proud, který působí proti jejímu pohybu a tím jí tlumí. Poslední třetí parametr v sobě zahrnuje oba předchozí činitele a je to celkový činitel jakosti  $Q_{ts}$ . Počítá se stejně jako paralelní spojení odporů, místo odporů zde zahrnujeme  $Q_{ms}$  a  $Q_{es}$ . [6] [2]

Další parametr je ekvivalentní objem, značí se  $V_{as}$  a uvádí se v litrech. Vyjadřuje objem vzduchu v uzavřené ozvučnici, který by měl ekvivalentní poddajnost jako zavěšení reproduktoru při působení plochy  $S_d$ . Reproduktory s nízkou hodnotou ekvivalentního objemu mají tužší závěs a snesou obvykle hrubší zacházení. [2] [6]

Další parametr se jmenuje akustická poddajnost kmitajícího systému a označuje se  $c_{ms}$ . Uvádí se v mm/N. Čím je hodnota vyšší tím je poddajnost závěsu větší. Tento parametr se v provozu zvyšuje, díky namáhání materiálu závěsu. [6]

Další parametry jsou hmotnost celého systému včetně spolu kmitajícího sloupce vzduchu  $m_{ms}$  a hmotnost celého systému bez sloupce vzduchu  $m_{md}$ . Uvádí se v gramech. [6]

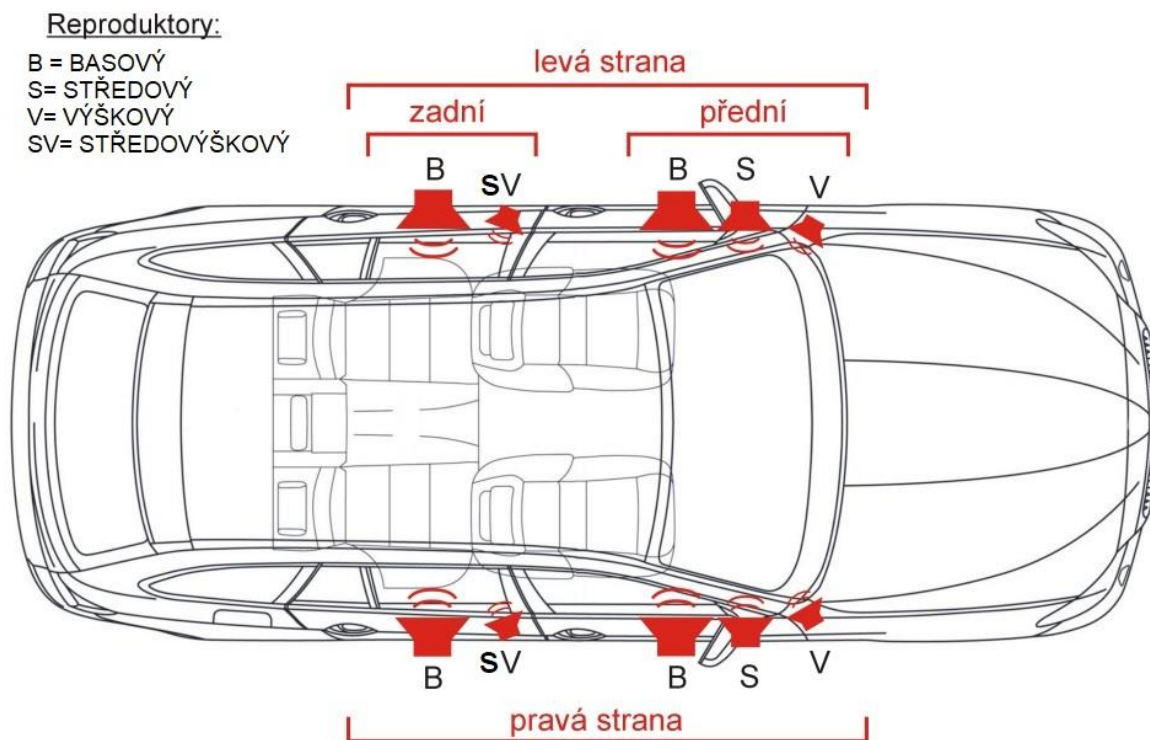
Poslední parametr je součin velikosti magnetické indukce a délky drátu cívky v pracovní mezeře Bl. Jednotka se označuje T.m. [6]



### 3 Sériové ozvučení automobilu Škoda Superb Combi

#### 2. generace

U sériového automobilu budeme brát příplatkovou verzi audia Sound System, ta má dohromady 10 reproduktorů. V předních dveřích je instalován třípásmový systém ozvučení a v zadních dveřích dvoupásmový. V předních levých i pravých dveřích se nachází basové, středové a výškové reproduktory. V zadních dveřích jsou totožné basové reproduktory, navíc jsou na levých i pravých zadních dveřích po jednom středovýškovém reproduktoru. Žádné další reproduktory v sériovém Superbu nejsou. Basové reproduktory, které jsou v zadní i přední části, vyúsťují nešťastně přímo do sedaček. V předních dveřích je výškový reproduktor, který není příliš výrazný, navíc je částečně zapuštěný a zakomponovaný do kliky otevírání dveří. Kryty reproduktorů jsou plastové. Výplně dveří nejsou akusticky vylumeny. Na Obr. 3.1 je zobrazen náčrtek Superbu s rozmístěnými reproduktory.



Obr. 3.1: Náčrtek rozmístění reproduktorů v sériovém Superbu (převzato a upraveno z [1]).

Na Obr. 3.2 jsou vyfoceny výplně dveří a reproduktory jsou očíslované. Výškový přední reproduktor je označen číslem 1. Basový přední reproduktor je označen číslem 3 a zadní číslem 5. Středopásmový přední reproduktor je označen číslem 2. A středovýškový zadní reproduktor je označen číslem 4.



Obr. 3.2: Škoda Superb 2. generace s ozvučením Sound System (převzato a upraveno z [7]).

Tab. 3.I: Tabulka jednotlivých reproduktorů a jejich katalogové číslo

Reproduktor a jeho umístění v automobilu	Sériový Superb Combi 2. generace příplatkové ozvučení Sound System
Levý přední woofer (basový)	1Z0 035 411 D
Pravý přední woofer (basový)	1Z0 035 411 D
Levý přední mid-range (středopásmový)	3T0 035 411 E
Pravý přední mid-range (středopásmový)	3T0 035 411 E
Levý přední tweeter (výškový)	3T0 035 411 H
Pravý přední tweeter (výškový)	3T0 035 411 H
Levý zadní woofer (basový)	1Z0 035 411 D
Pravý zadní woofer (basový)	1Z0 035 411 D
Levý zadní mid-tweeter (středovýškový)	3T0 035 411 F
Pravý zadní mid-tweeter (středovýškový)	3T0 035 411 F

## 4 Speciálně upravené ozvučení Škoda Superb 2. generace

Superb vlastněný Univerzitou má výrazně upravené ozvučení od sériového provedení. Byla vytvořena nová konstrukce spodní části, kde se přesunuly zmíněné basové reproduktory směrem dopředu, aby nevyzařovaly zvuk do sedaček. Kvůli této změně došlo ke ztrátě úložného prostoru ve dveřích. Všechny reproduktory byly vyměněny za kvalitnější kusy a kryty reproduktorů předělány z plastových na síťové nebo u středopásmového reproduktoru na kovovou mřížku. Předělány byly přední výškové reproduktory a jejich pozice přesunuta na A sloupek.



Obr. 4.1: Výplň předních dveří upraveného ozvučení Škody Superb

Na Obr 4.1 a Obr 4.2 lze vidět upravené výplně dveří. Také se částečně vytlumily, jak je vidět na Obr.4.3 a jak bylo řečeno výše, přesunulo se umístění basového reproduktoru z pozice 1 na pozici 2.





Obr. 4.2: Výplň zadních dveří upraveného ozvučení Škody Superb



Obr. 4.3: Částečné vytlumení předních dveří

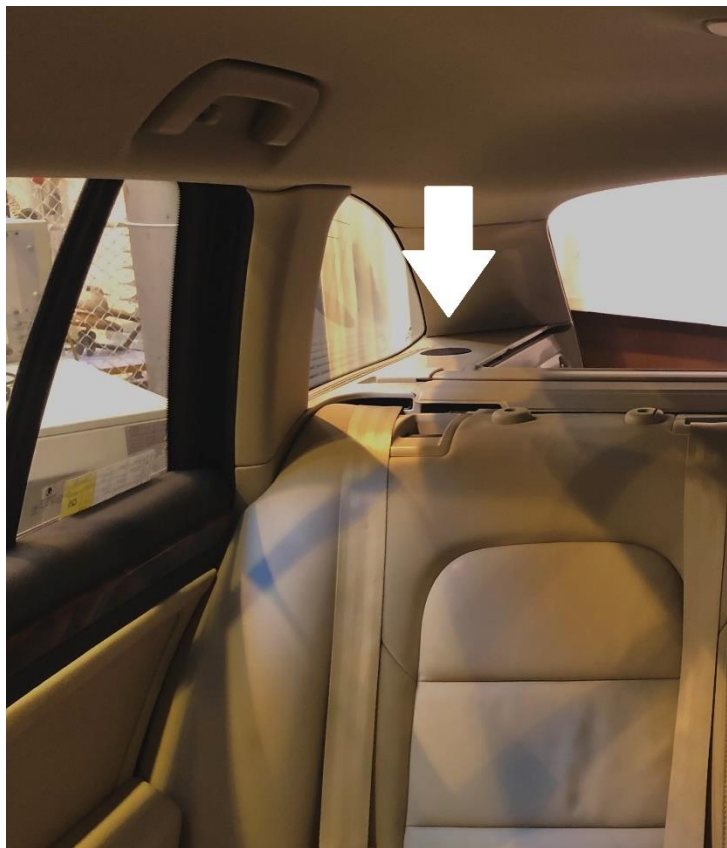
U upraveného automobilu byl dále přidán center reproduktor do středu palubní desky, aby posílil přehrávané střední pásmo frekvencí, protože je právě toto pásmo nejvíce namáháno v celé reprosoustavě. [2]



*Obr. 4.4: Umístěný center reproduktor na palubní desce*

Také byl přidán k levému i pravému zadnímu bočnímu oknu v zavazadlovém prostoru jeden středopásmový reproduktor, pro lepší prostorový zvuk v celém interiéru. Zobrazené na Obr 4.5. Byl nainstalován subwoofer pro zvýraznění nízkých frekvencí. Protože nízké frekvence nepotřebují pro své vyzařování specifické umístění, mohl být subwoofer umístěn, i kvůli své velikosti, právě do zavazadlového prostoru. Tak nezabírá místo v zóně pro cestující. Toto umístění je patrné na Obr 4.6



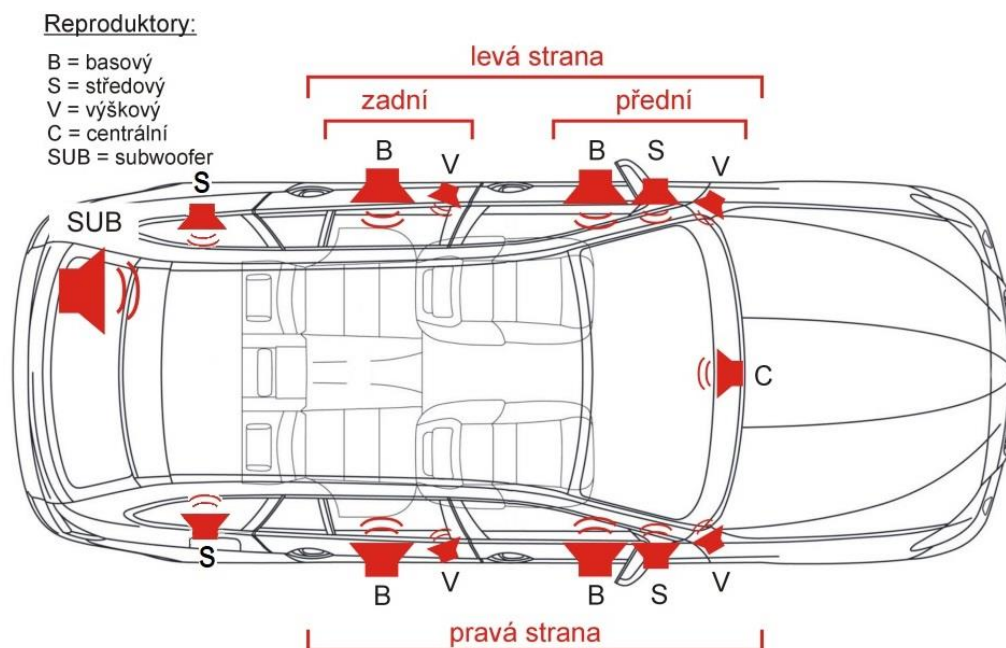


Obr. 4.5: středopásmový reproduktor umístěný v zavazadelníku, foceno ze zadních sedaček



Obr. 4.6: Subwoofer v zavazadelníku s náčrtem ozvučnice (převzato a upraveno z [3]).

Orientační umístění všech reproduktorů, je znázorněno na Obr 4.7. Veškerá kabeláž reproduktorů včetně napájení je přivedena do zavazadelníku místo dojezdové rezervy.



Obr. 4.7: Orientační znázornění umístění jednotlivých reproduktorů (převzato a upraveno z [1]).

Každý reproduktor má svou barvu kabelů (pro kladný a záporný pól), aby se v zavazadelníku dalo poznat, jaký kabel vede k určenému reproduktoru. Také má každý reproduktor své označení, které je zobrazeno v Tab. 4.I.

Tab. 4.I: Typové označení a označení kabeláže reproduktorů

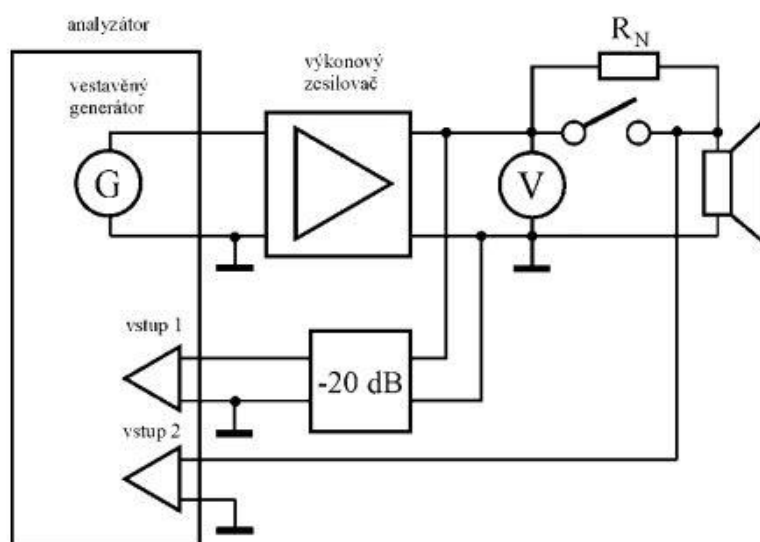
Reproduktor a jeho umístění v automobilu	Označení	Barevné označení kabeláže	
		kladný pól +	záporný pól -
Levý přední woofer	M17WH-09-08	fialová	šedá
Pravý přední woofer	M17WH-09-08	červená	šedá
Levý přední mid-range 80mm	Tesla 1004833-01-A	fialová	černá
Pravý přední mid-range 80mm	Tesla 1004833-01-A	červená	černá
Levý přední tweeter 30mm	Tesla 1004833-00-A	fialová	modrá
Pravý přední tweeter 30mm	Tesla 1004833-00-A	červená	žlutá
Levý zadní woofer	S1NN GmbH 5647	fialová	hnědá
Pravý zadní woofer	S1NN GmbH 5301	červená	hnědá
Levý zadní tweeter 30mm	Tesla 1004833-00-A	fialová	žlutá
Pravý zadní tweeter 30mm	Tesla 1004833-00-A	červená	žlutá
Levá strana zavazadelník mid-range 80mm	Tesla 1004833-01-A	červená	modrá
Pravá strana zavazadelník mid-range 80mm	Tesla 1004833-01-A	červená	zelená
Levá strana zavazadelník subwoofer	PL22WR09-08	žlutá	hnědá
Palubní deska center	-	světle modrá	šedá

## 5 Měření reproduktorů v laboratoři a v bezdrazové komoře

Měření reproduktorů probíhalo v laboratořích a pro toto měření byly demontovány z automobilu. Jelikož jsme měřili více reproduktorů a parametrů, výsledné jednotky až desítky grafů k jednotlivým měřením, by působily nepřehledně, a proto je v této kapitole uvedeno jen několik málo grafů jako ukázka. Veškeré grafy najdeme v přílohách. Ve voze se na některých pozicích vyskytují stejné typy reproduktorů (viz Tab. 4.I), a proto jsme u jednoho typu měřili jen jeden z více se vyskytujících reproduktorů. Měřený ovšem byl u každého typu alespoň jeden reproduktor.

### 5.1 Měření impedance

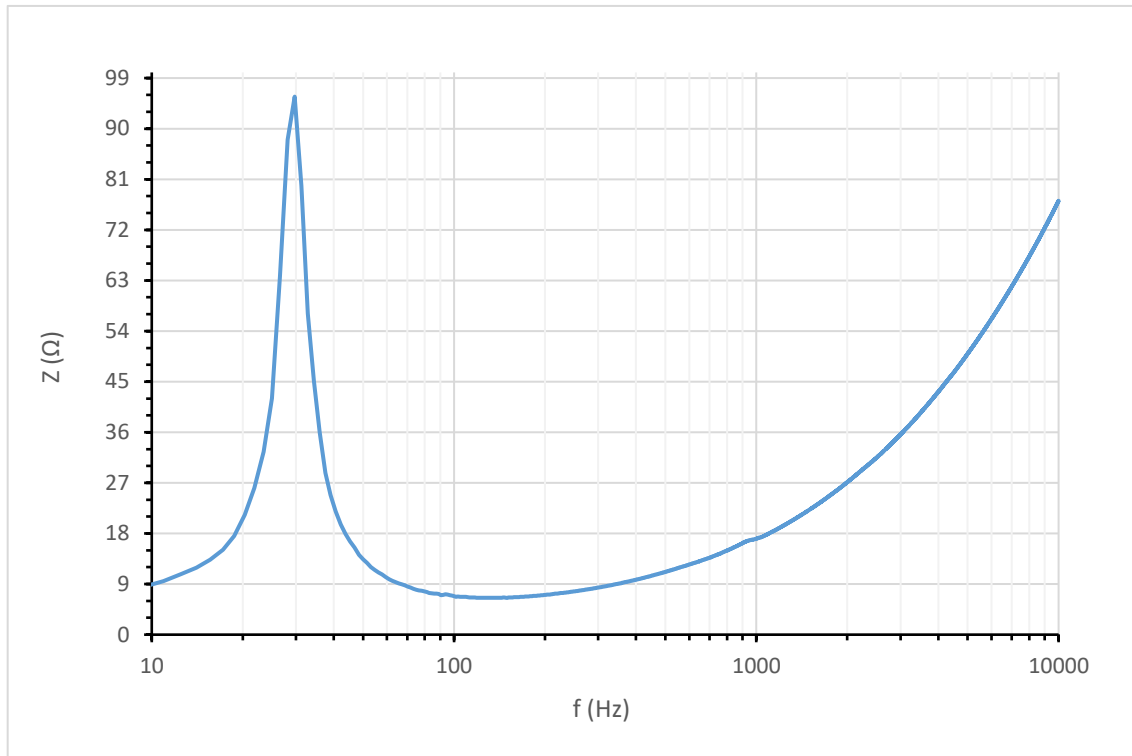
Před měřením jsme reproduktoru změřili stejnosměrný odpor čtyř-vodičovou metodou multimetrem. Taktéž jsme změřili referenční odpor. Poté jsme zapojili obvod podle schématu na Obr 5.1, kdy analyzátor je také spojen s počítačem. Zapojili jsme referenční odpor místo reproduktoru a změřili. Poté jsme provedli korekci v programu, aby se hodnoty naměřené čtyř-vodičovou metodou a hodnoty naměřené analyzátozem shodovaly. Zapojili jsme reproduktor a změřili impedanční charakteristiku. [8] Grafické zobrazení naměřených hodnot můžeme vidět na Obr. 5.2.



Obr. 5.1: Schéma zapojení pro měření impedanční charakteristiky a TS parametrů  
převzato z [8]



K měření impedance jsme použili analyzátor B&K (Type 3160-A-042), který přiváděl vstupní signál do zesilovače Yamaha (CP2000). Multimetr jsme použili Agilent (34401A).



Obr. 5.2: Impedanční charakteristika subwooferu PL22WR09-08

## 5.2 Měření TS parametrů reproduktorů

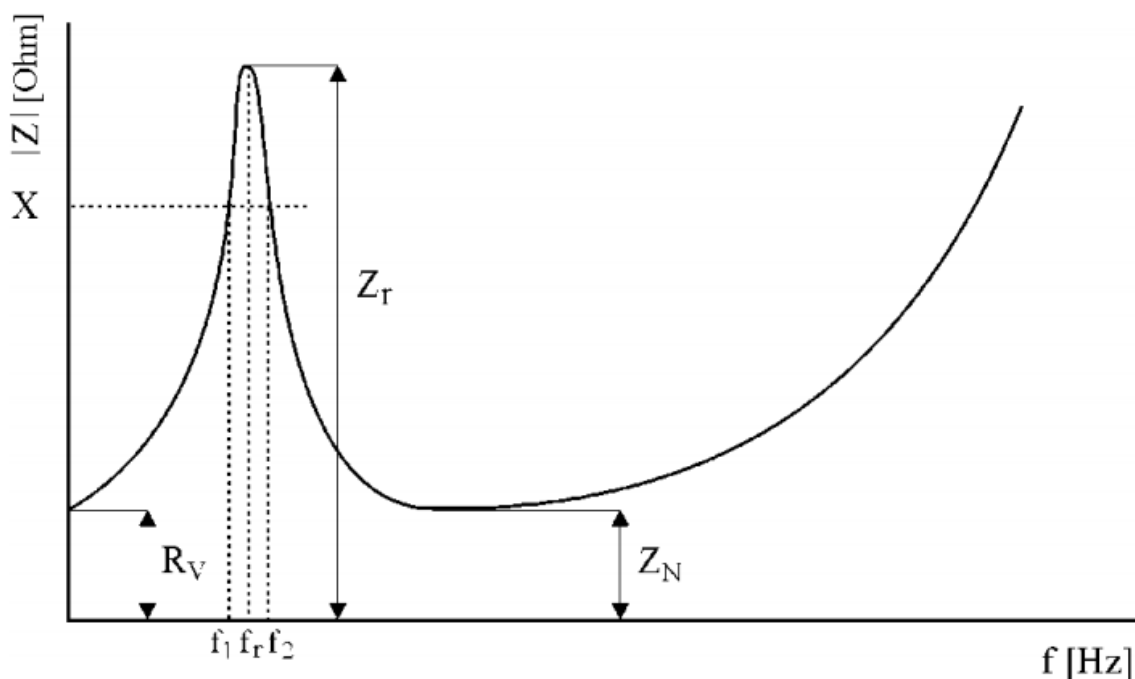
Měření TS parametrů bylo prováděno pouze na basových reproduktorech.

Měří se při stejném zapojení jako impedanční charakteristiky, tedy jako na Obr. 5.1.

Měření není nutné provádět v akustické komoře, je ovšem nutné reproduktor položit membránou vzhůru a reproduktor podložit pružnou vatou, aby se zabránilo vibracím.

Změříme čtyř-vodičovou metodou stejnosměrný odpor reproduktoru  $R_v$ . Před měřením jsme reproduktory zahřály růžovým šumem. Nyní provedeme měření a výsledek je impedanční křivka, ze které určíme potřebné hodnoty. Rezonanční frekvenci  $f_r$  a na této frekvenci se nachází maximální impedance  $Z_r$ . Dále zjistíme hodnotu  $X$  [8] [2]:

$$X = \sqrt{\frac{Z_r}{R_v}} \quad (3)$$



Obr. 5.3: Impedanční charakteristika a určování pomocných hodnot pro TS parametry [8]

Ze spočtené hodnoty  $X$  najdeme  $f_1$  a  $f_2$ , po vzoru Obr 5.3. Z těchto hodnot vypočteme pomocnou hodnotu  $F$  [8] [2]:

$$F = \sqrt{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 - f_2}} \quad (4)$$

Z těchto získaných hodnot získáme  $Q_{ms}$ ,  $Q_m$  a  $Q_{ms}$  následujícími vzorci [8]:

$$Q_{ts} = \frac{F}{X} \quad (5)$$

$$Q_m = F \cdot X \quad (6)$$

$$Q_{es} = F \cdot \frac{X}{X^2 - 1} \quad (7)$$

Pro ostatní TS parametry je potřeba je potřeba porovnat znovu impedanční charakteristiku, ale s externí hmotností  $m$  o známé velikosti pevně přichycené na membráně reproduktoru.

[8]

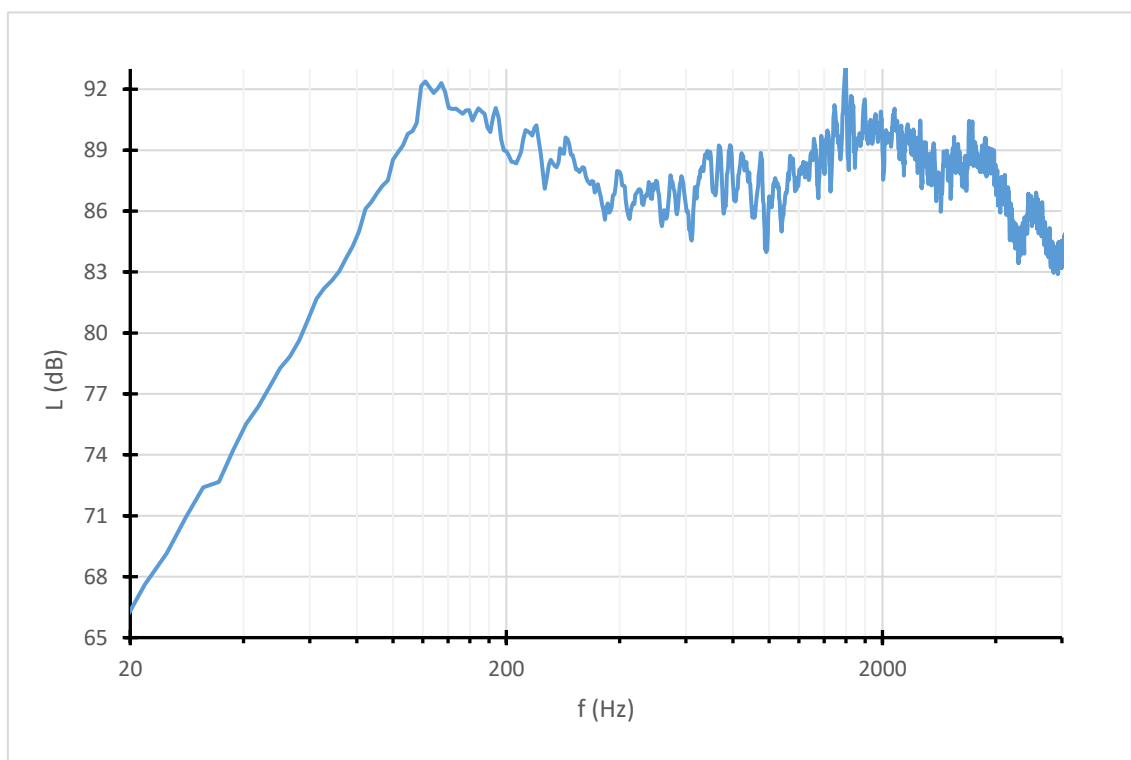
Tyto výpočty zpracovával vytvořený program v počítači. Celý postup i s výpočty lze najít například v knize [2].

Tab. 5.I: TS parametry jednotlivých reproduktorů

Reproduktor	PL22WR09-08	s1nn 5647	M17WH-09-08	
Rv	5,95	2,44	5,63	Ω
fr samotný	29	69,5	53	Hz
Zm- samotný	100,06	12,13	36,95	Ω
f1	21	48	33,5	Hz
f2	38,5	95	78,5	Hz
přidaná m	6,27	6,27	6,27	g
fr s hmotností	27,5	56	44	Hz
Zm- s hmotností	95,72	11,31	35,59	Ω
f1 s hmotností	20,5	42	30,5	Hz
f2 s hmotností	36	73	61,5	Hz
S	213,8	122,7	132,7	cm <sup>2</sup>
<b>Bl</b>	<b>11,88</b>	<b>3,86</b>	<b>6,93</b>	<b>T.m</b>
<b>mms</b>	<b>55,9</b>	<b>11,6</b>	<b>13,9</b>	<b>g</b>
m bez vzduchu	54,1	10,8	13,0	g
<b>c</b>	<b>0,5383</b>	<b>0,4519</b>	<b>0,6485</b>	<b>mm/N</b>
<b>Vas</b>	<b>34,5</b>	<b>9,5</b>	<b>16,0</b>	<b>l</b>
<b>Qe</b>	<b>0,43</b>	<b>0,83</b>	<b>0,54</b>	<b>-</b>
<b>Qm</b>	<b>6,80</b>	<b>3,30</b>	<b>3,02</b>	<b>-</b>
<b>Qts</b>	<b>0,40</b>	<b>0,66</b>	<b>0,46</b>	<b>-</b>

### 5.3 Měření amplitudových frekvenčních charakteristik, zkreslení a citlivosti

Měření probíhalo v bezdrazové komoře. U měření amplitudové frekvenční charakteristiky se měří amplituda akustického tlaku jako funkce frekvence. Reproductor pracoval v normálních podmínkách a běžně přivádíme signál ve frekvenčním rozsahu 20-20000 Hz [8]. V počítači probíhala FFT analýza, která měla 6400 čar, šířku pásma 20kHz a 5000 exponenciální průměrování.



Obr. 5.4: Amplitudová frekvenční charakteristika basového reproduktoru M17WH-09-08

Citlivost se měří také v bezdrazové komoře, kdy je akustický tlak měřen ve vzdálenosti 1 metr od referenčního bodu v referenční ose.

Tab. 5.II: Citlivost jednotlivých reproduktorů

citlivost při 1W a při frekvenci:	Výškový Tesla 1004833- 00-A	Středopásmový Tesla 1004833- 01-A	Basový S1nn 5301	Basový M17WH- 09-08	Subwoofer PL22WR09- 08	
4,5-20kHz	85,4					dB
100Hz-12,5kHz		83,4				dB
70Hz-4k Hz			84,7	88		dB
50-250Hz					85,6	dB



Obr. 5.5: Měření v bezodrazové komoře

Poslední parametr, který se v bezodrazové komoře měřil bylo zkreslení THD.

Tab. 5.III: Zkreslení subwooferu

THD zkreslení [%] subwoofer PL22WR09-08				
Frekvence [Hz]	1W	5W	10W	20W
50	3,71	9,49	15,9	31,15
75	1,88	4,07	5,82	12,64
100	0,46	0,96	1,46	2,48
150	0,18	0,32	0,38	0,5
200	0,25	0,38	0,44	0,5
250	0,29	0,56	0,62	0,7
300	0,42	0,51	0,56	0,64
325	0,35	0,42	0,44	0,49
400	0,33	0,54	0,62	0,7

## 6 Měření ozvučení v automobilu

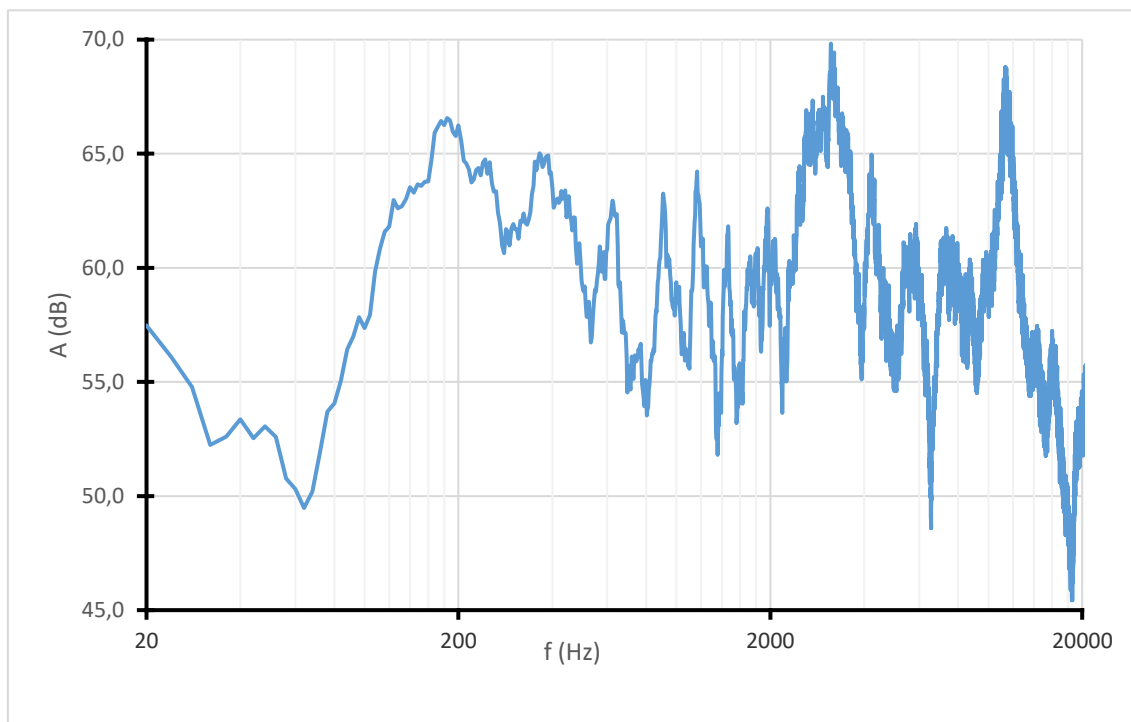
Měřilo se v již zkompletovaném interiéru se všemi reproduktory umístěnými na svých místech. Na měření se používal analyzátor, zesilovač a měřící mikrofon. První jsme měřili blízké pole reproduktoru, to znamená, že se mikrofon umístil 10 cm od reproduktoru a s mikrofonem se jemně kroužilo v ose vyzařování. Do reproduktoru se pouštěl signál.

U měření amplitudových frekvenčních charakteristik se měřilo v polohách, kde by měl posluchač hlavu (mezi ušima). To znamená na místě řidiče a na místě spolujezdce vlevo vzadu. Měřil se každý reproduktor samotný pro každou polohu a poté v páru se stejným reproduktorem, pokud to bylo možné. Myšleno například, levý a pravý přední výškový reproduktor. Pro tyto účely byla změřena vzdálenost těchto poloh posluchače od každého reproduktoru, a navíc také poloha ve středu mezi řidičem a spolujezdcem, a také střed mezi zadními sedačkami.

Tab. 6.I: Tabulka vzdáleností reproduktorů od hlav potenciálních posluchačů a středů přední a zadní části automobilu

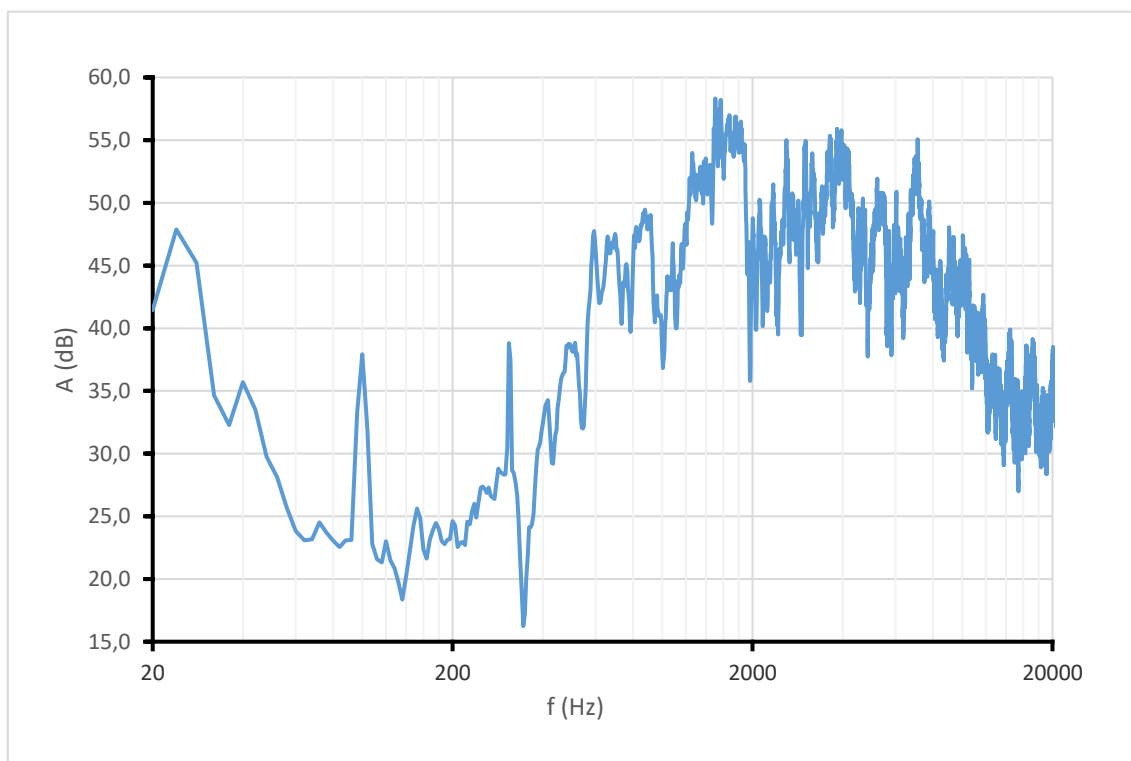
Měření vzdálenosti				
vzdálenost [cm]	Řidič	Přední část střed	Zadní část pravá	Zadní část střed
Center	104	95,5	204	202
LP woofer (basový)	107	122	217	204
LP mid-range(středový)	79,5	99	197	182
LP tweeter (výškový)	88	105	210	203
PP woofer (basový)	143	120	200	204
PP mid-range (středový)	127	100	173	182
PP tweeter (výškový)	131	105	189	204
LZ woofer(basový)	78	99	136	116
LZ tweeter (výškový)	58	85	129	106
PZ woofer (basový)	123	99	101	116
PZ tweeter (výškový)	113	85	97	106
L zavazadelník středový	168	178	113	98
P zavazadelník středový	190	178	69	98
L zavazadelník subwoofer	198	200	128	108

## 6.1 Měření blízké pole



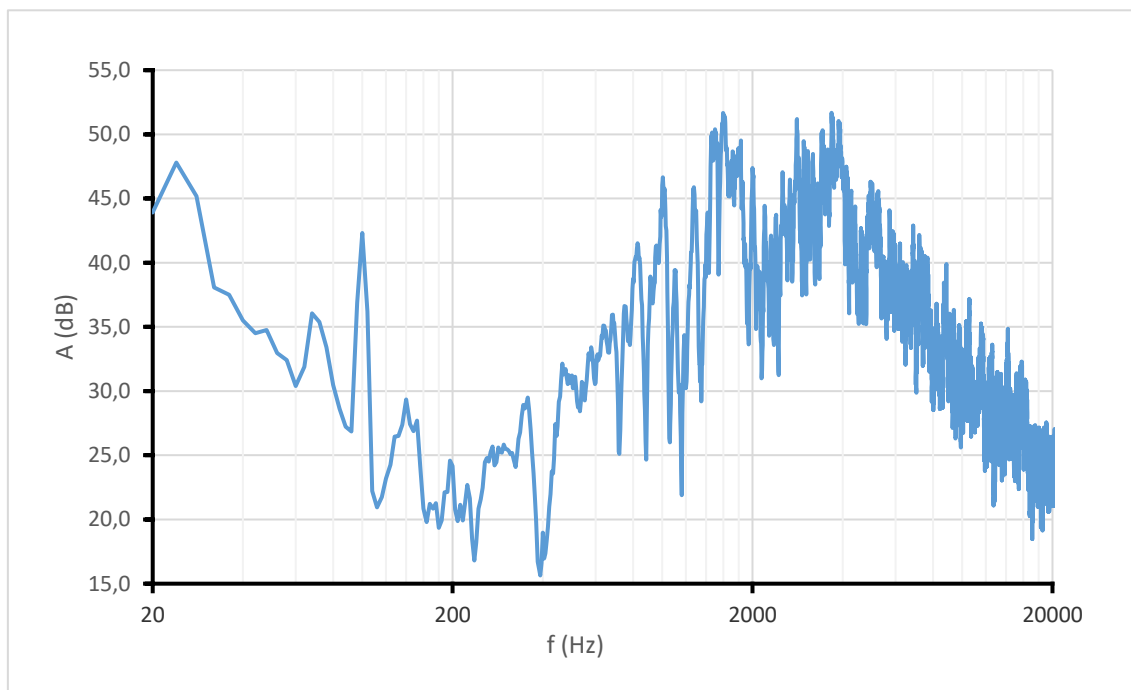
Graf 6.1: Měření amplitudové frekvenční charakteristiky blízké pole center na palubní desce

## 6.2 Měření samotné řidič



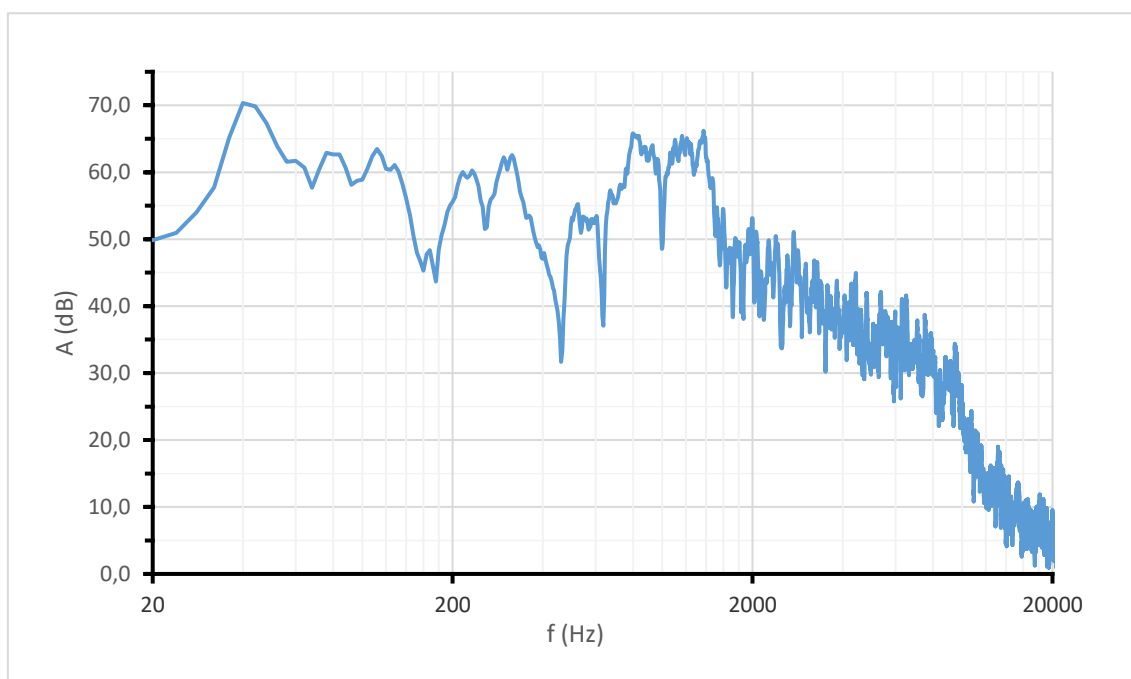
Obr. 6.2: Měření amplitudové frekvenční charakteristiky samotný řidič, přední tweeter

### 6.3 Měření samotné v zadní části – spolujezdec



Obr. 6.3: Měření amplitudové  $f$ . char. samotné v zadní části přední tweeter

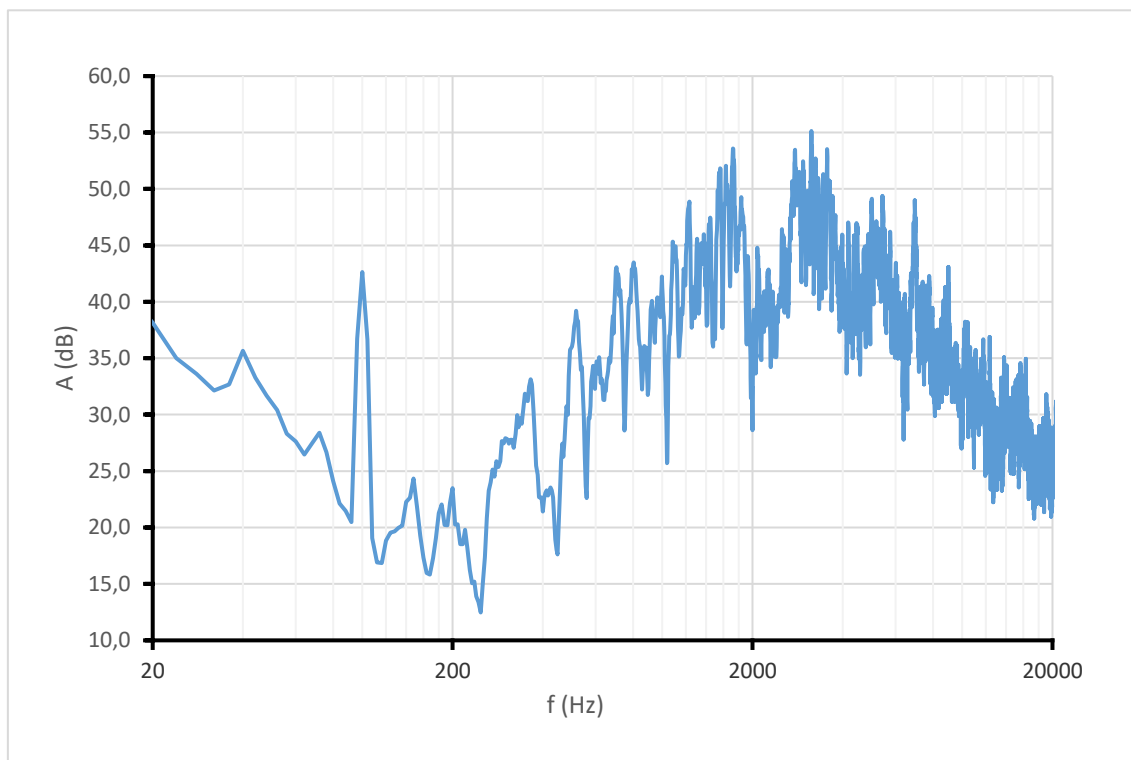
### 6.4 Měření společně – řidič



Obr. 6.4: Měření amplitudové  $f$ . char. Společně řidič, přední woofer



## 6.5 Měření společně v zadní části spolujezdec



Obr. 6.5: Měření amplitudové  $f$ . char. Společně v zadní části spolujezdec, přední tweeter

## Závěr

V rámci této bakalářské práce byla rozebrána problematika ozvučení automobilu Škoda Superb Combi 2. generace, který má Západočeská univerzita k dispozici. Na začátku práce bylo teoreticky rozebráno téma ozvučení automobilu a základní parametry reproduktorů. Následovala rešerše ozvučení sériově vyráběného Superbu 2. generace z pohledu umístění reproduktorů, výplní interiérového prostoru a kvalitou celého ozvučovacího vícekanálového příplatkového Sound Systemu. Ukázalo se, že tento systém má akustické nedostatky, ale automobil má vhodný interiér na upravení a zlepšení celkového ozvučení.

Superb 2. generace, který má Západočeská univerzita k dispozici, nabízel prostor na upravení ozvučení. V automobilu byly nainstalované neznámé reproduktory, které měly vyvedené neoznačené kabely do zavazadlového prostoru. Také výplně dveří v interiéru byly na některých místech rozlepené, a tak mohly způsobovat nechtěné vibrace, které negativně ovlivňují celé ozvučení automobilu. Celý interiér vozu se rozebral, provedl se průzkum výplní dveří, reproduktorů a kabeláže. Kontrolovala se nepoškozenost kabeláže a ozvučnic reproduktorů. Všechny reproduktory, až na center v palubní desce, se zdokumentovaly a provedlo se označení kabeláže, které je vyvedeno v zavazadelníku. Podle Tab. 4.I (na straně 23) lze nyní zjistit barevné označení kabelů vedoucí k jednotlivým reproduktorům. A také jejich typové označení. Provedla se taktéž oprava poškozených výplní dveří interiéru.

Následně se demontovaly reproduktory z automobilu a provedlo se měření v laboratoři a v bezodrazové komoře. Konkrétně se měřily TS parametry, impedanční a amplitudové frekvenční charakteristiky a citlivost reproduktorů. Poté se reproduktory instalovaly zpět do vozu a celý interiér se pečlivě složil, aby nikde nedocházelo k nechtěným vibracím.

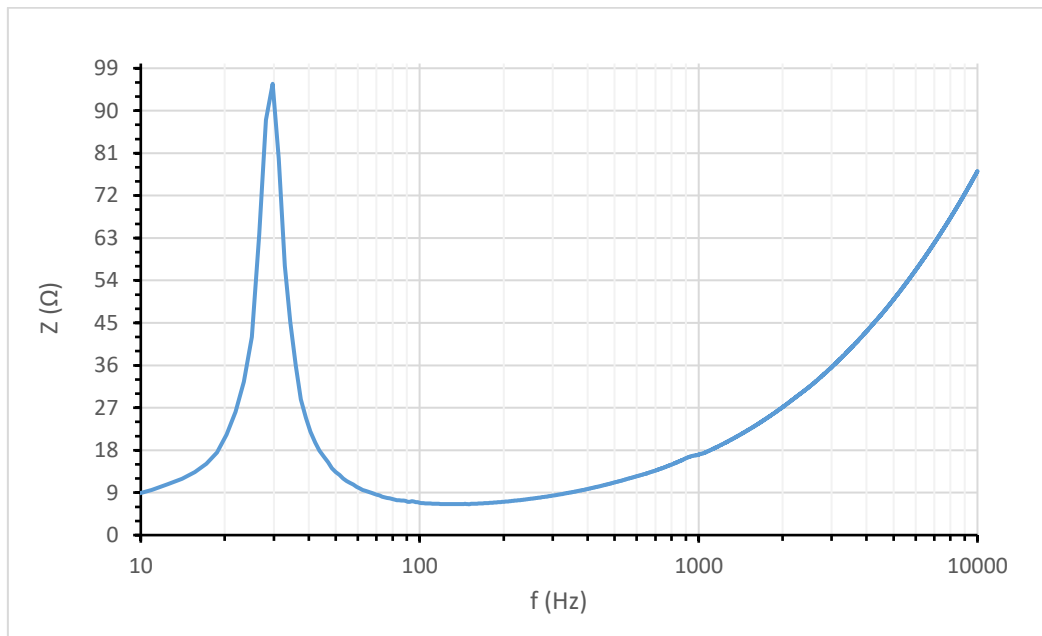
Závěrem práce se měřili amplitudové frekvenční charakteristiky přímo ve vozidle, kde je vidět vliv automobilového interiéru na měření. Tato metoda měření částečně simuluje reálné podmínky v automobilu. Veškeré grafy a tabulky z měření jsou zobrazeny v přílohách.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

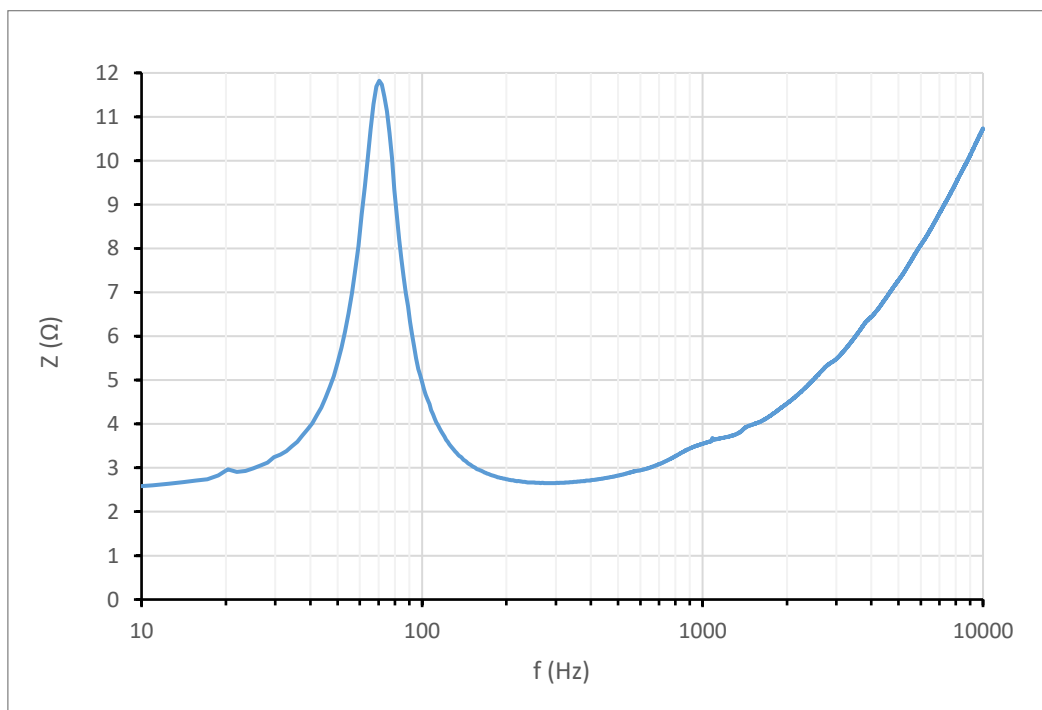
- [1] ZUZJAK, Ladislav. Pokročilá metoda pro měření parametrů vícekanálových ozvučovacích systémů. Plzeň, 2018. Disertace. Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická..
- [2] TOMAN, Kamil. Reprodukory a reprosoustavy 1.díl. Orlová: DEXON, 2001. EAN 8591459280805..
- [3] ELIŠÁK, David. Realizace vícekanálového ozvučení automobilu. Plzeň, 2016. Bakalářská práce. Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická..
- [4] SÝKORA, Bohumil. Stavíme reproduktorové soustavy. A-Radio 10/97 - 9/2001.
- [5] Střední škola polytechnická Havířov-Šumbark [online]. Havířov, 2020 [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: <https://www.ssph.cz/vyuka/wp-content/uploads/2020/03/elektroakustika-reprodukory.pdf>.
- [6] Audioweb.cz [online]. Brno, 2007 [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: <http://www.audioweb.cz/viewtopic.php?id=15624>.
- [7] Škoda Superb 2 - výměna předních a zadních reproduktorů. Ahifi.cz [online]. Brno: ahifi, 2014 [cit. 2021-6-6]. Dostupné z: <https://www.ahifi.cz/clanky/detail/skoda-superb-2-vymena-prednich-a-zadnich-reproduktoru-montaz-2din-oem-autoradia-s-navigaci-kenwoo>.
- [8] FRÁNOVÁ, Lenka. Tvorba metodických návodů pro akustická měření v akustických laboratořích FEL. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická..

## Příloha

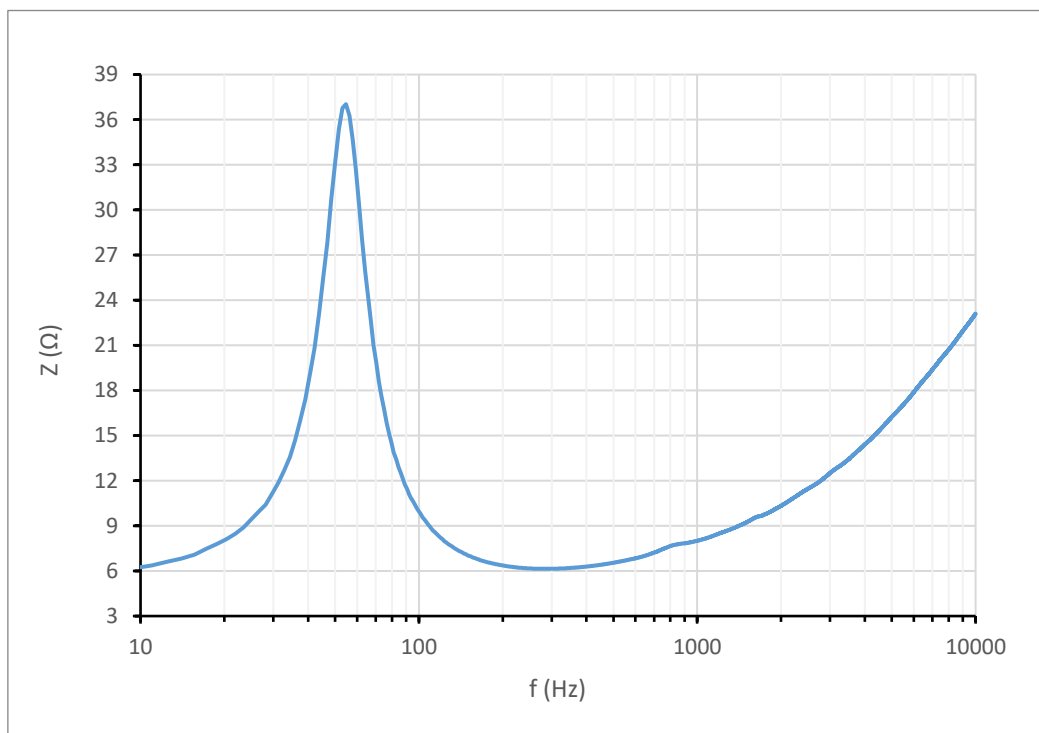
### Příloha A – Měření impedance



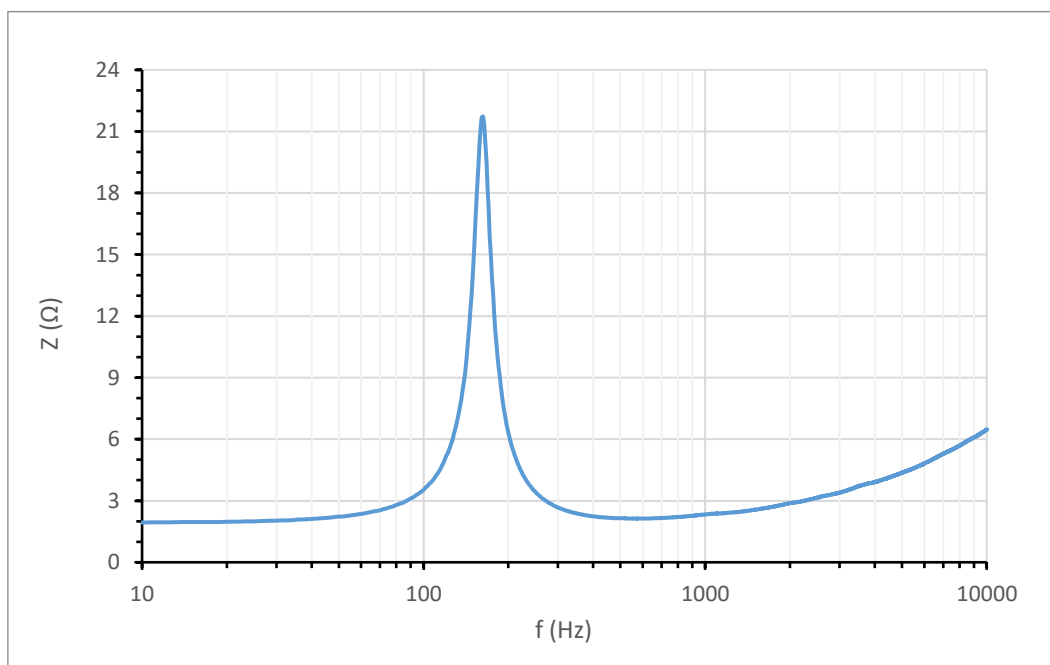
Graf 1: Impedanční charakteristika subwooferu PL22WR09-08



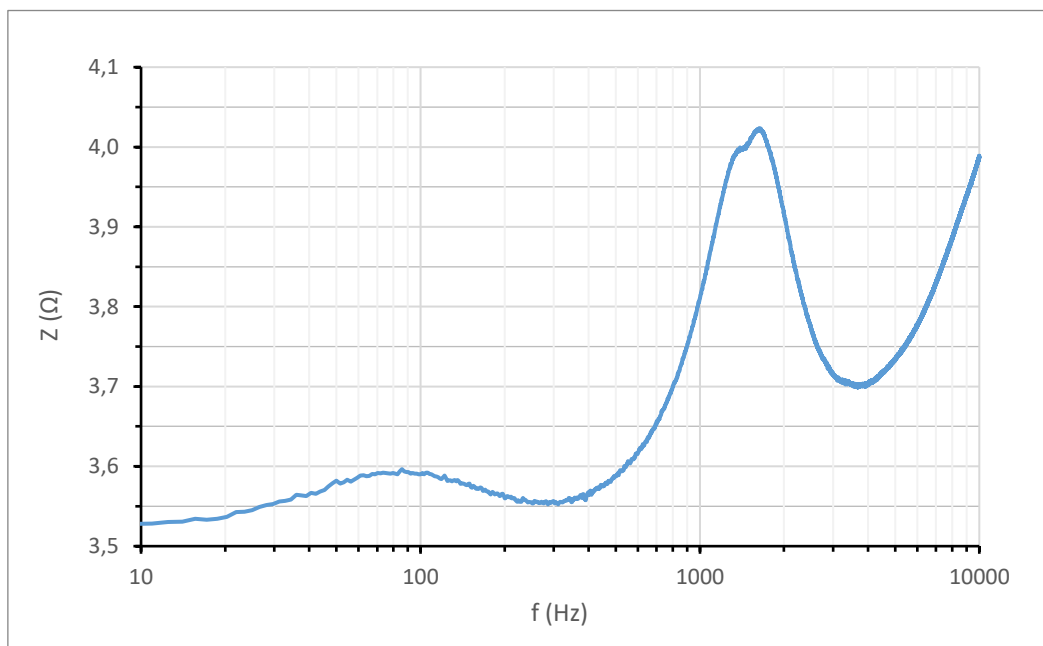
Graf 2: Impedanční charakteristika basového reproduktoru S1nn 5647



Graf 3: Impedanční charakteristika basového reproduktoru M17WH-09-08

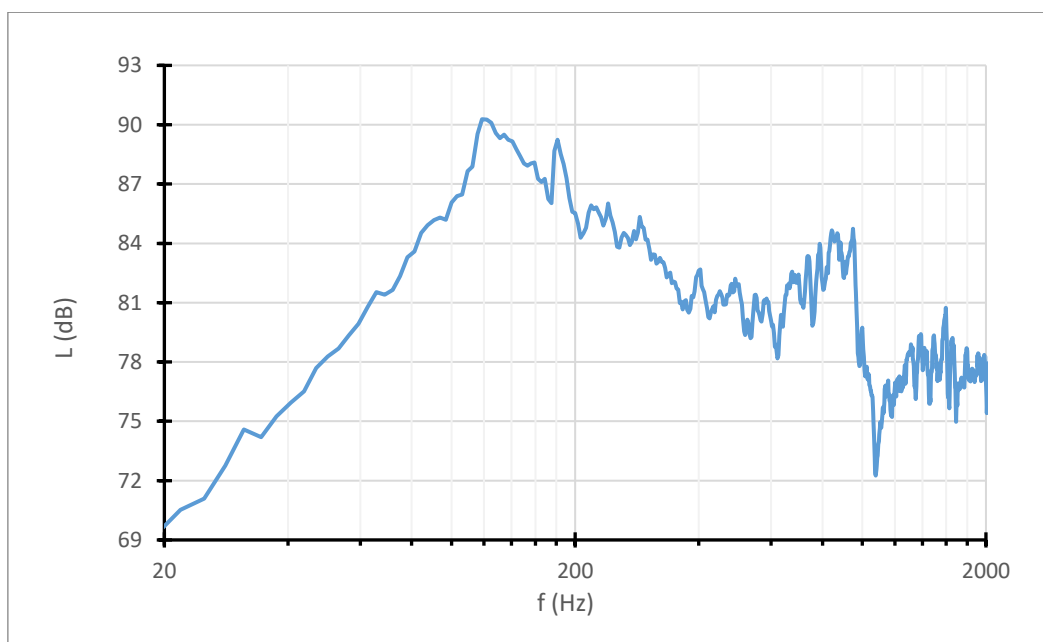


Graf 4: Impedanční charakteristika středopásmového repro. Tesla 1004833-01-A

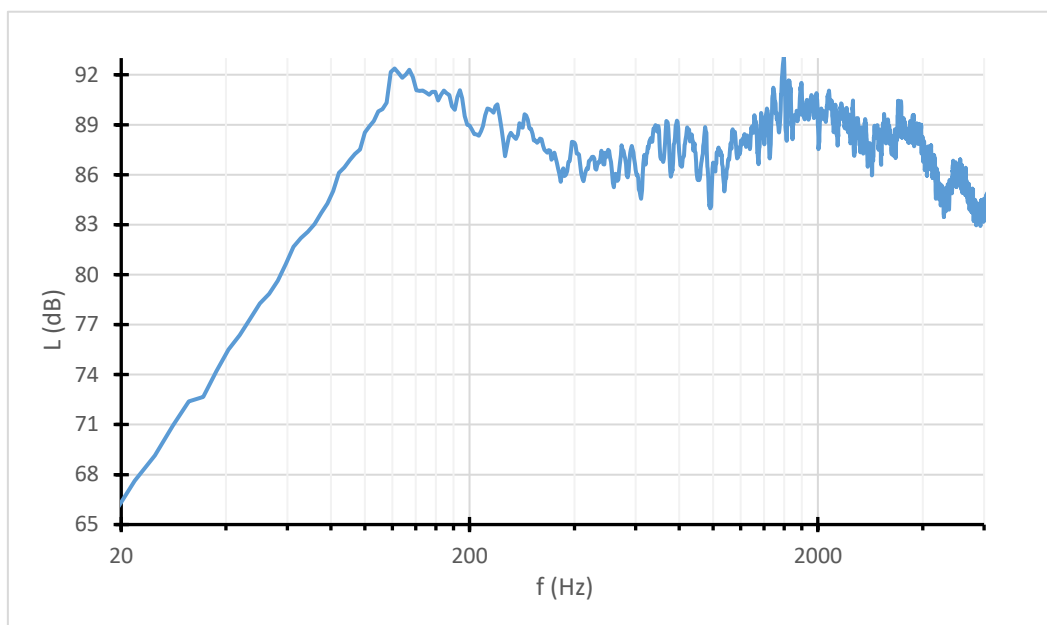


Graf 5: Impedanční charakteristika výškového repro. Tesla 1004833-00-A

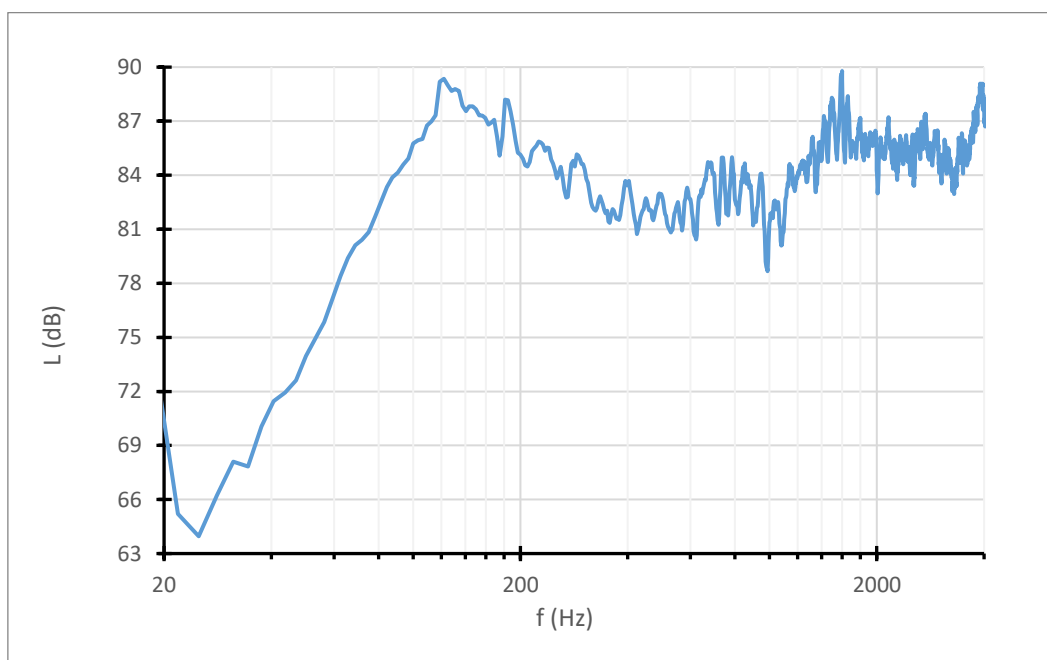
## Příloha B – Měření amplitudových frekvenčních charakteristik



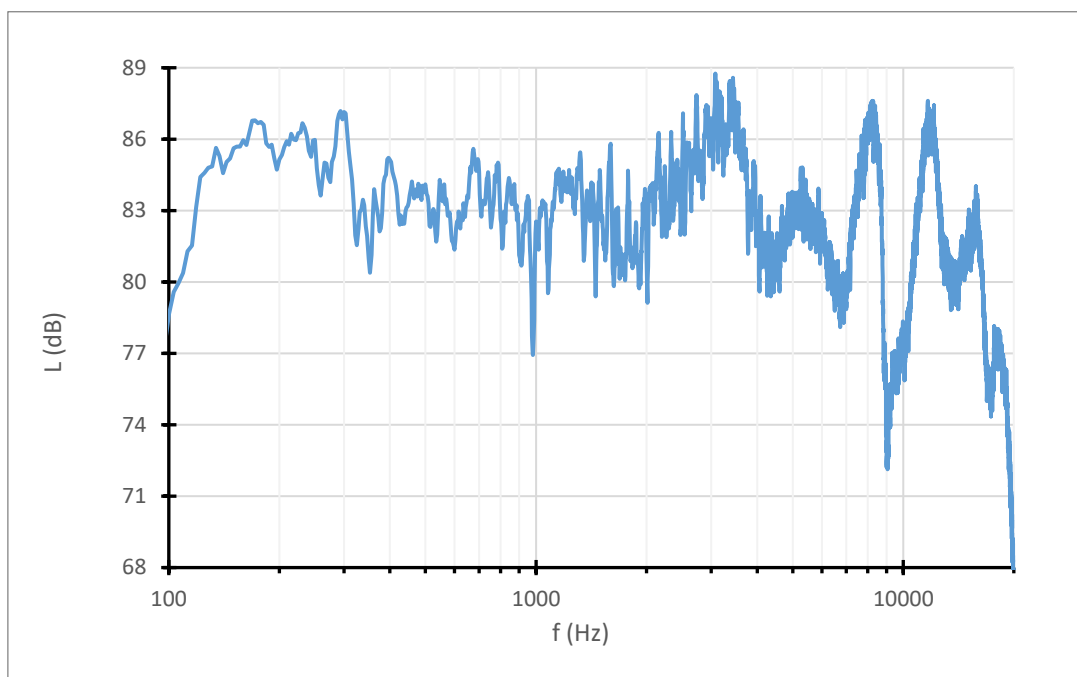
Graf 6: Amplitudová frekvenční char. subwooferu PL22WR09-08



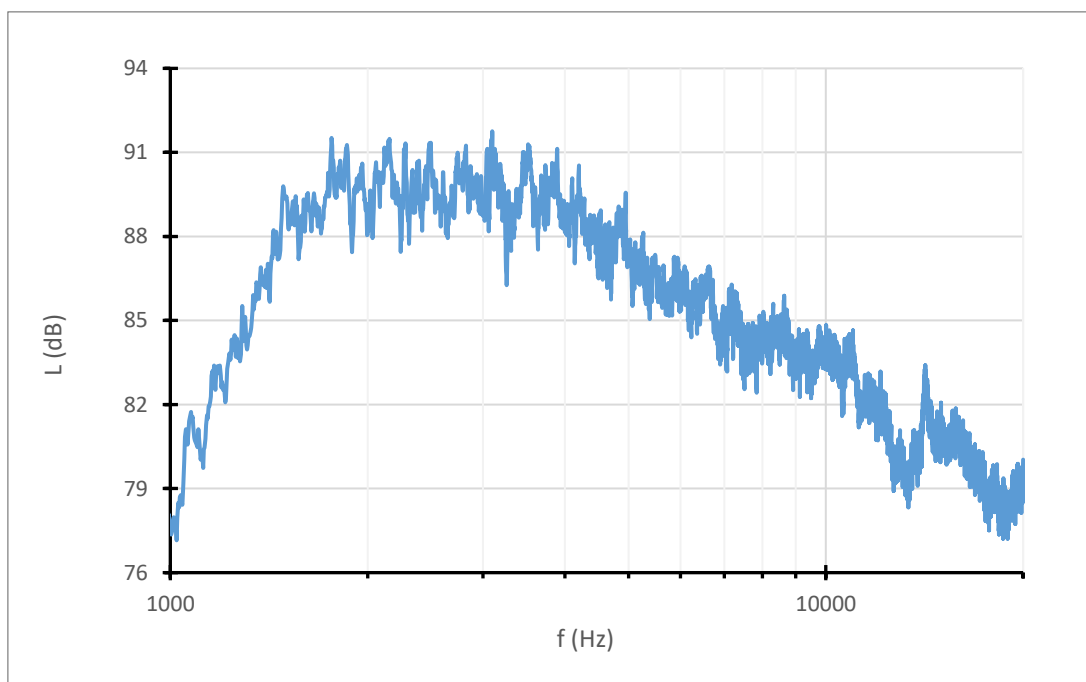
Graf 7: Amplitudová frekvenční char. basového rep. M17WH-09-08



Graf 8: Amplitudová frekvenční char. basového rep. S1nn 5301



Graf 9: Amplitudová frekvenční char. středopásmového repro. Tesla 1004833-01-A



Graf 10: Amplitudová frekvenční char. výškového repro. Tesla 1004833-00-A



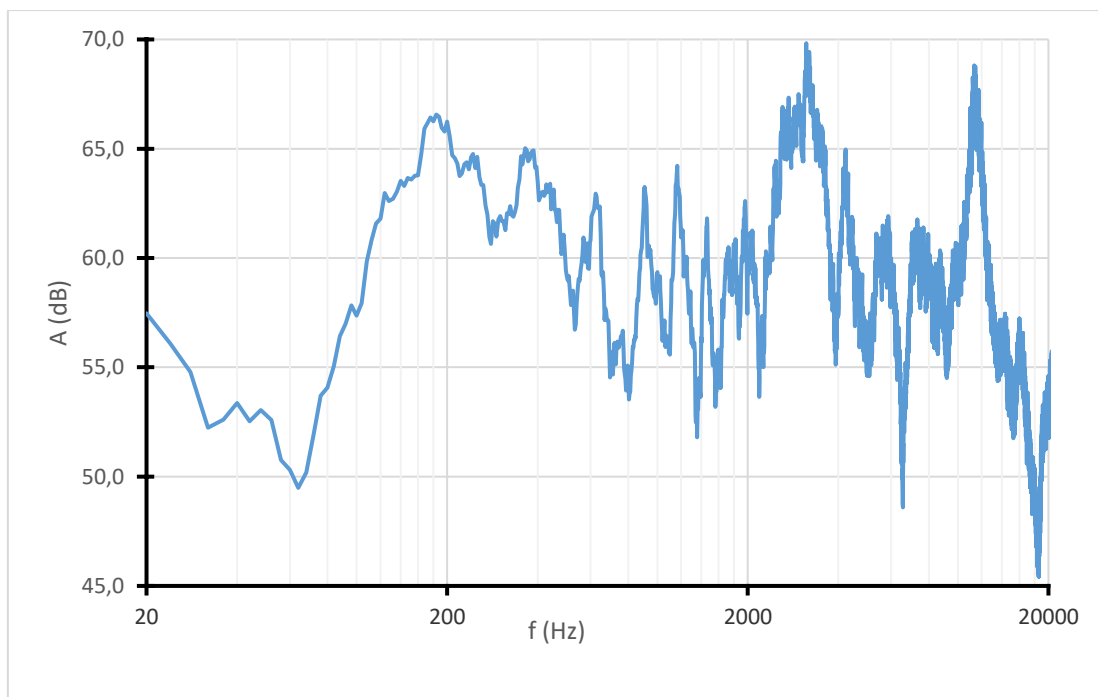
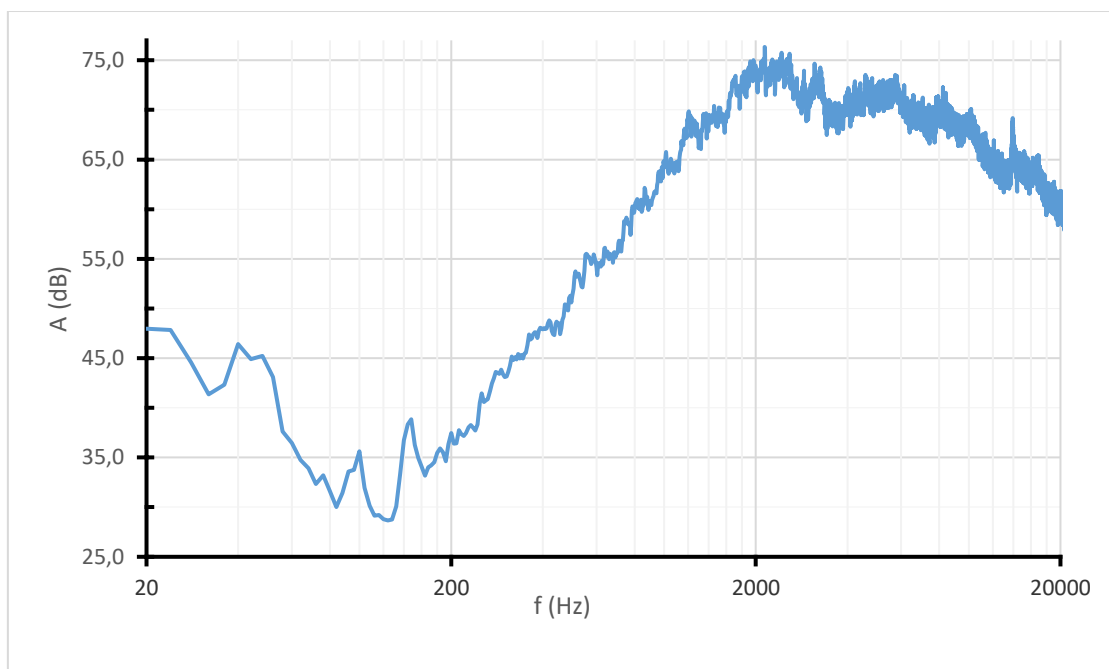
## Příloha C – Měření zkreslení THD

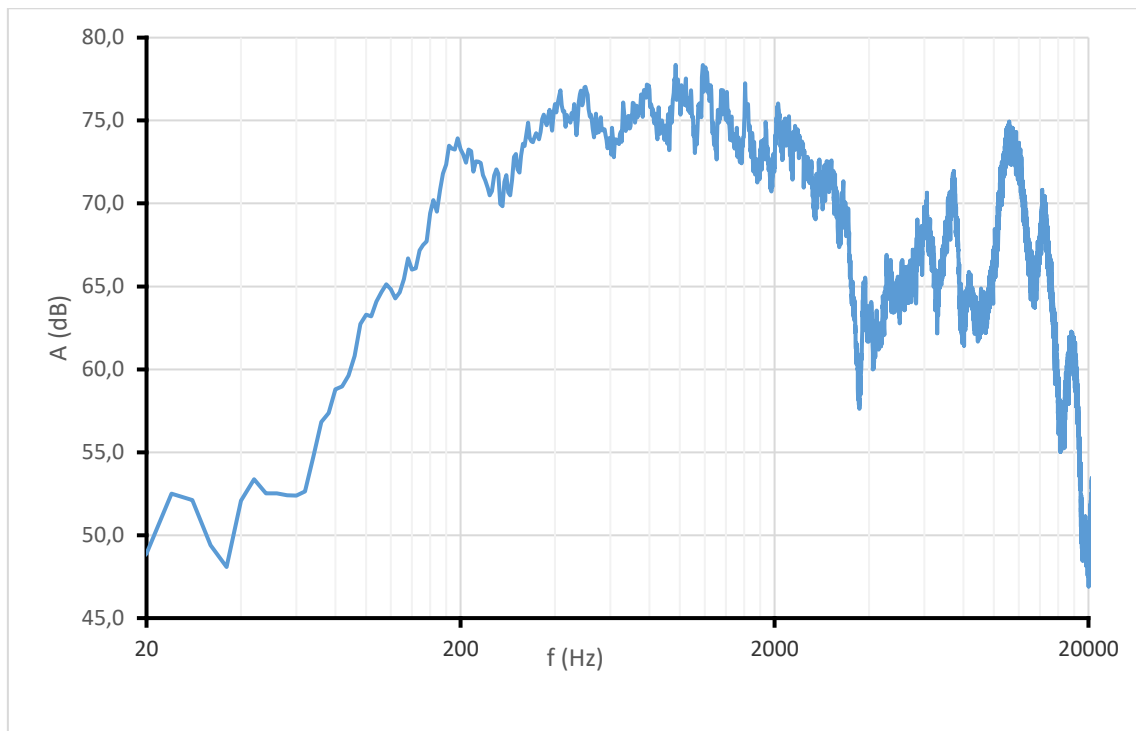
Tab. 1: Zkreslení basových reproduktorů

THD zkreslení [%] basový reproduktor M17WH-09-08					basový reproduktor S1nn 5301			
frekvence [Hz]	1W	5W	10W	20W	1W	5W	10W	20W
50	5,18	19,7	51,62		7,94	27		
75	1,32	3,03	4,77	5,89	2,42	5,48	7,76	9,44
100	0,43	0,93	1,44	2,91	43	1,68	2,7	4,09
150	0,15	0,42	0,56	0,77	0,17	0,39	0,59	0,92
200	0,21	0,47	0,66	0,8	0,11	0,19	0,25	0,31
250	0,59	1,27	1,63	1,8	0,17	0,34	0,56	0,79
325	0,22	0,54	0,76	0,98	0,22	0,4	0,57	0,75
400	0,32	0,63	0,86	1,06	0,26	0,47	0,62	0,82
500	0,5	0,88	1,12	1,37	0,51	0,79	0,95	1,1
625	0,71	1,4	1,87	2,39	0,59	0,83	1,09	1,39
800	0,78	1,8	2,45	30,6	0,51	0,79	1,04	1,38
1000	0,63	1,15	1,49	1,89	0,62	0,86	0,93	0,99
1250	0,76	1,5	2,05	2,72	0,73	0,94	1,1	1,3
1600	0,39	0,86	1,21	1,57	0,37	0,53	0,64	0,78
2000	0,49	1,08	1,5	1,99	0,65	0,94	1,11	1,33
3000	0,43	0,95	1,33	1,86	0,25	0,44	0,63	0,85
4000	0,21	0,62	0,94	1,26	0,1	0,21	0,29	0,36
5000	0,15	0,37	0,54	0,71	0,15	0,23	0,3	0,38

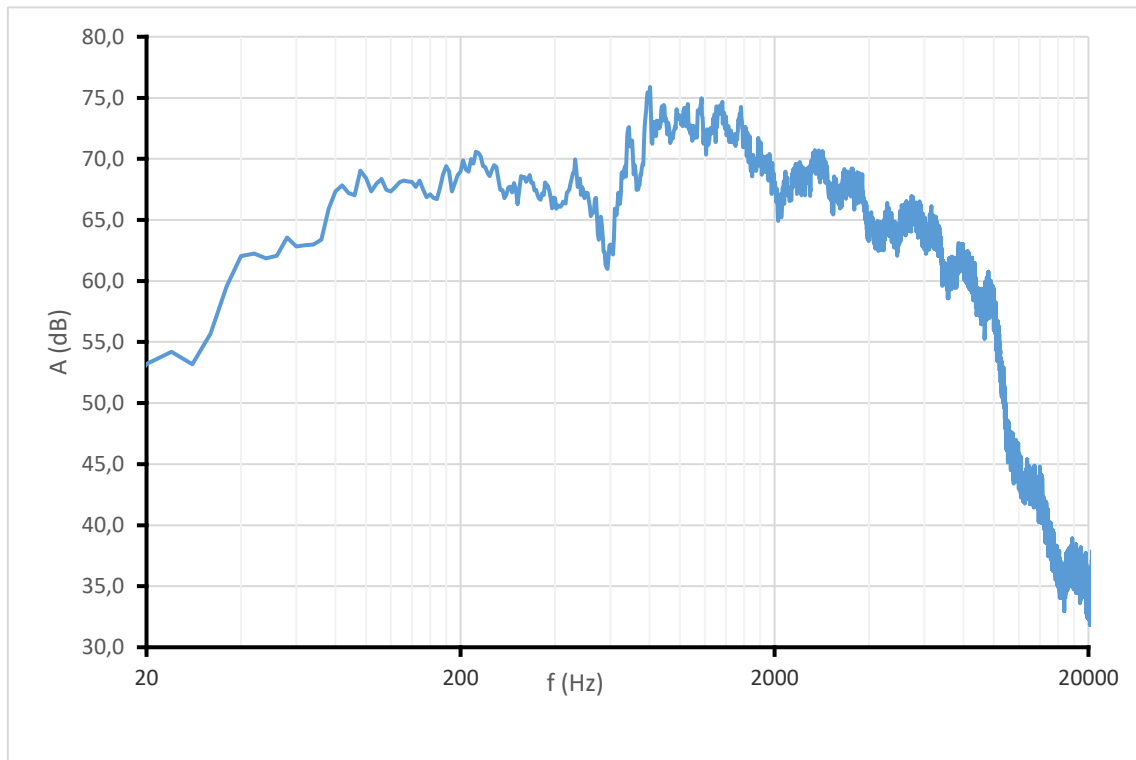
Tab. 2: Zkreslení THD středopásmového a výškového reproduktoru

		Středopásmový Tesla 1004833-01-A			Výškový Tesla 1004833-00-A
zkreslení (%)		1W	5W	10W	1W
100	Hz	6,15	23,87	41,14	
150	Hz	1,08	3,26	5,72	
200	Hz	0,93	2,51	2,5	
250	Hz	0,61	2,3	3,63	
300	Hz	0,83	1,47	1,97	
325	Hz	0,89	2,03	2,5	
400	Hz	0,76	1,61	1,83	
500	Hz	0,48	1,14	1,56	
625	Hz	0,24	0,5	0,97	
800	Hz	0,31	0,47	0,51	5,25
1000	Hz	0,69	1,31	1,6	2,53
1250	Hz	0,31	0,55	0,8	2,11
1600	Hz	0,31	0,62	0,81	0,69
2000	Hz	0,28	0,45	0,77	0,68
3000	Hz	0,13	0,2	0,28	0,21
4000	Hz	1,28	2,43	3,36	0,11
5000	Hz	0,64	0,89	1,11	0,11

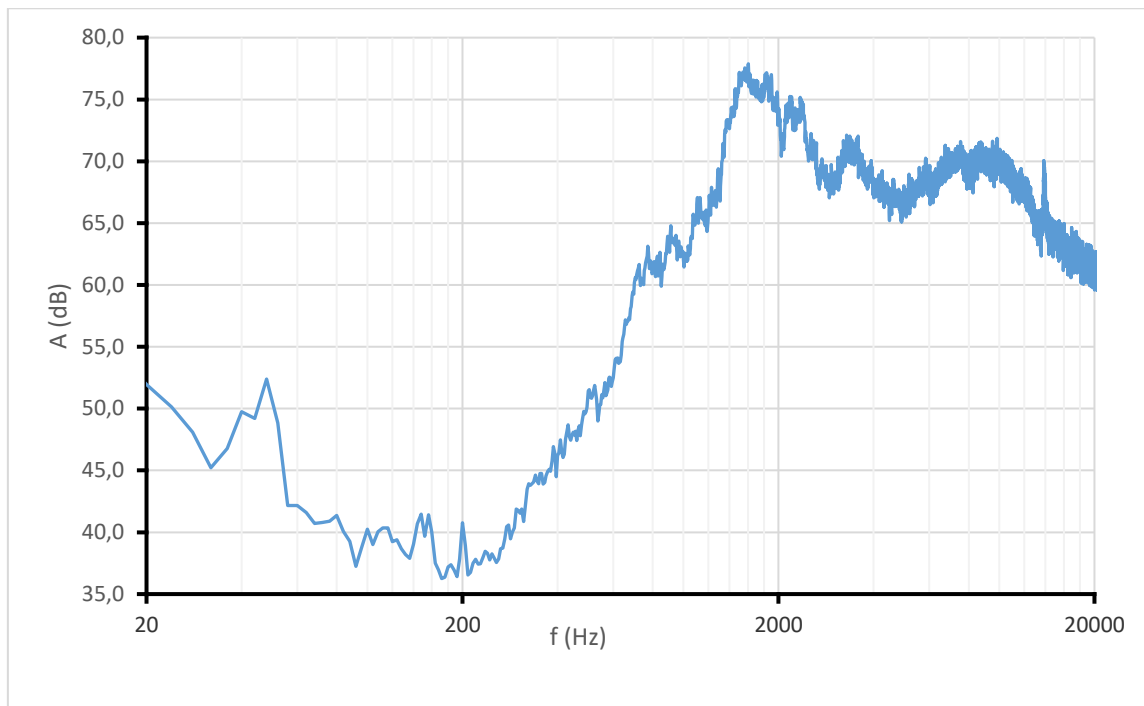
**Příloha D – Měření blízké pole***Graf 11: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – Center**Graf 12: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední tweeter*



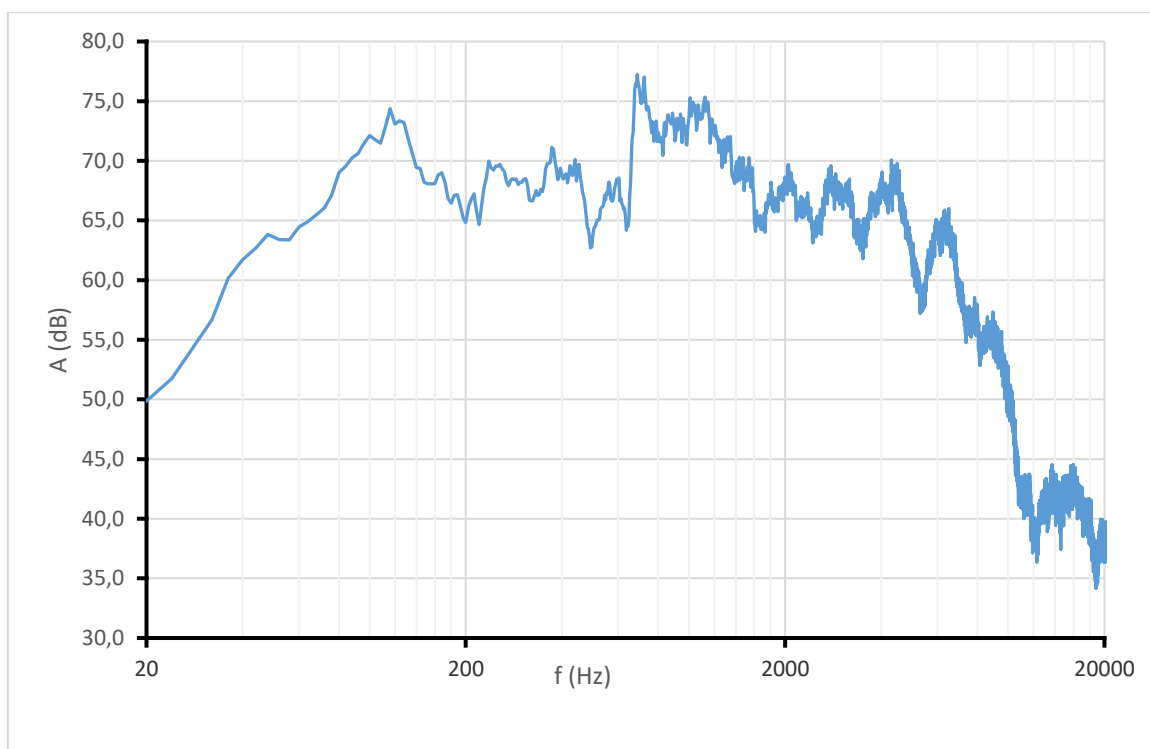
Graf 13: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední mid-range



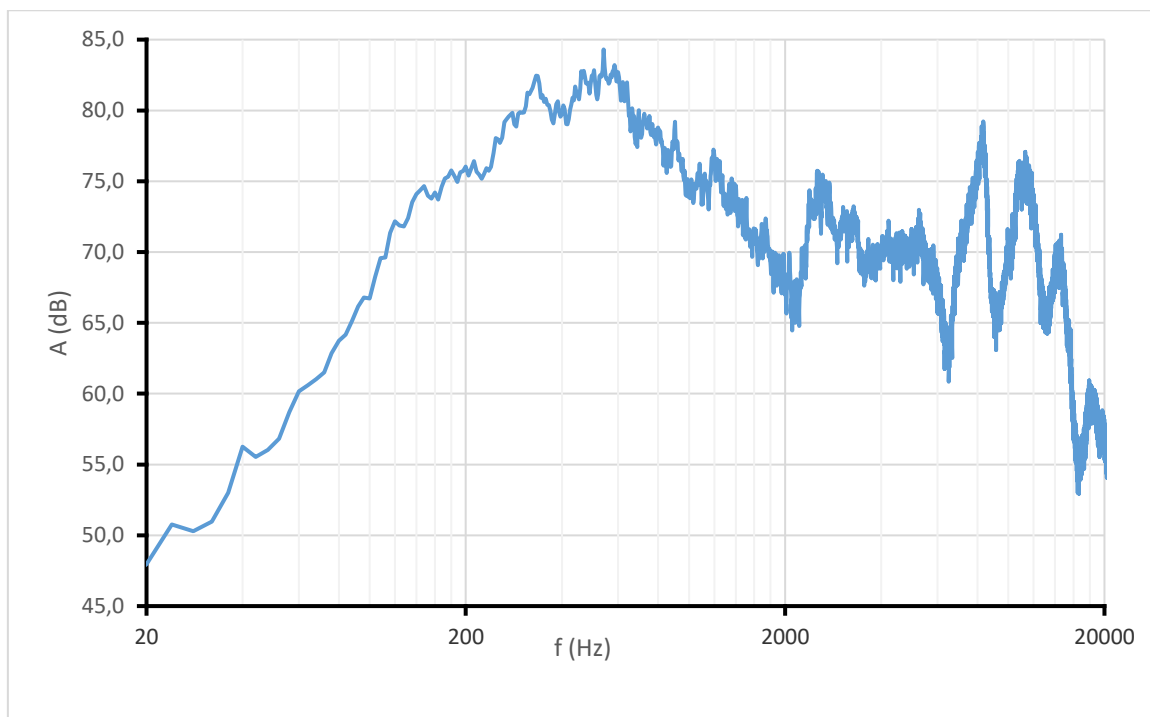
Graf 14: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední woofer



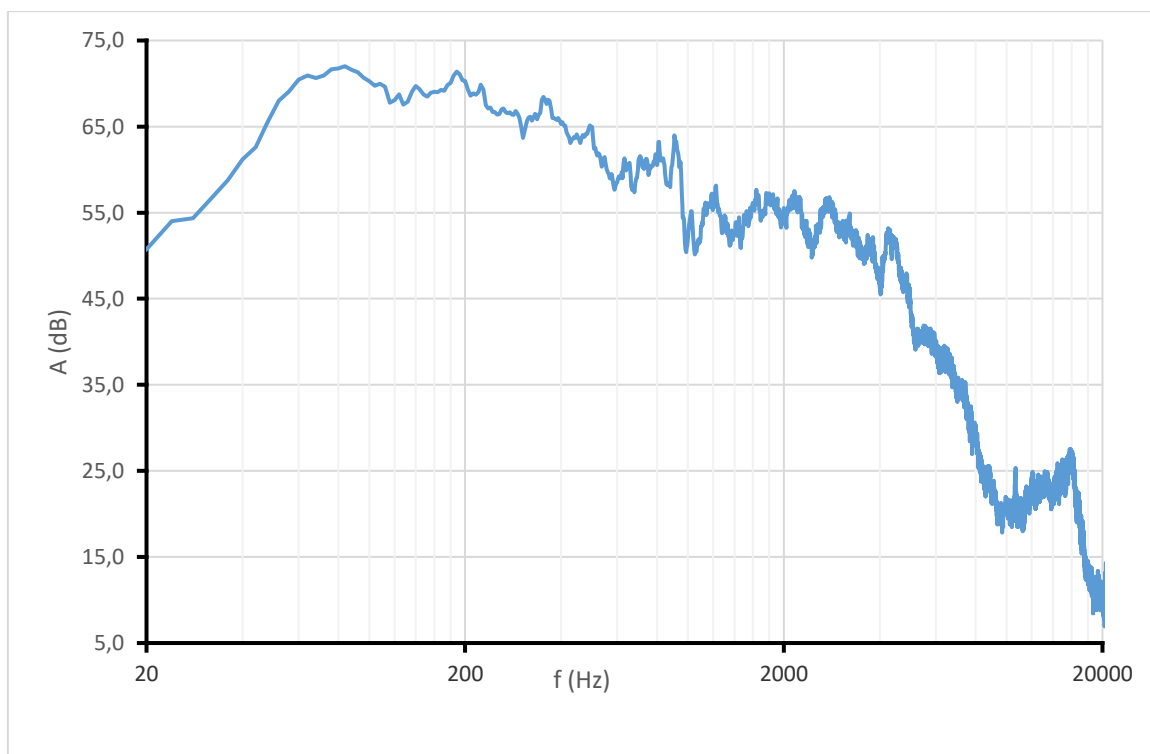
Graf 15: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý zadní tweeter



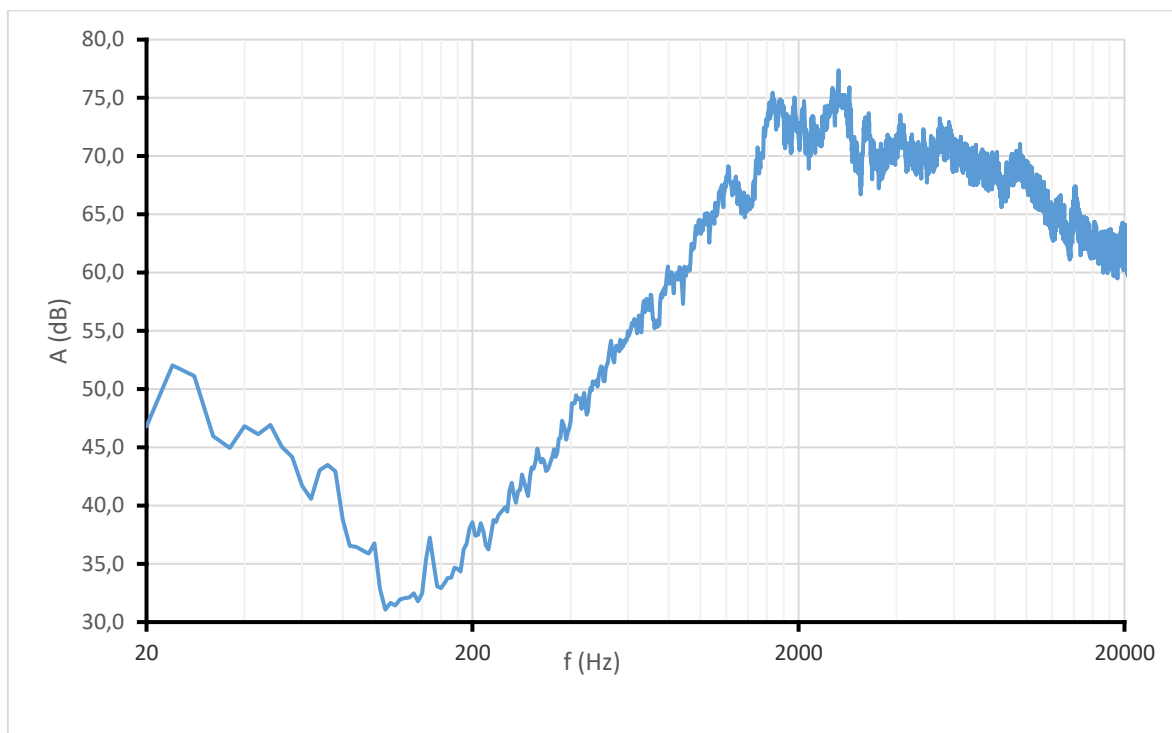
Graf 16: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý zadní woofer



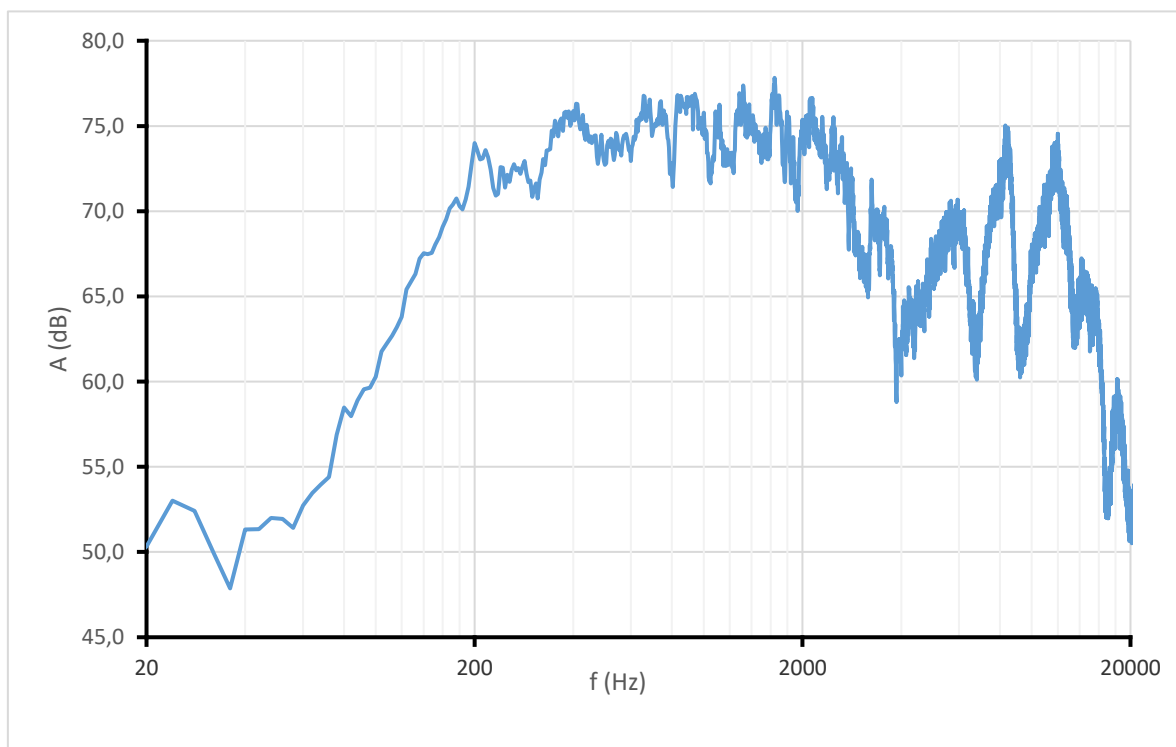
Graf 17 : Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý mid-range. v zavazadelniku



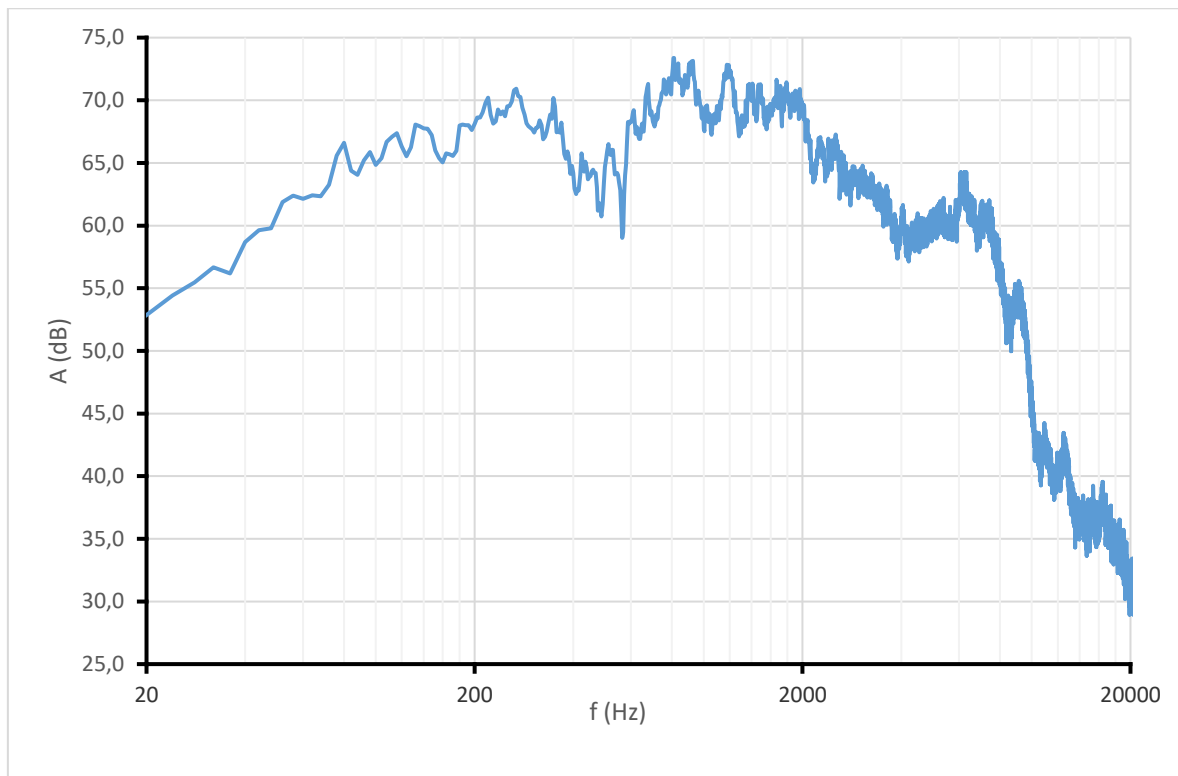
Graf 18: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – subwoofer



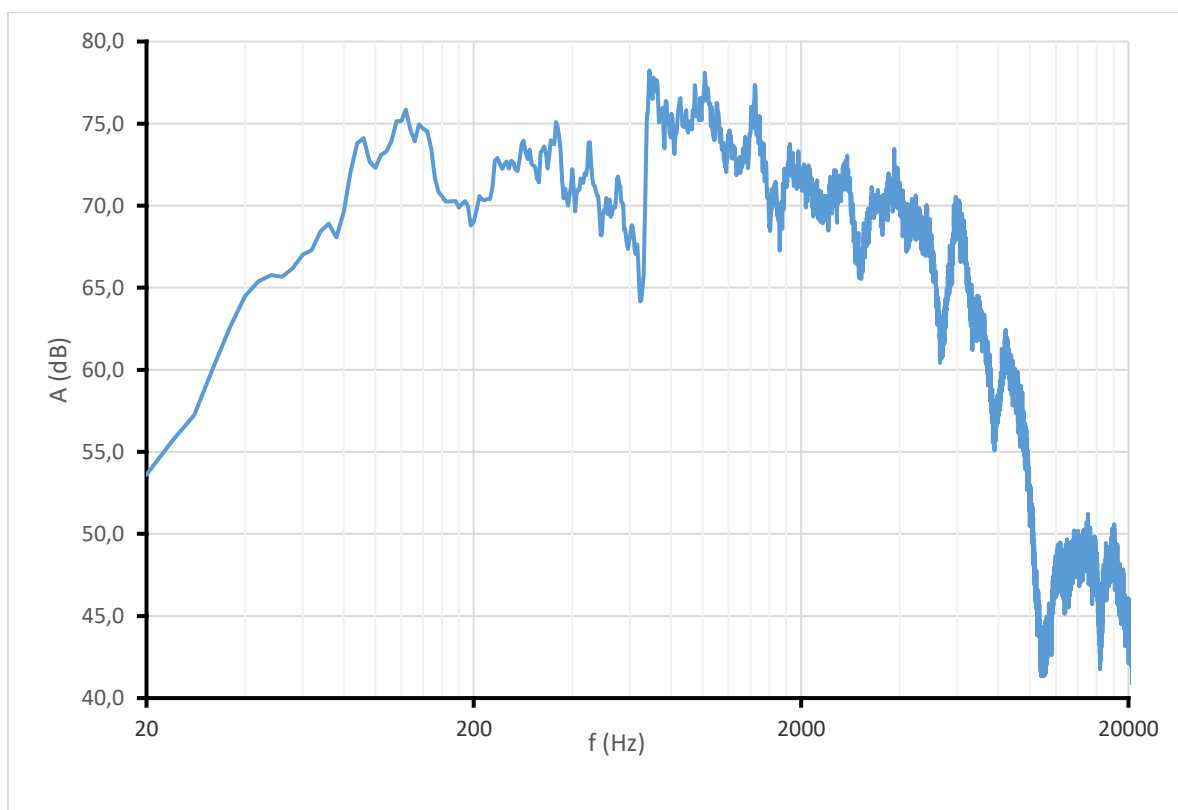
Graf 19: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední tweeter



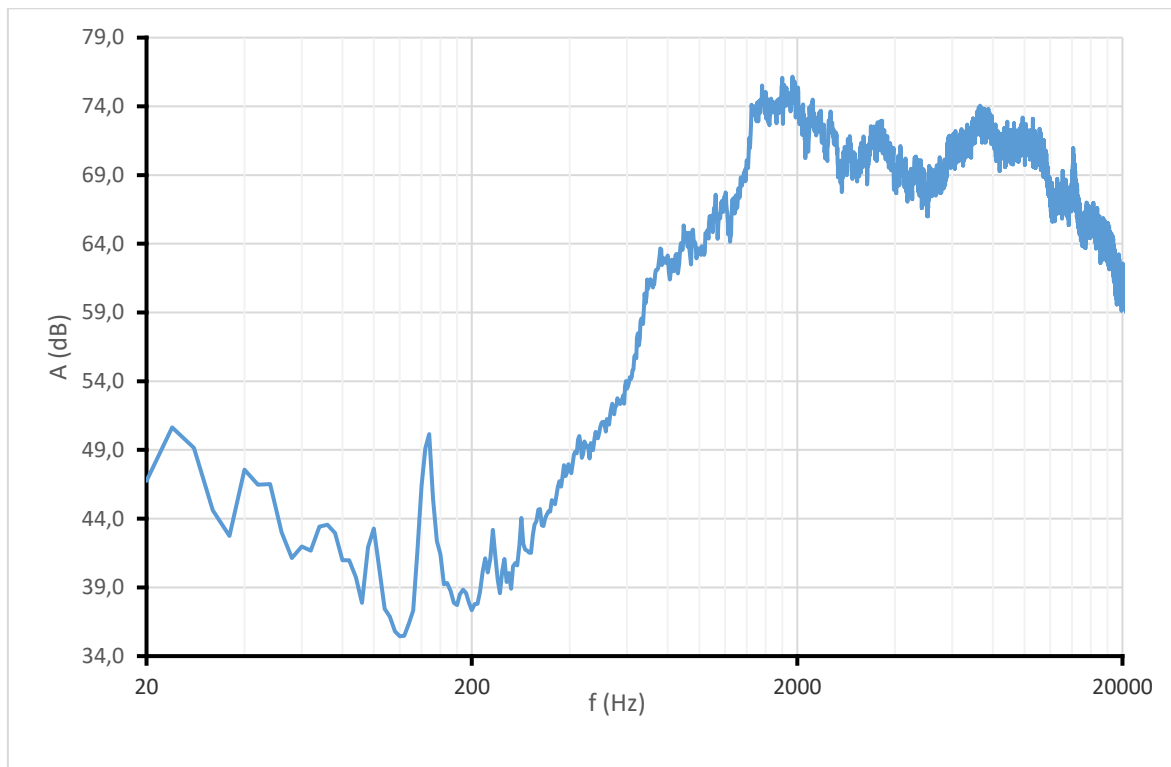
Graf 20: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední mid-range



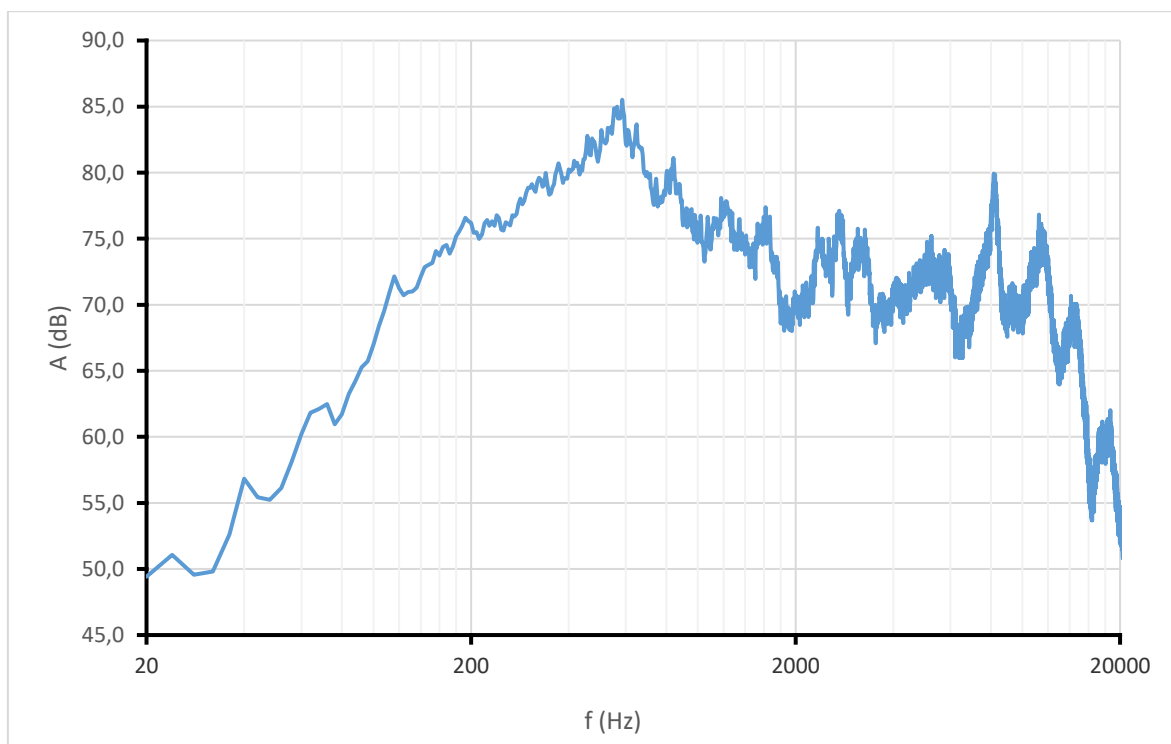
Graf 21: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední woofer



Graf 22: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý zadní woofer

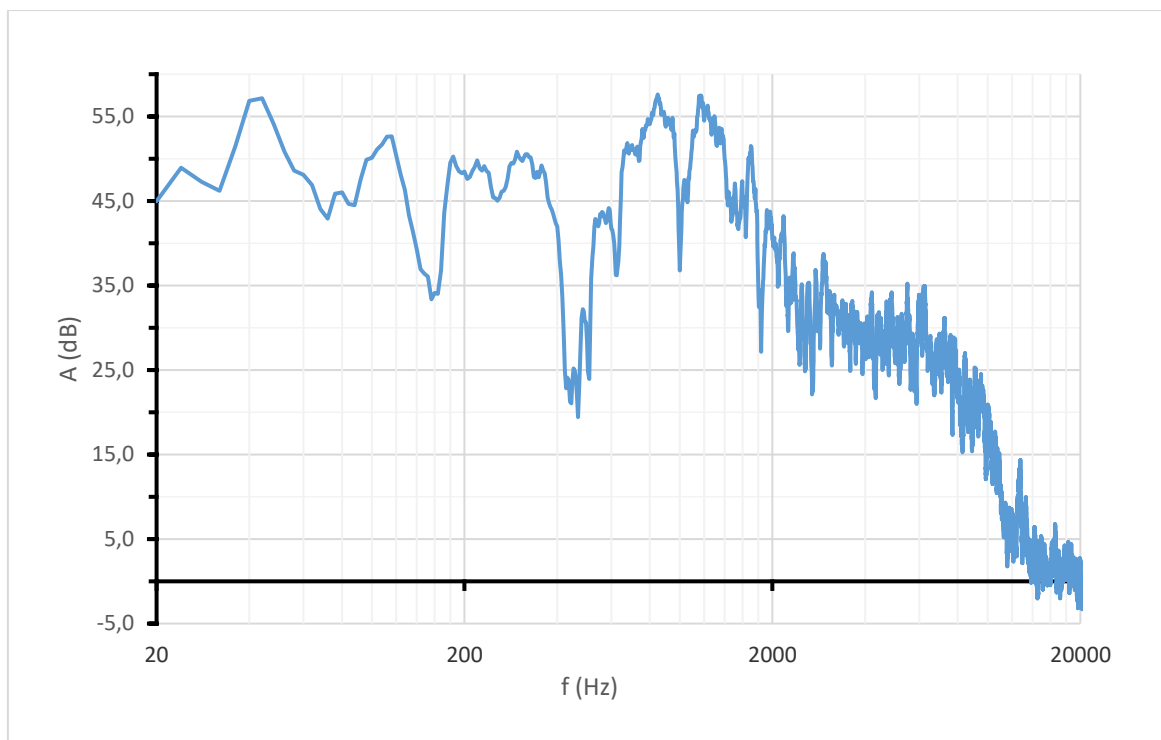
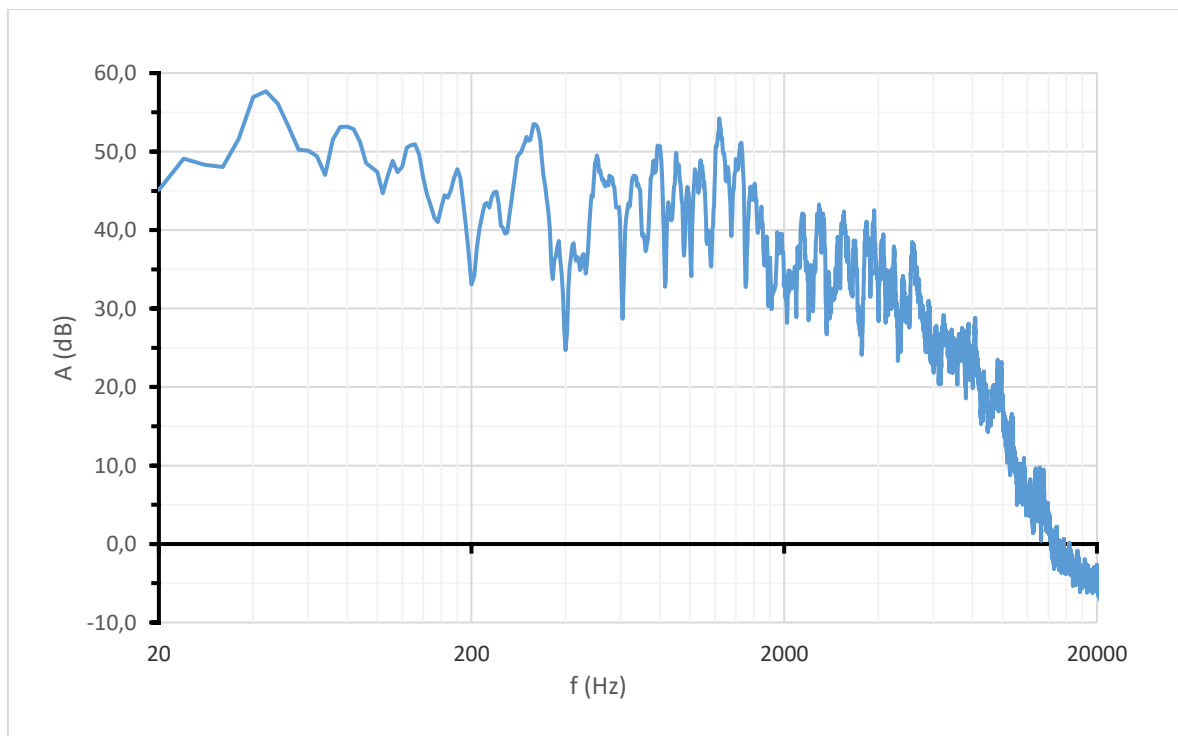


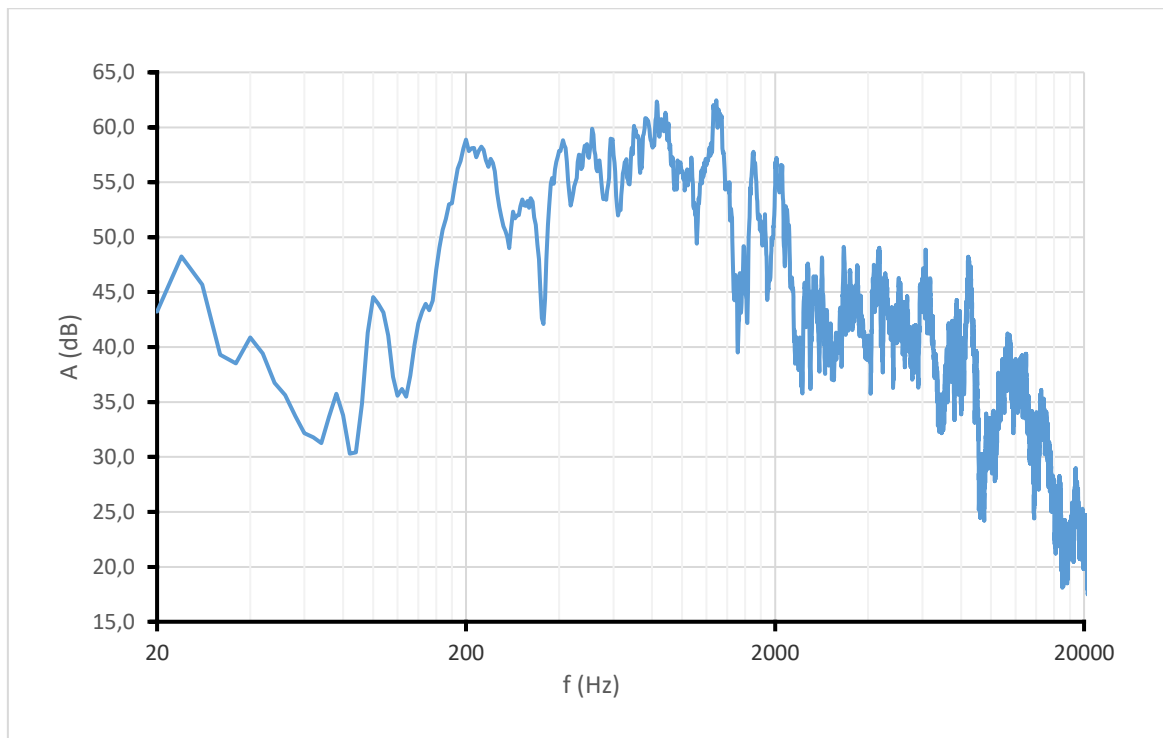
Graf 23: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý zadní tweeter



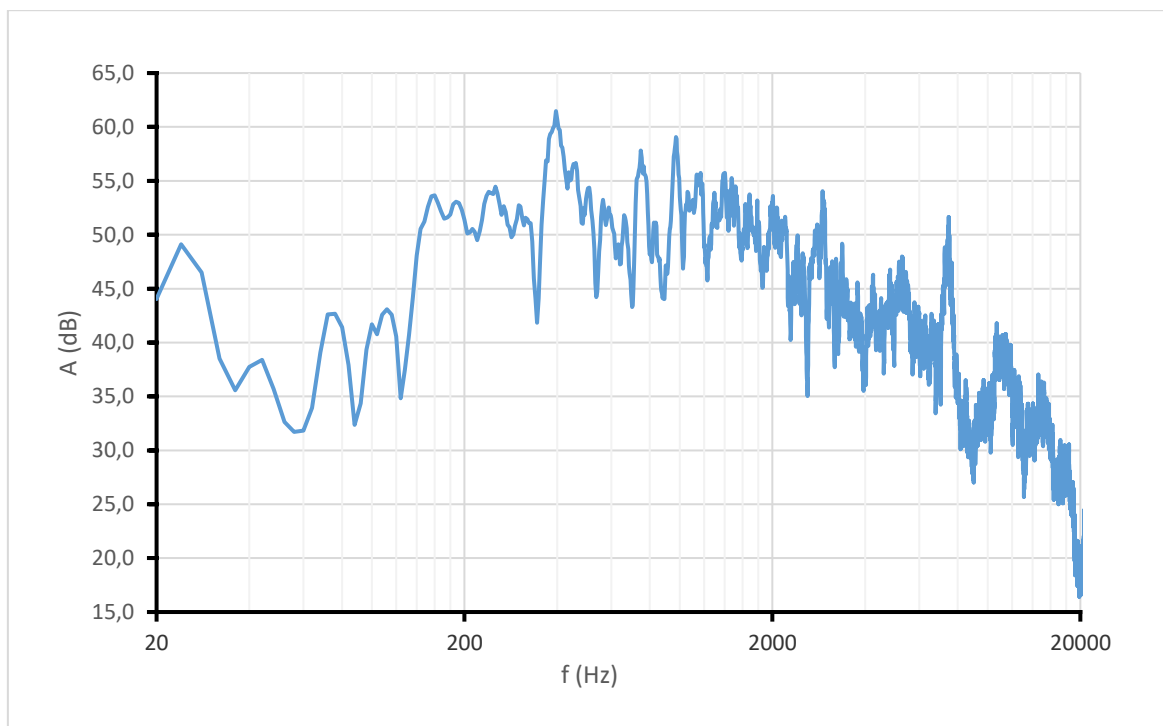
Graf 24: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý mid-range zavazadelník



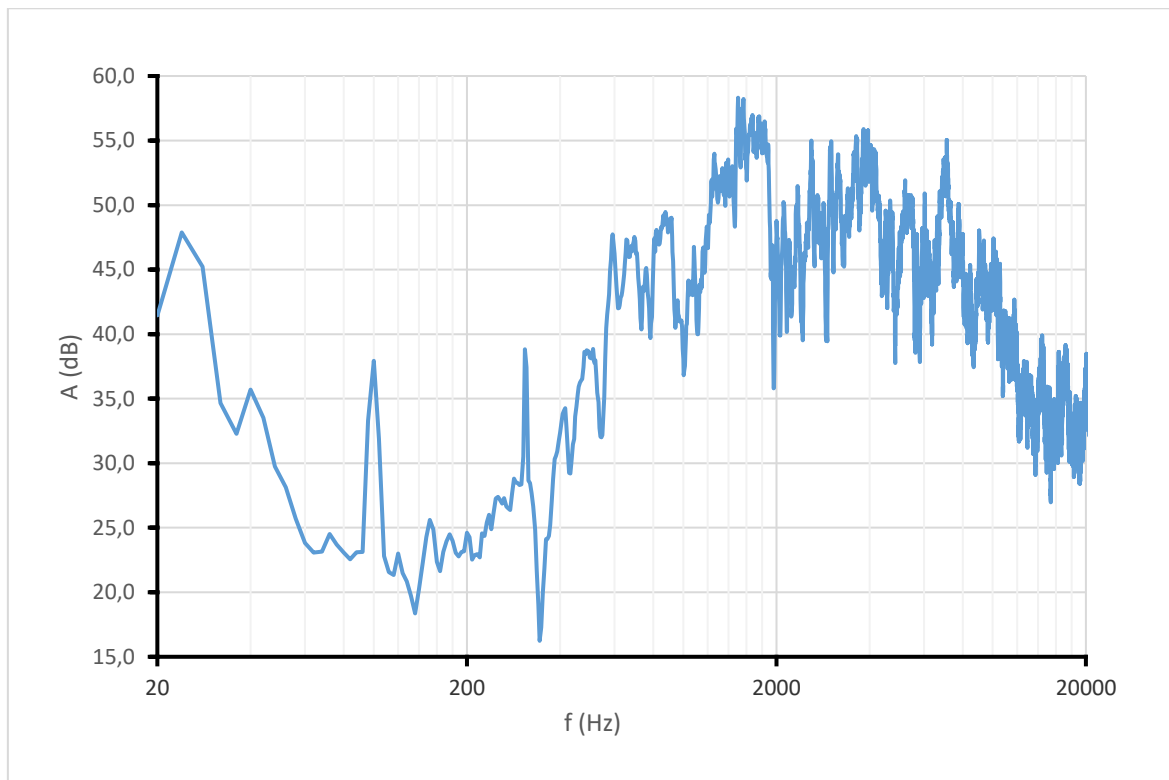
**Příloha E – Měření samotné řidič***Graf 25: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední woofer**Graf 26: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední woofer*



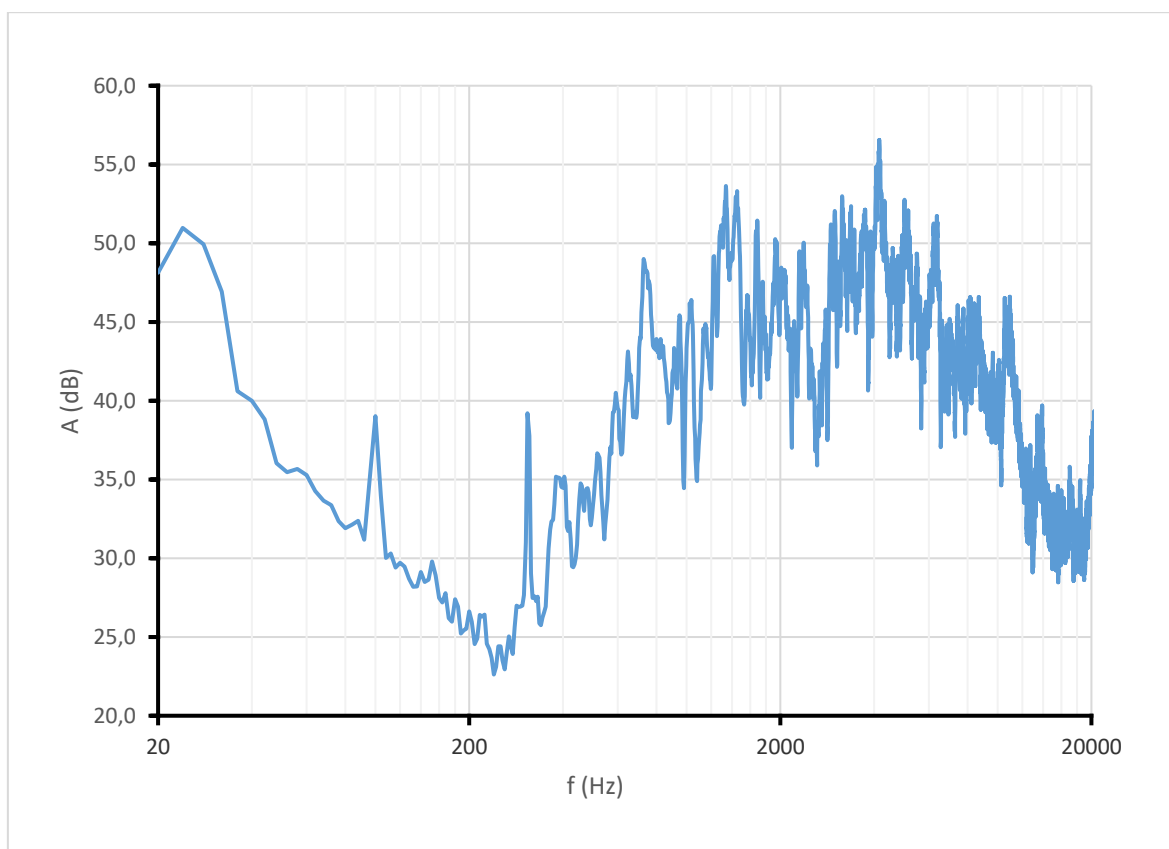
Graf 27: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední mid-range



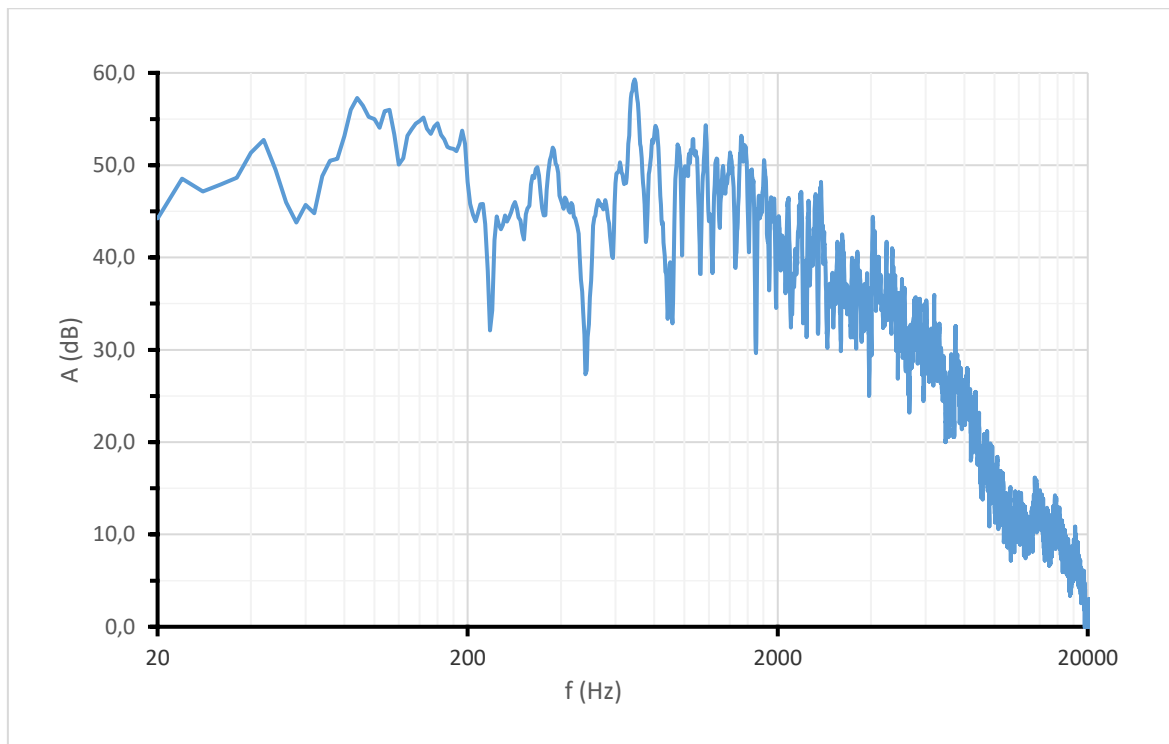
Graf 28: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední mid-range



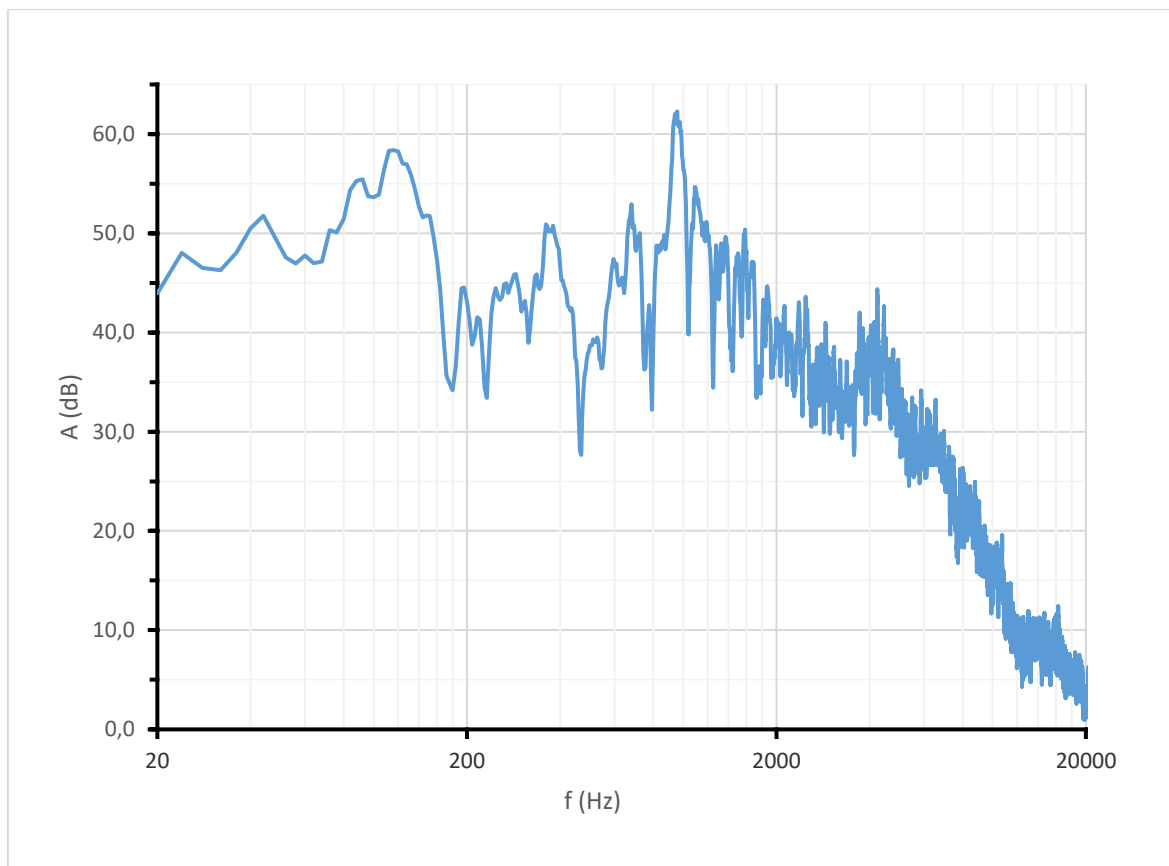
Graf 29: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý přední tweeter



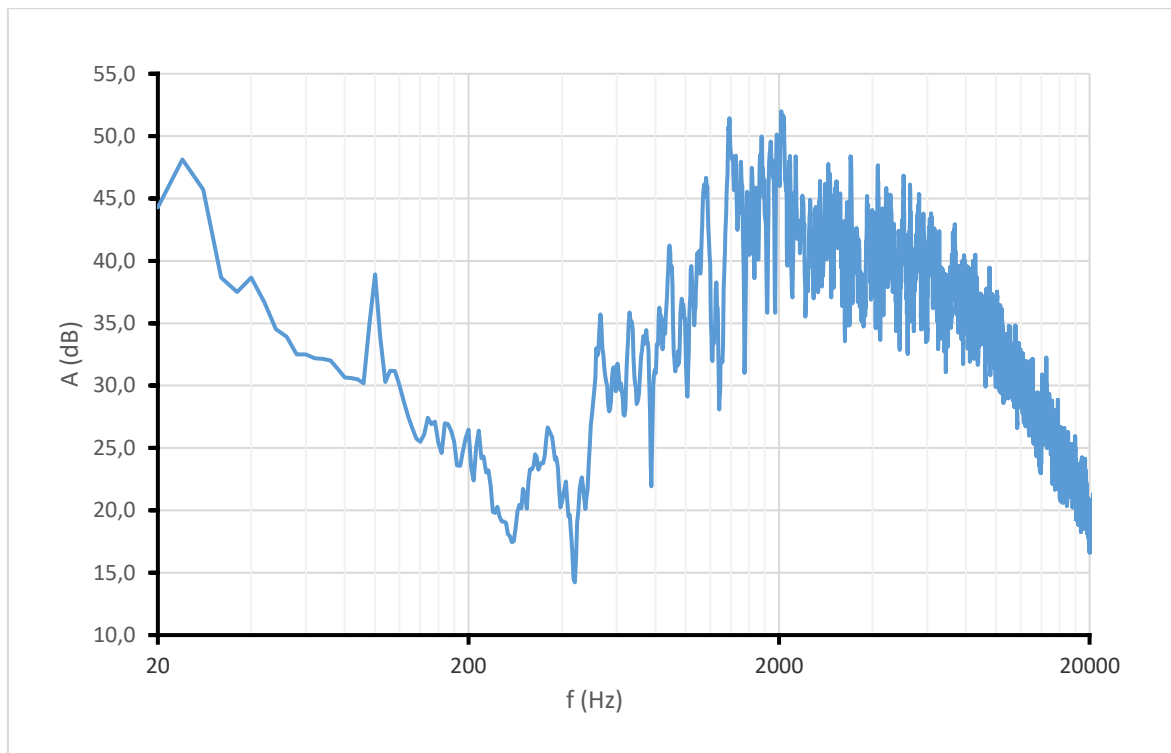
Graf 30: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý přední tweeter



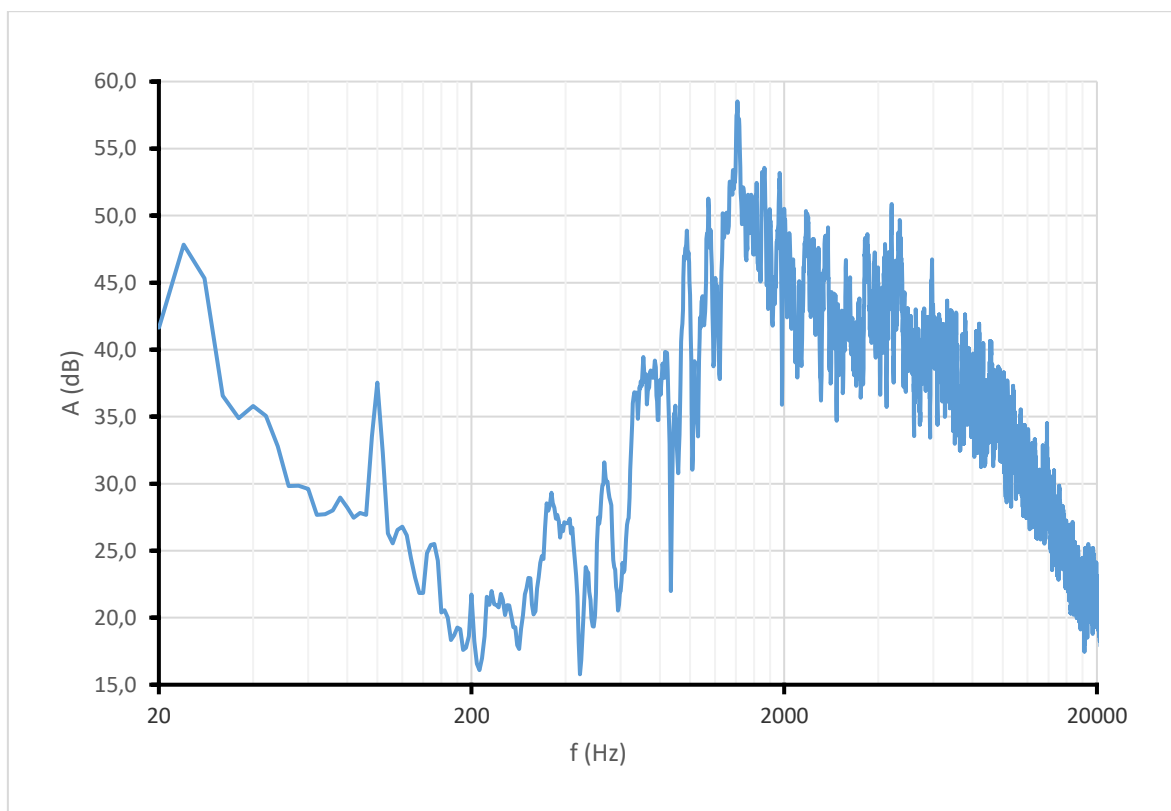
Graf 31: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý zadní woofer



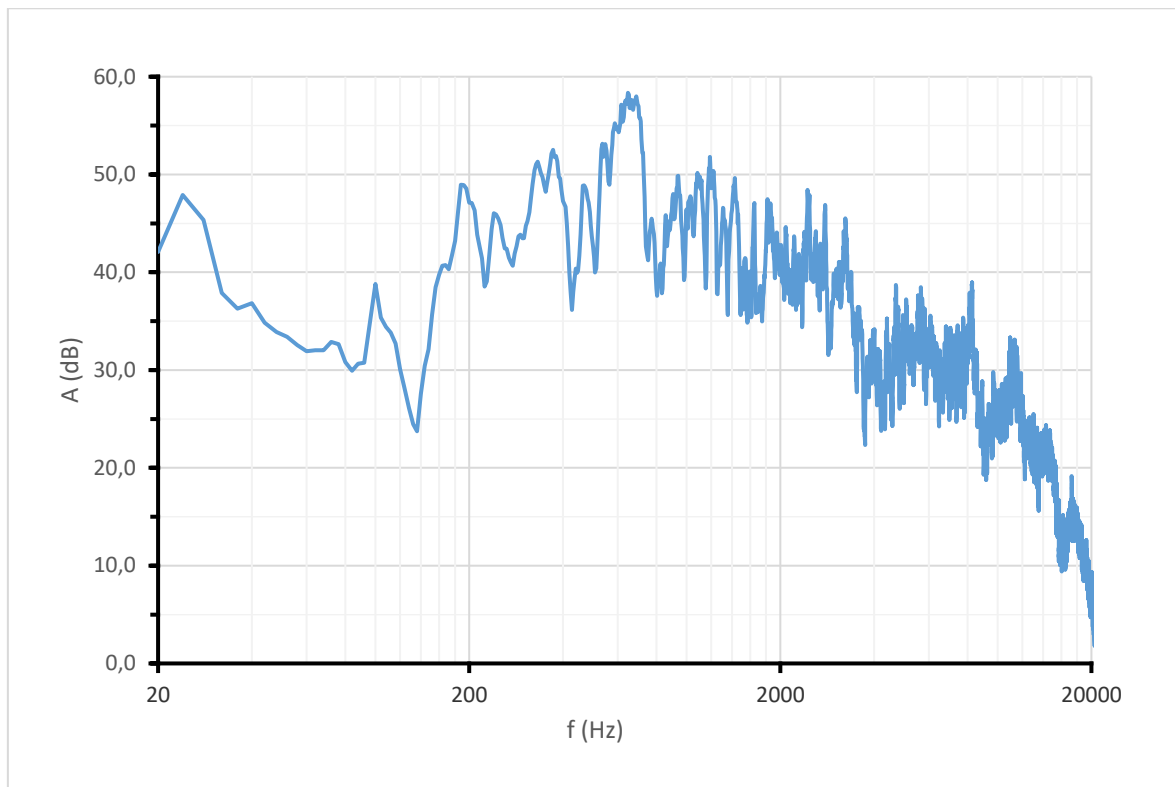
Graf 32: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý zadní woofer



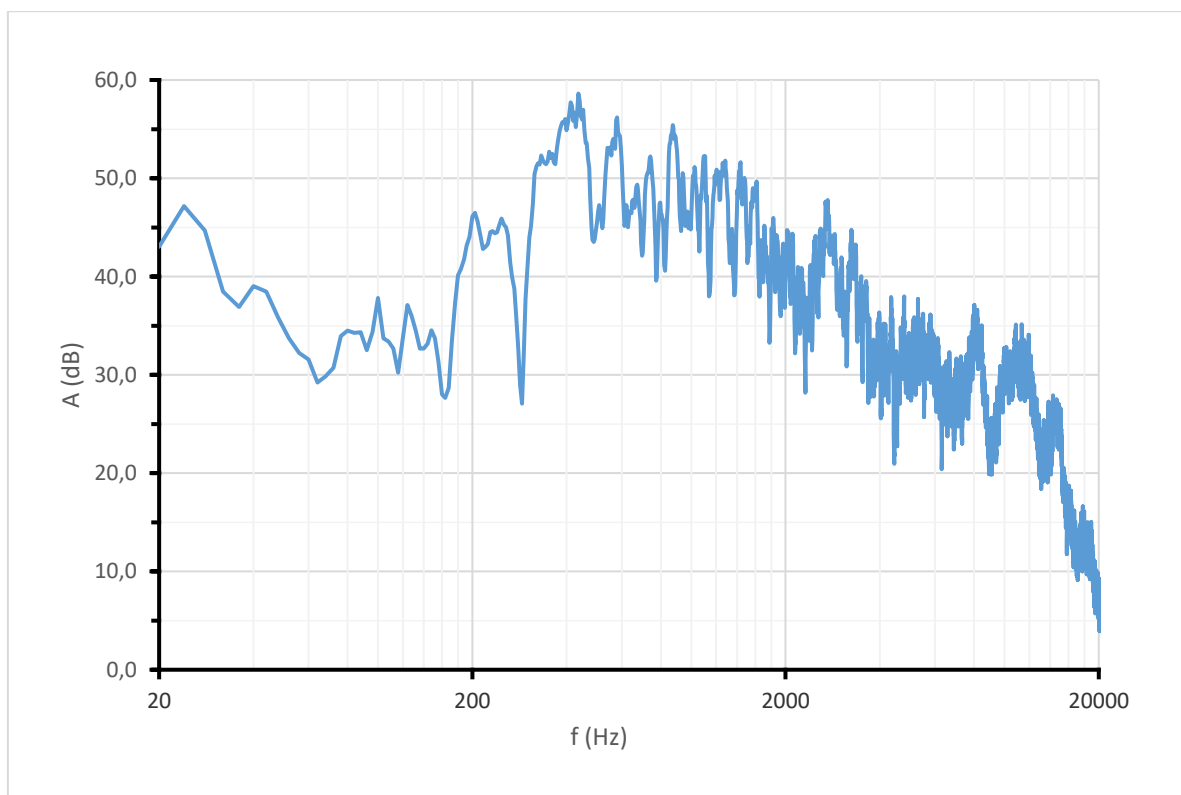
Graf 33: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – levý zadní tweeter



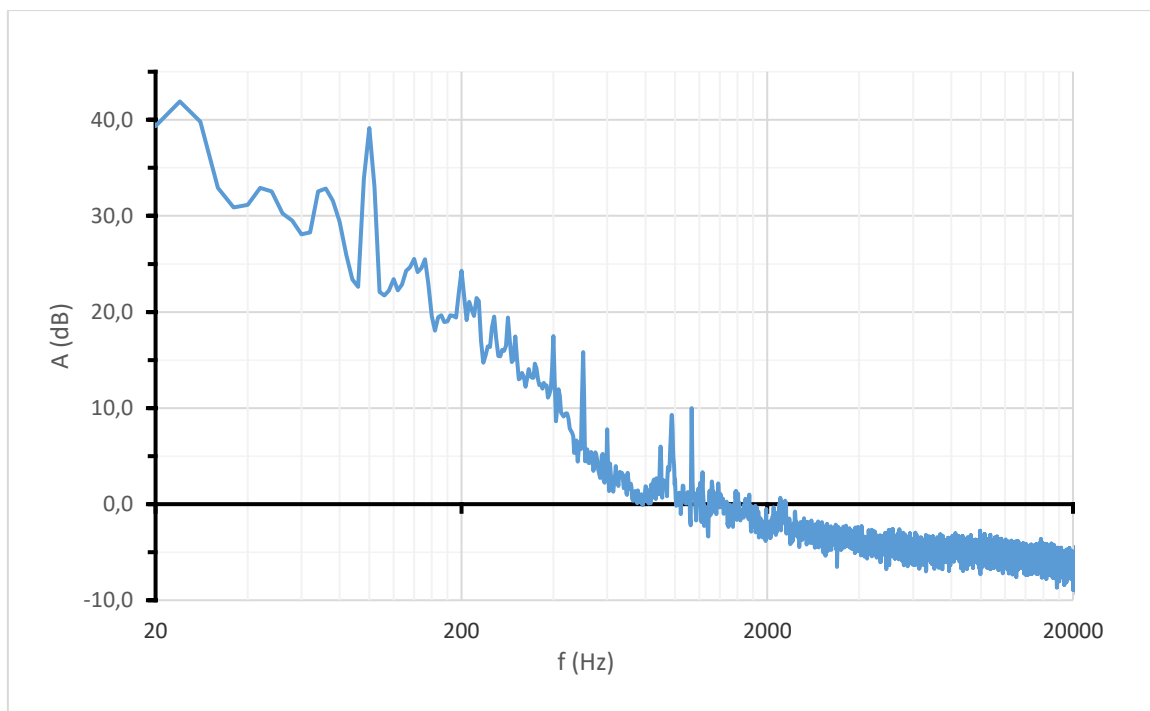
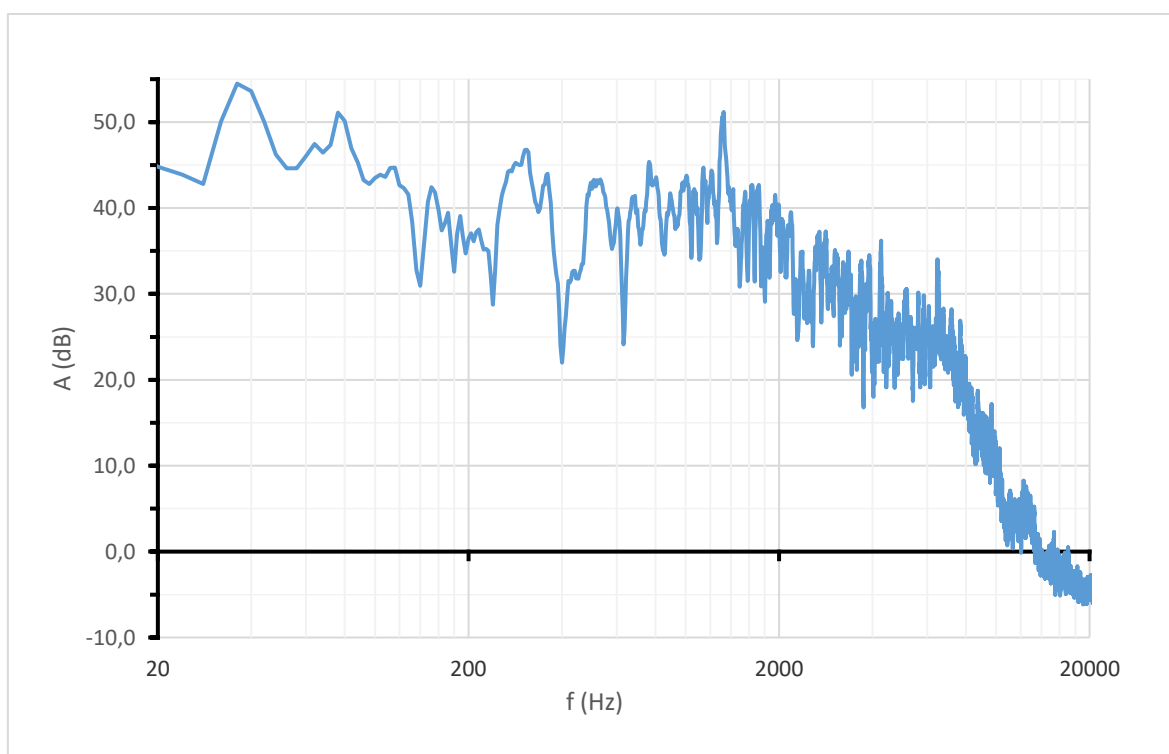
Graf 34: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru – pravý zadní tweeter

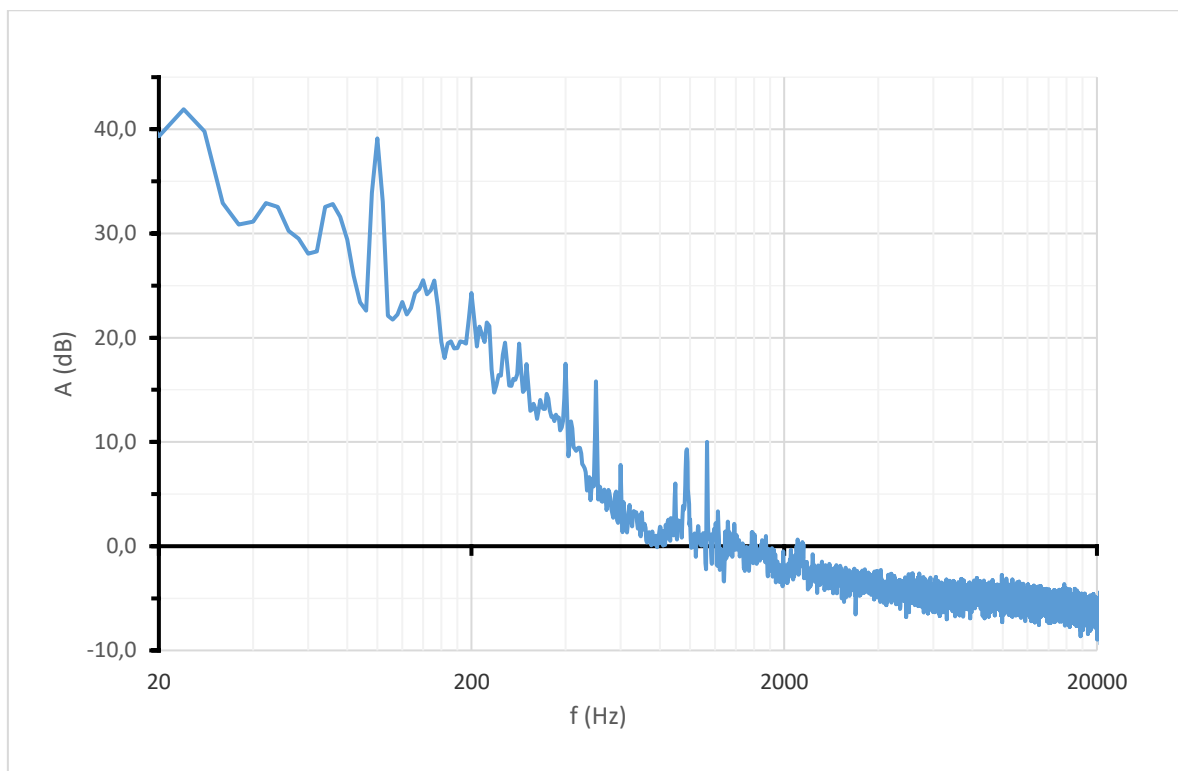


Graf 35: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý mid-range zavazadelník

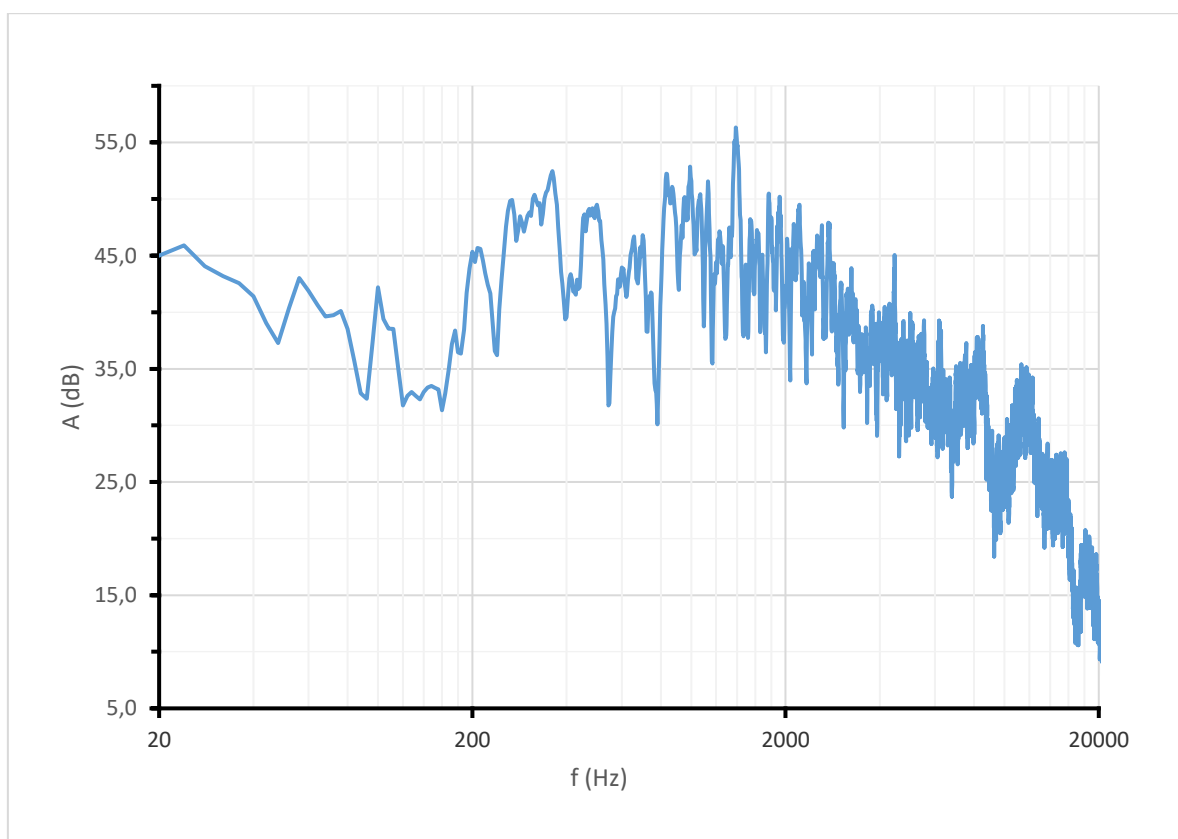


Graf 36: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý mid-range zavazadelník

**Příloha F – Měření samotné v zadní části – spolujezdec***Graf 37: ZMĚŘENÉ ŠUMOVÉ POZADÍ V AUTOMOBILU PŘI MĚŘENÍ**Graf 38: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý přední woofer*

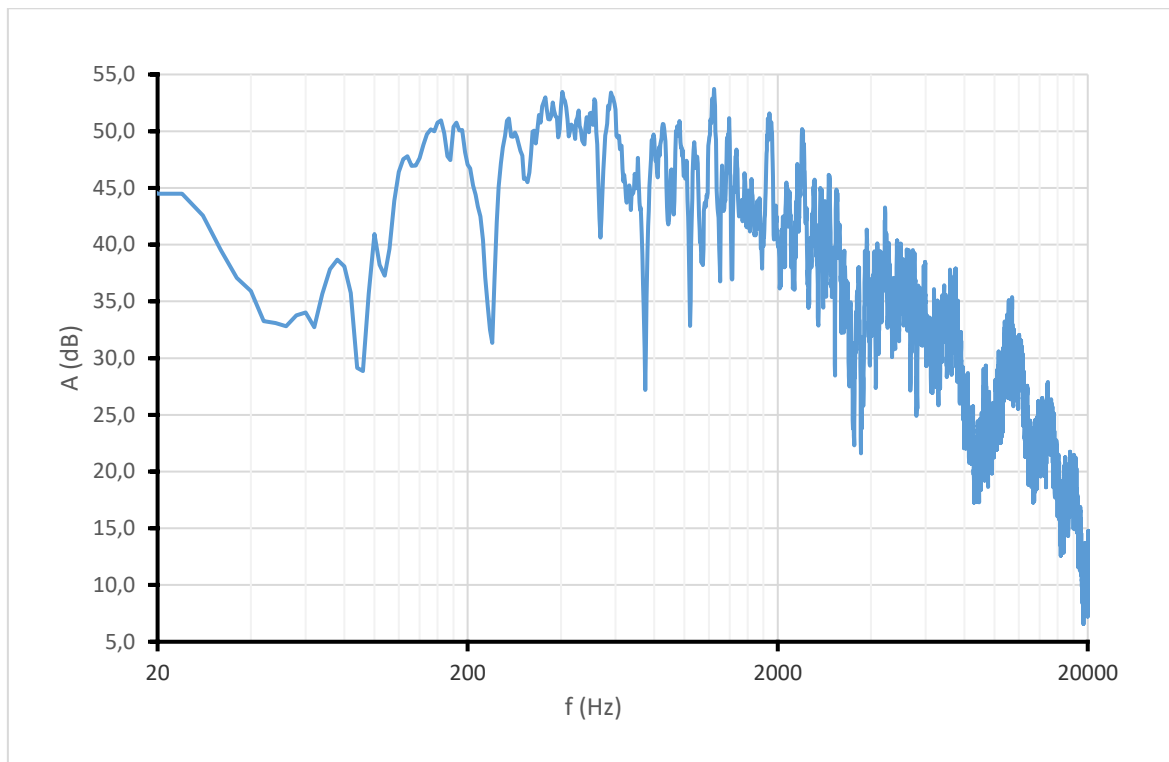


Graf 39: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý přední woofer

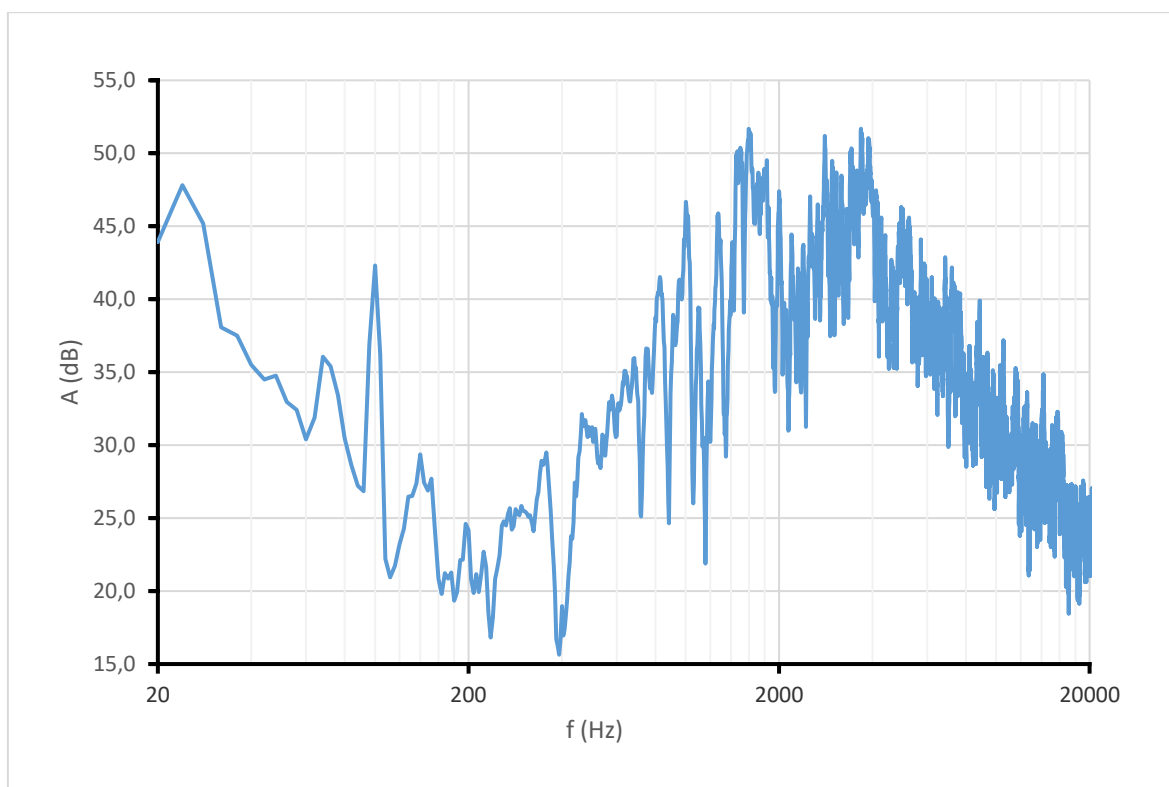


Graf 40: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý přední mid-range

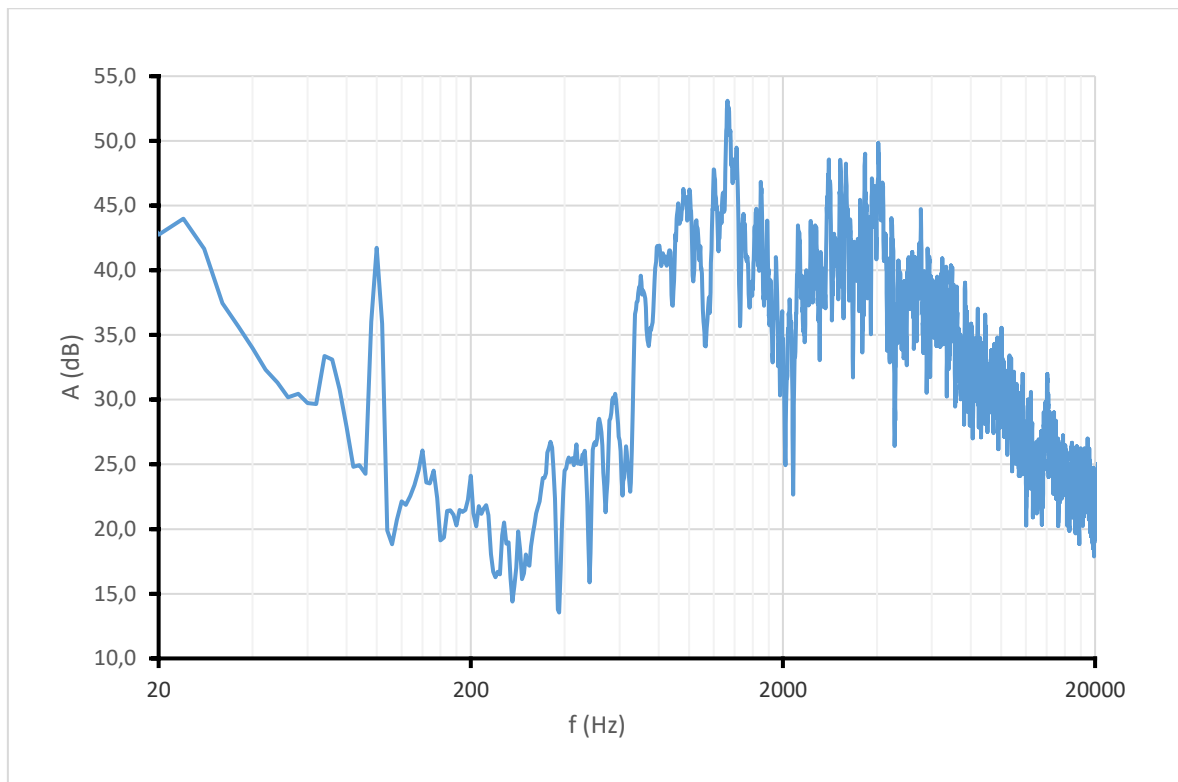




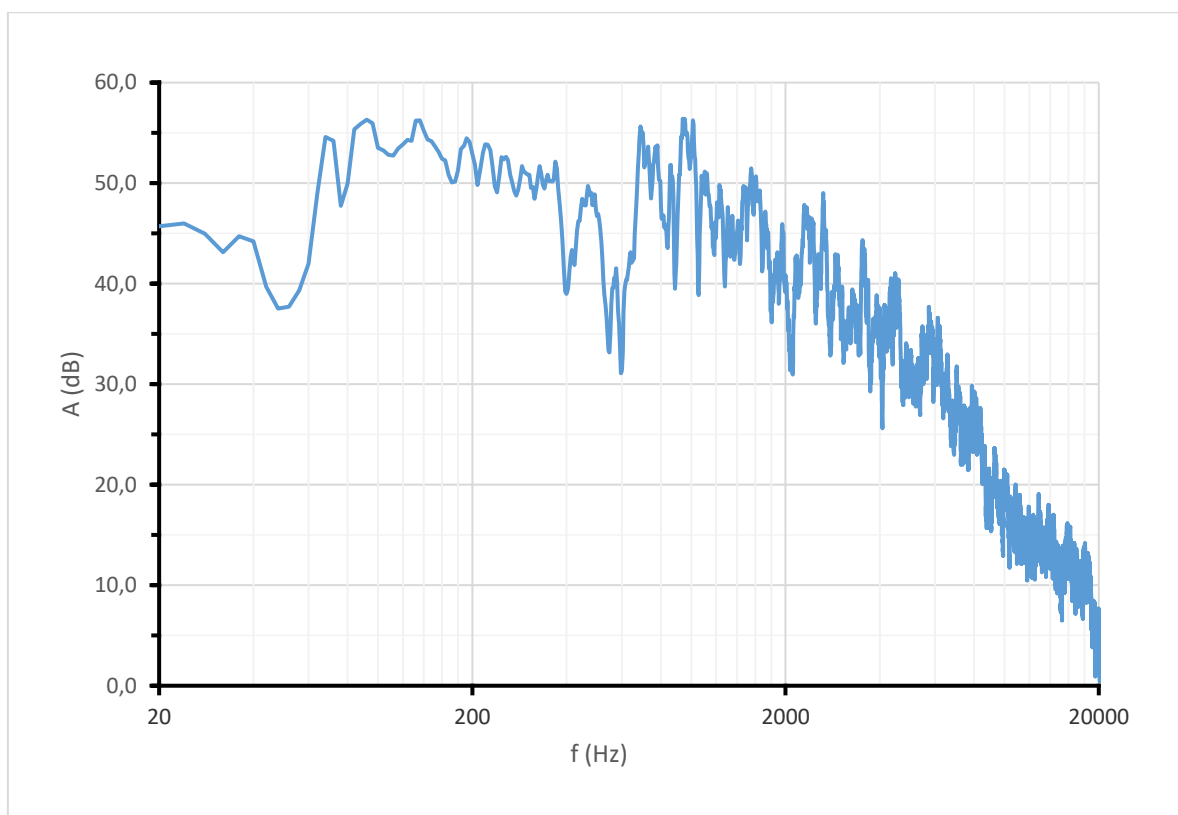
Graf 41: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý přední mid-range



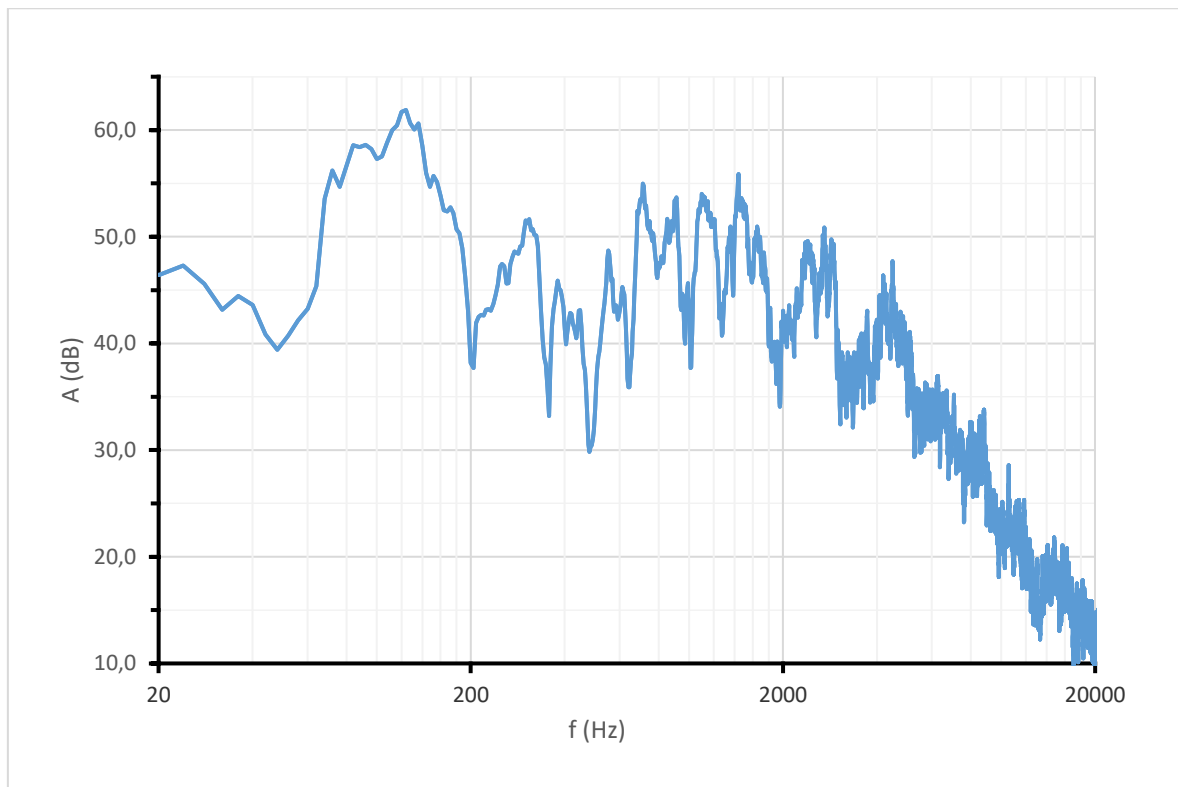
Graf 42: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý přední tweeter



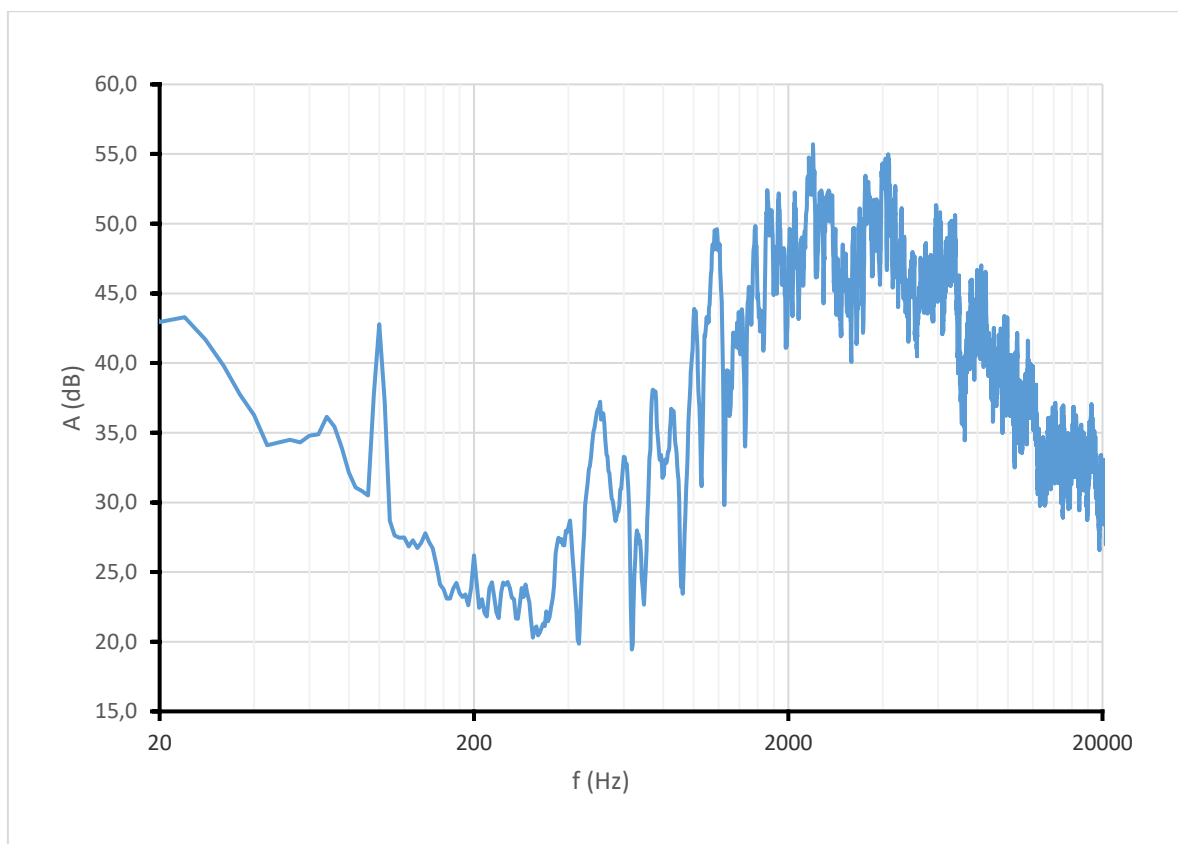
Graf 43: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý přední tweeter



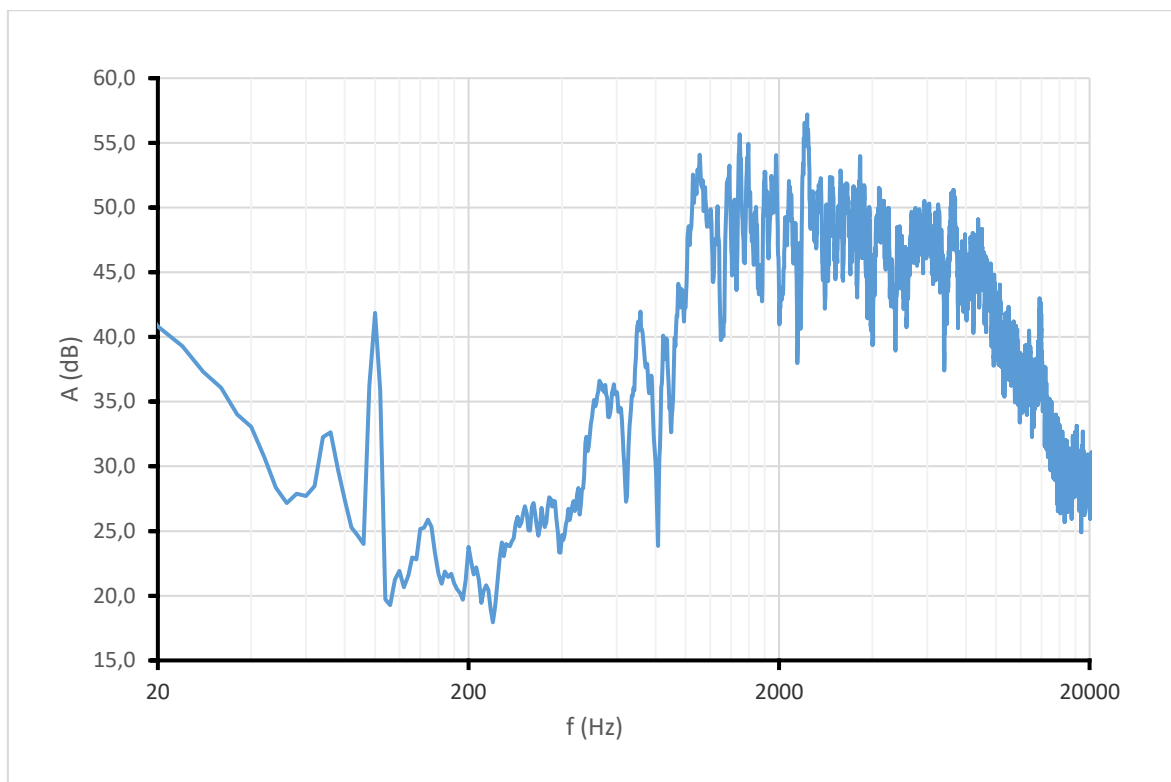
Graf 44: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý zadní woofer



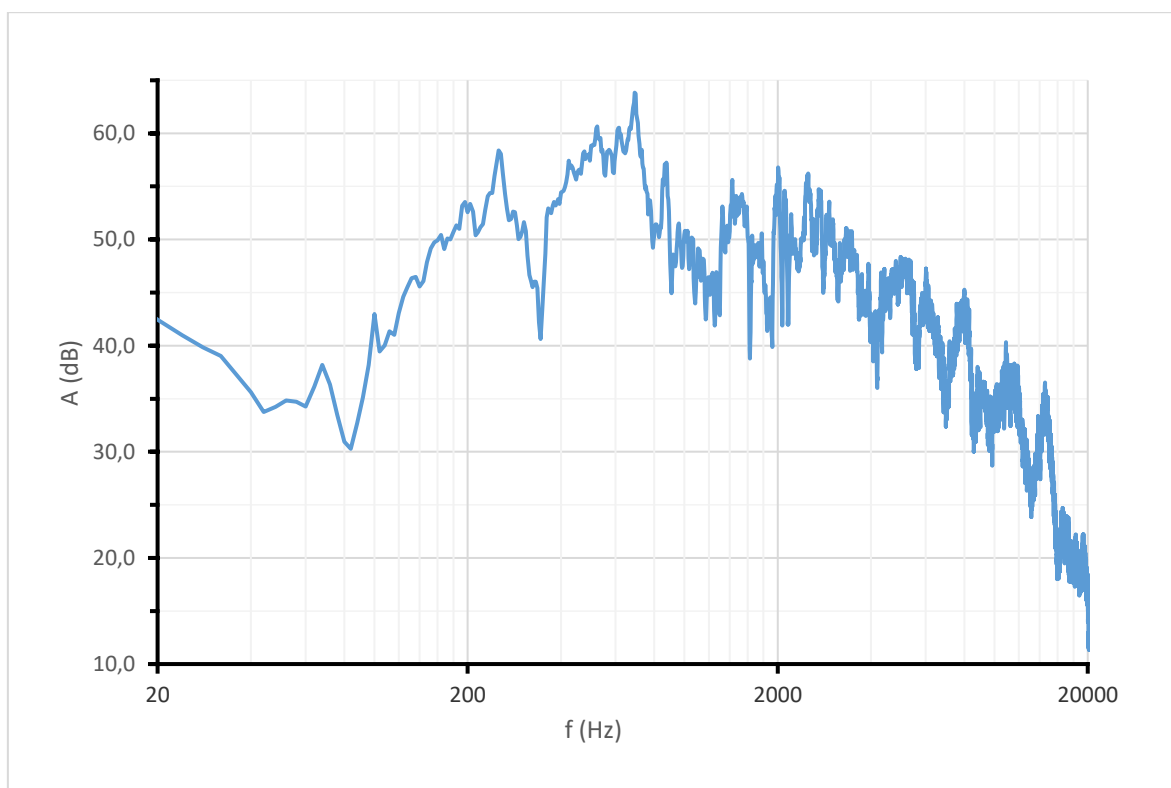
Graf 45: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý zadní woofer



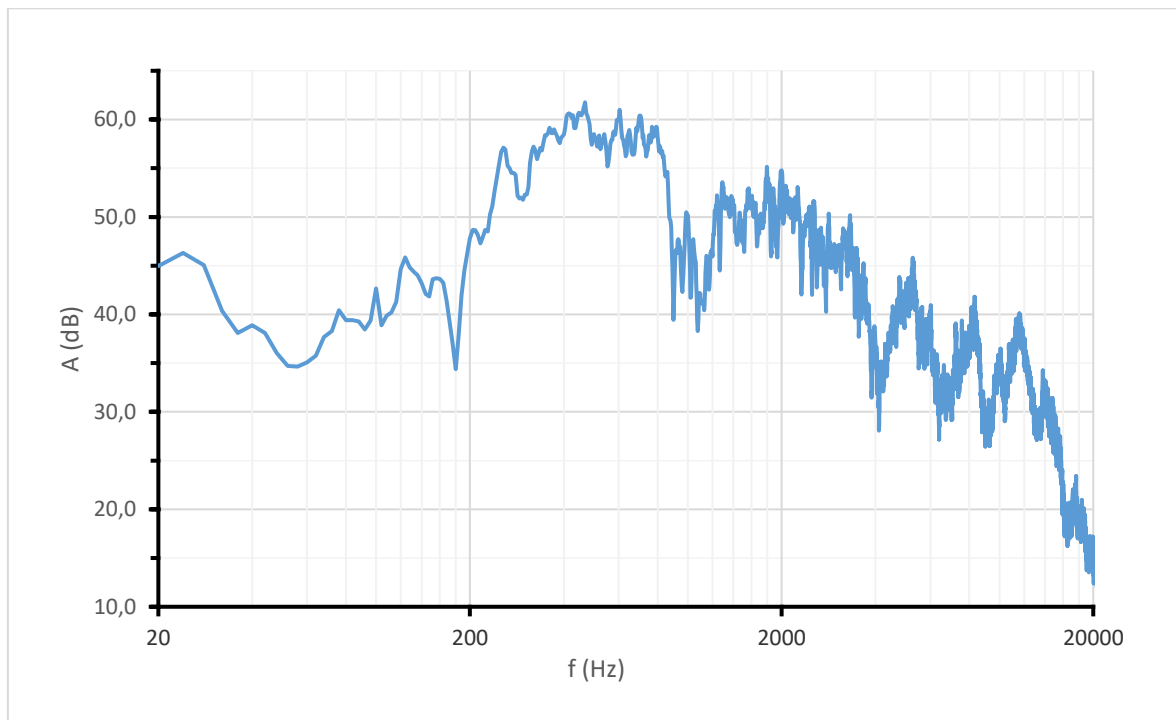
Graf 46: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý zadní tweeter



Graf 47: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý zadní tweeter

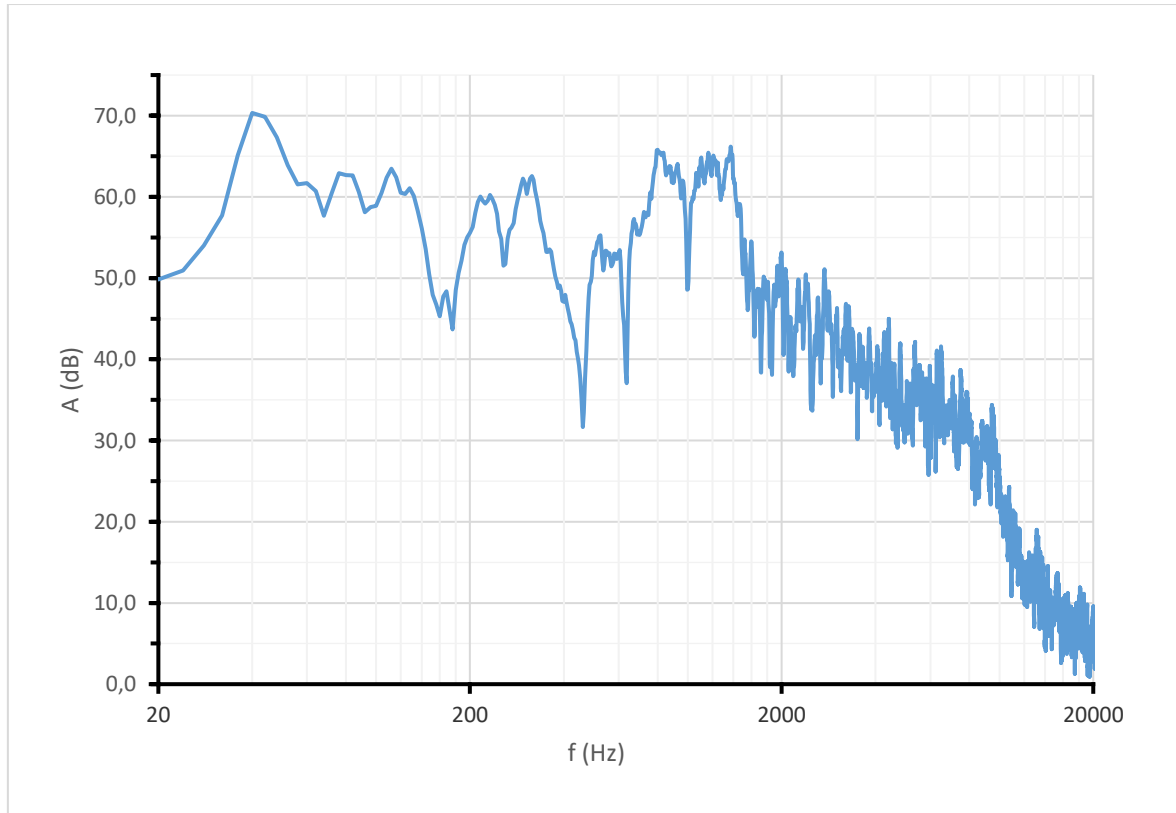


Graf 48: Amplitudová frekvenční charakteristika – levý mid-range zavazadelník

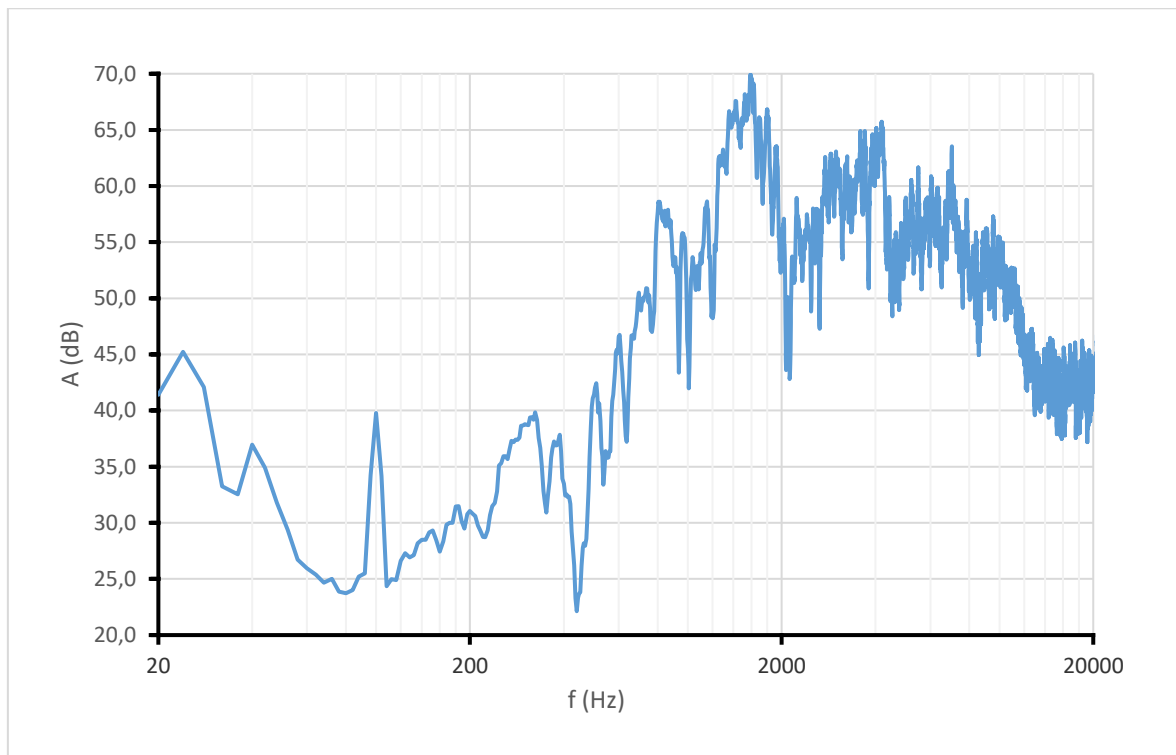


Graf 49: Amplitudová frekvenční charakteristika – pravý mid-range zavazadelník

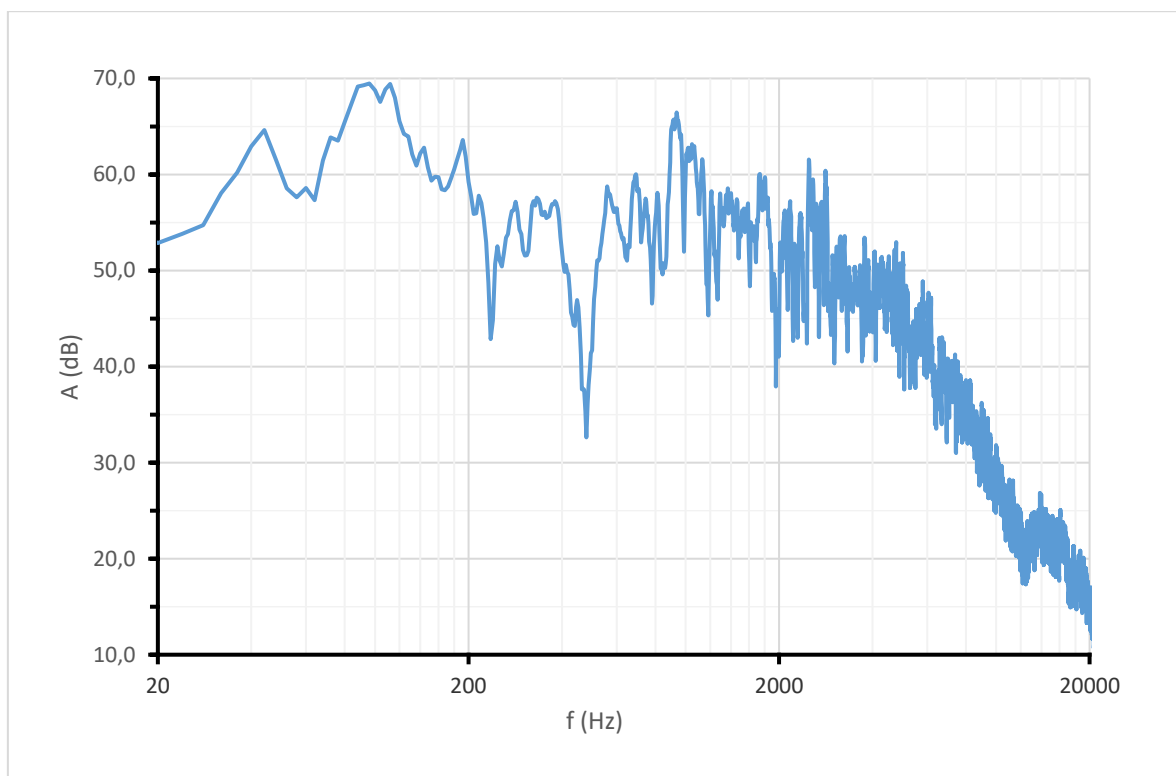
### Příloha G – Měření společně levá a pravá strana – řidič



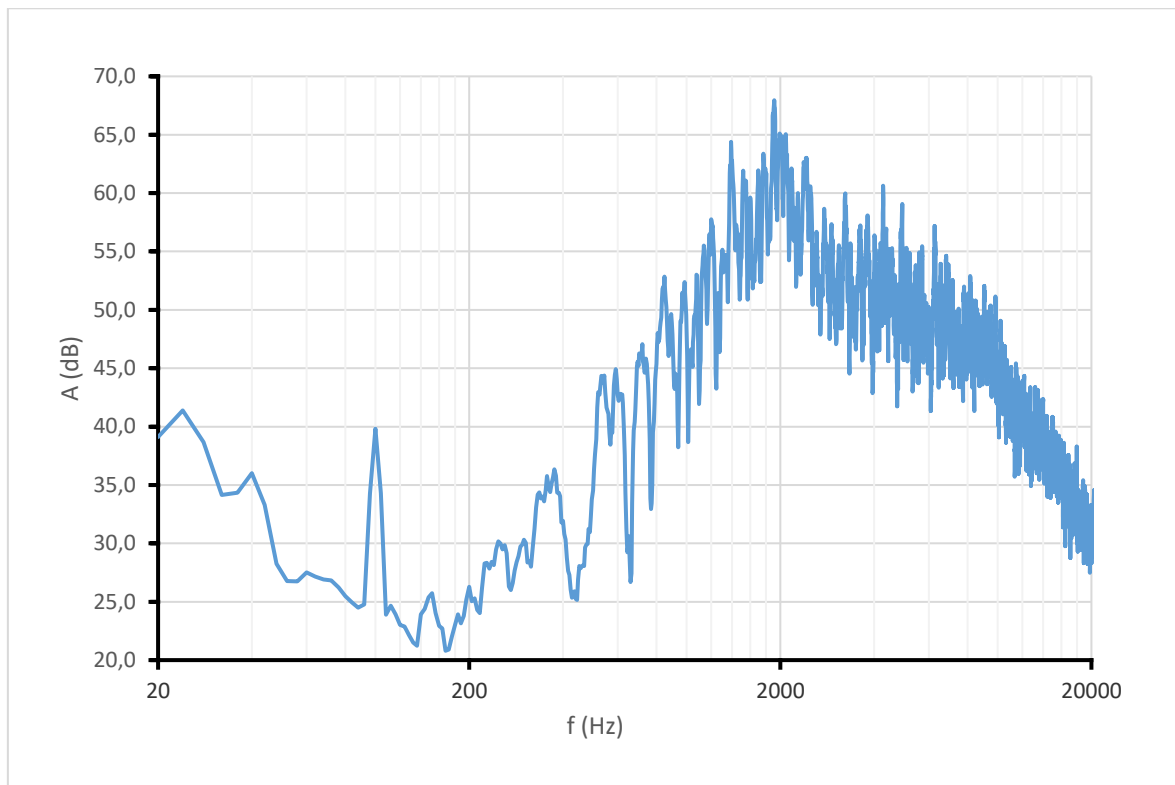
Graf 50: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední woofery



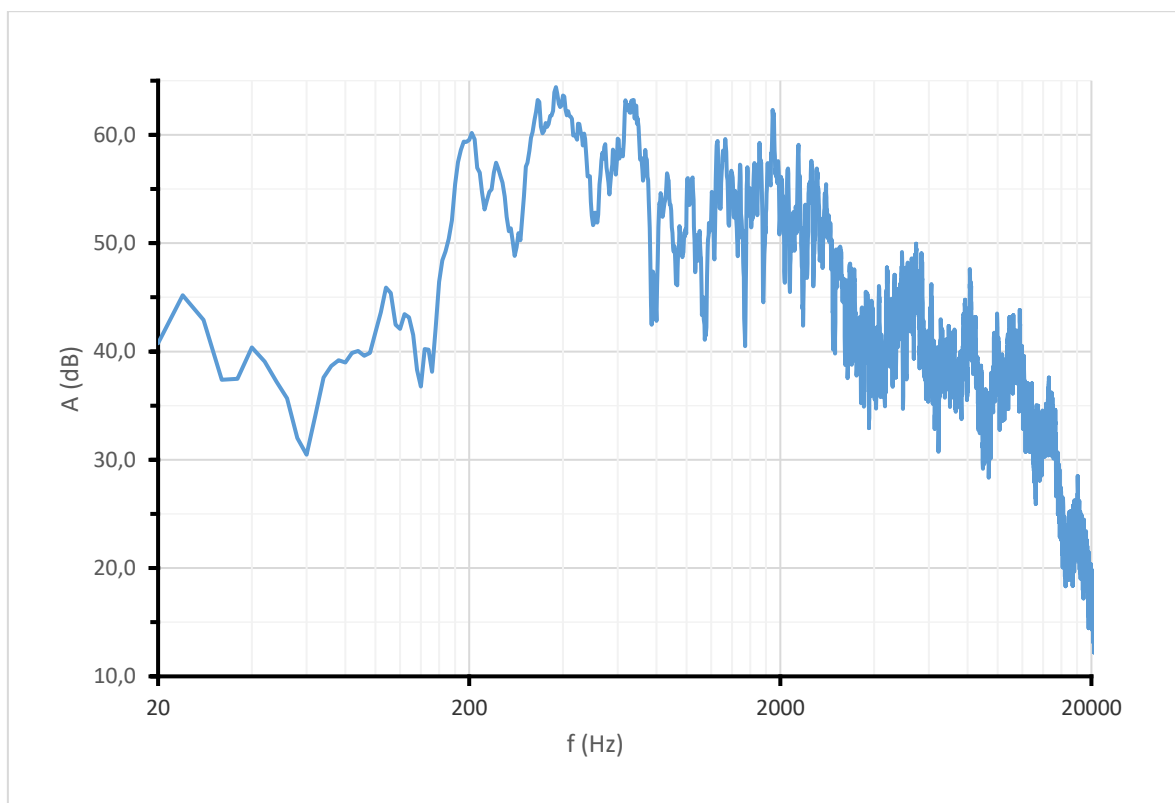
Graf 51: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední tweetery



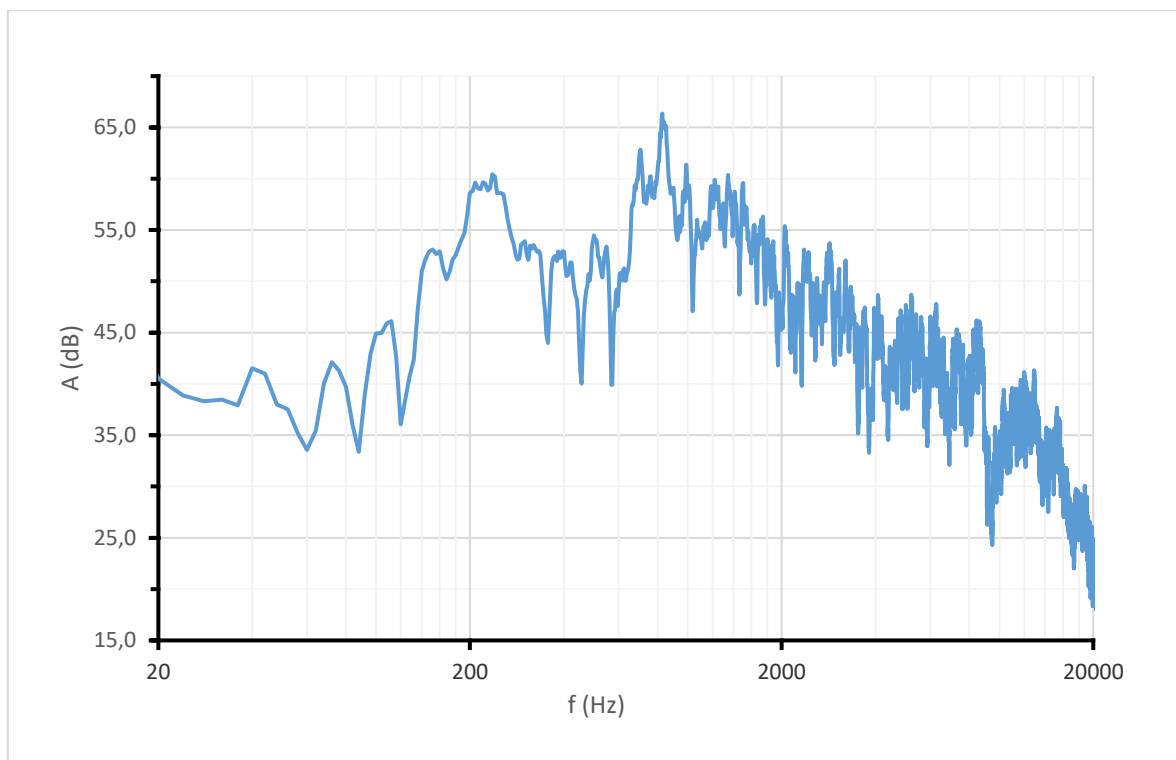
Graf 52: Amplitudová frekvenční charakteristika – zadní woofery



Graf 53: Amplitudová frekvenční charakteristika – zadní tweetery

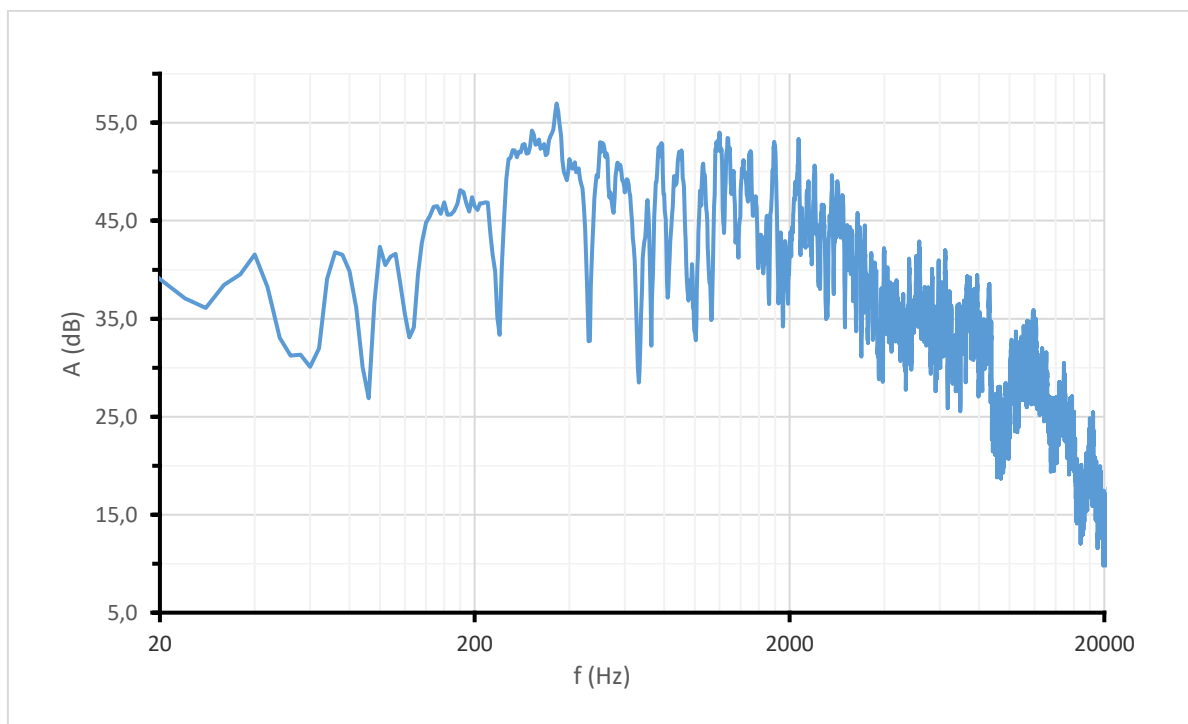


Graf 54: Amplitudová frekvenční charakteristika – mid-range v zavazadelníku



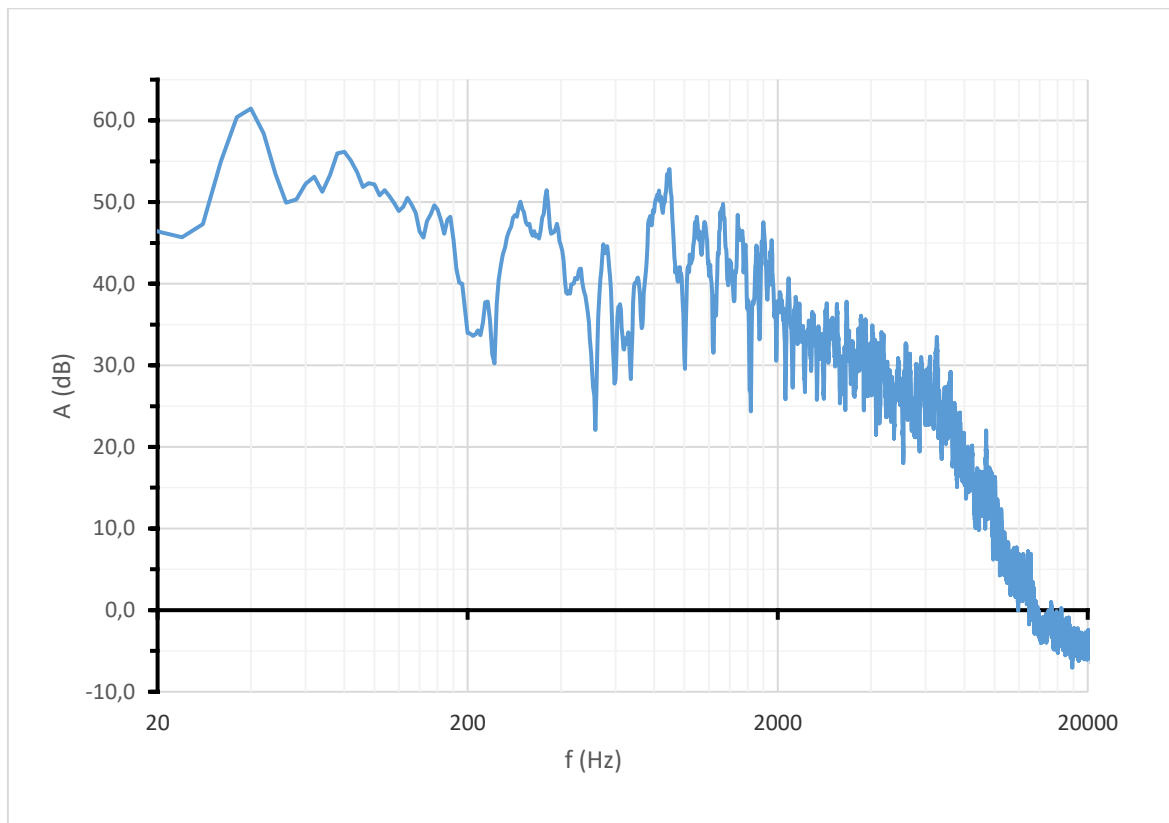
Graf 55: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední mid-range

## Příloha H – Měření společně pravá a levá strana v zadní části spolujezdec

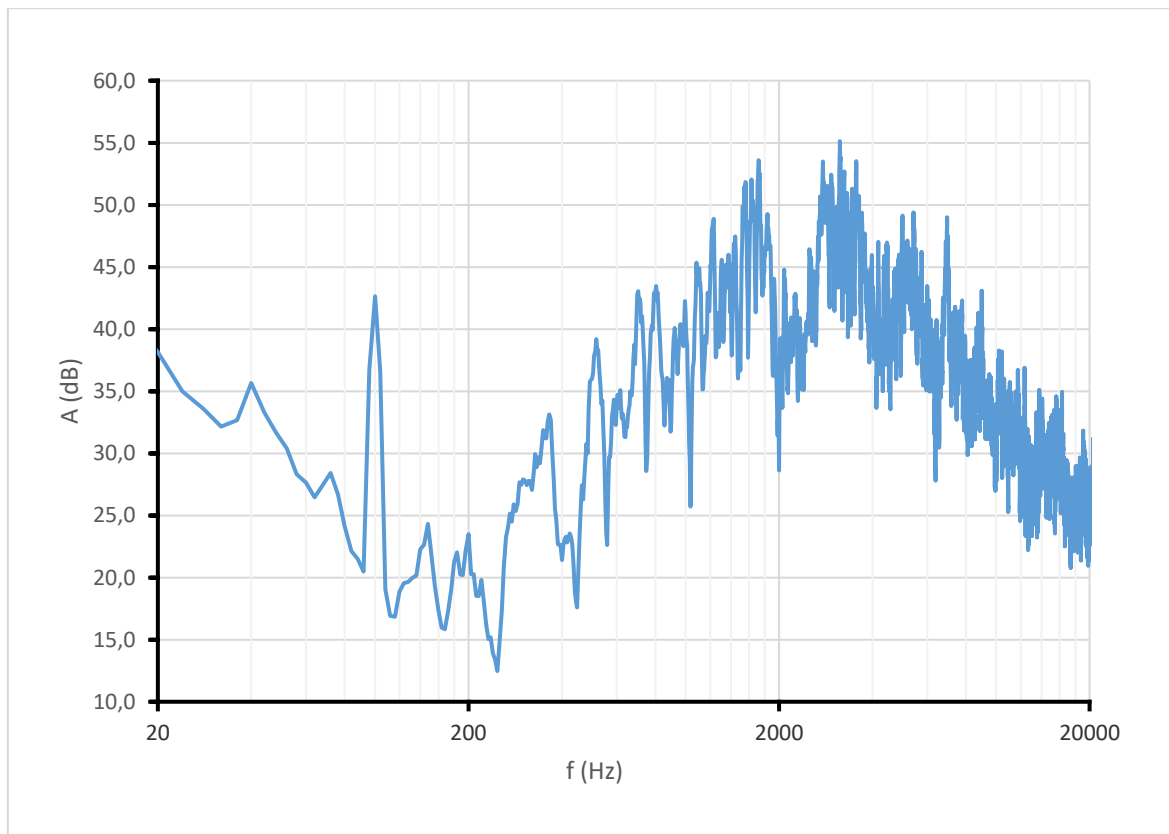


Graf 56: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední mid-range

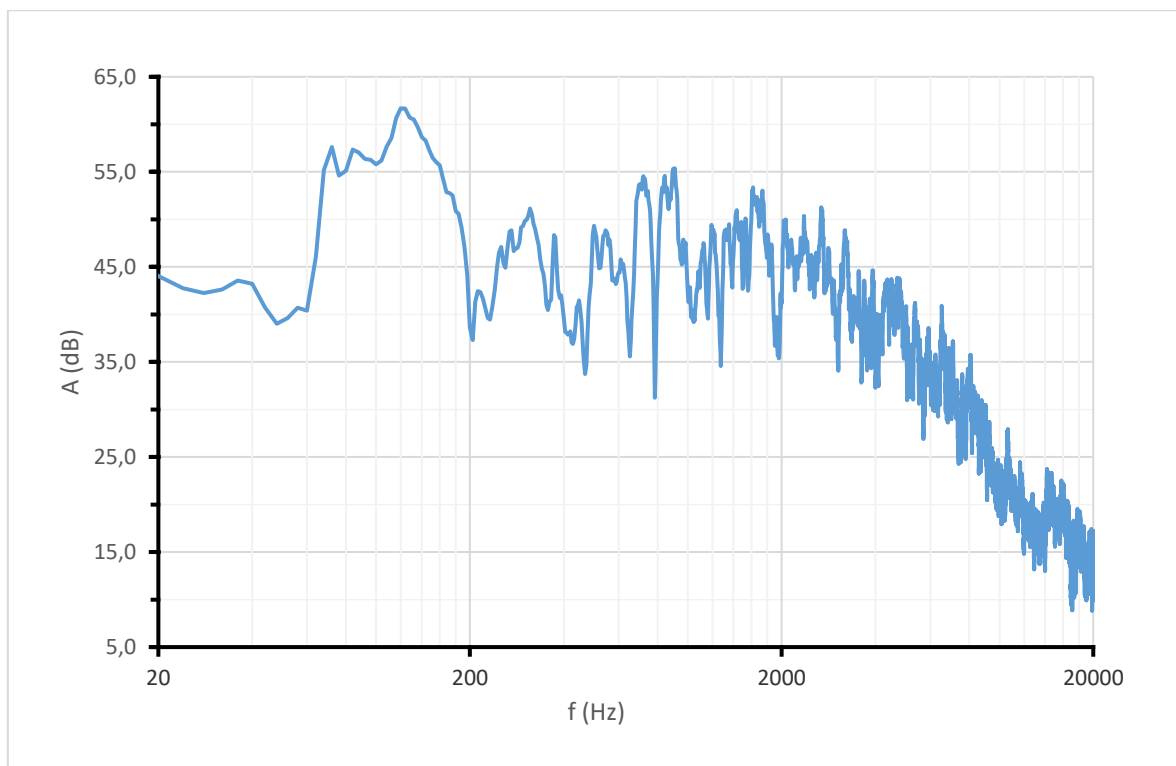




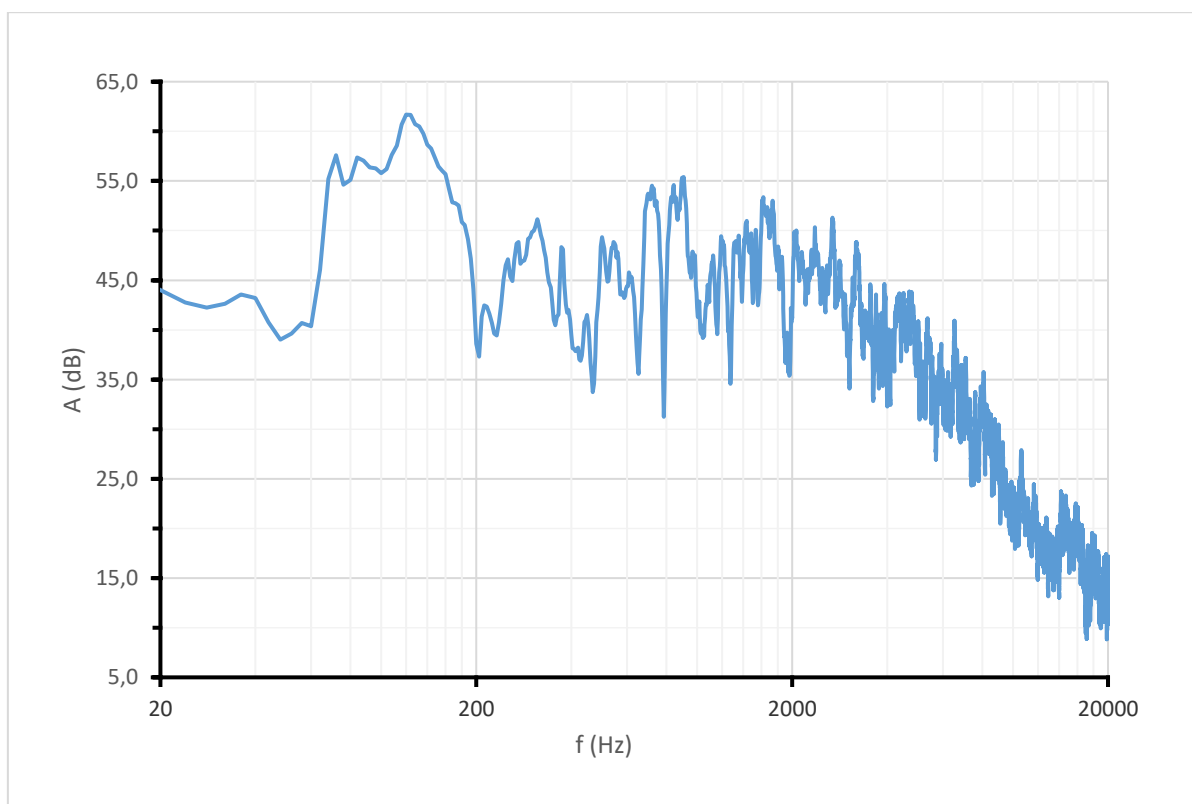
Graf 57: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední woofery



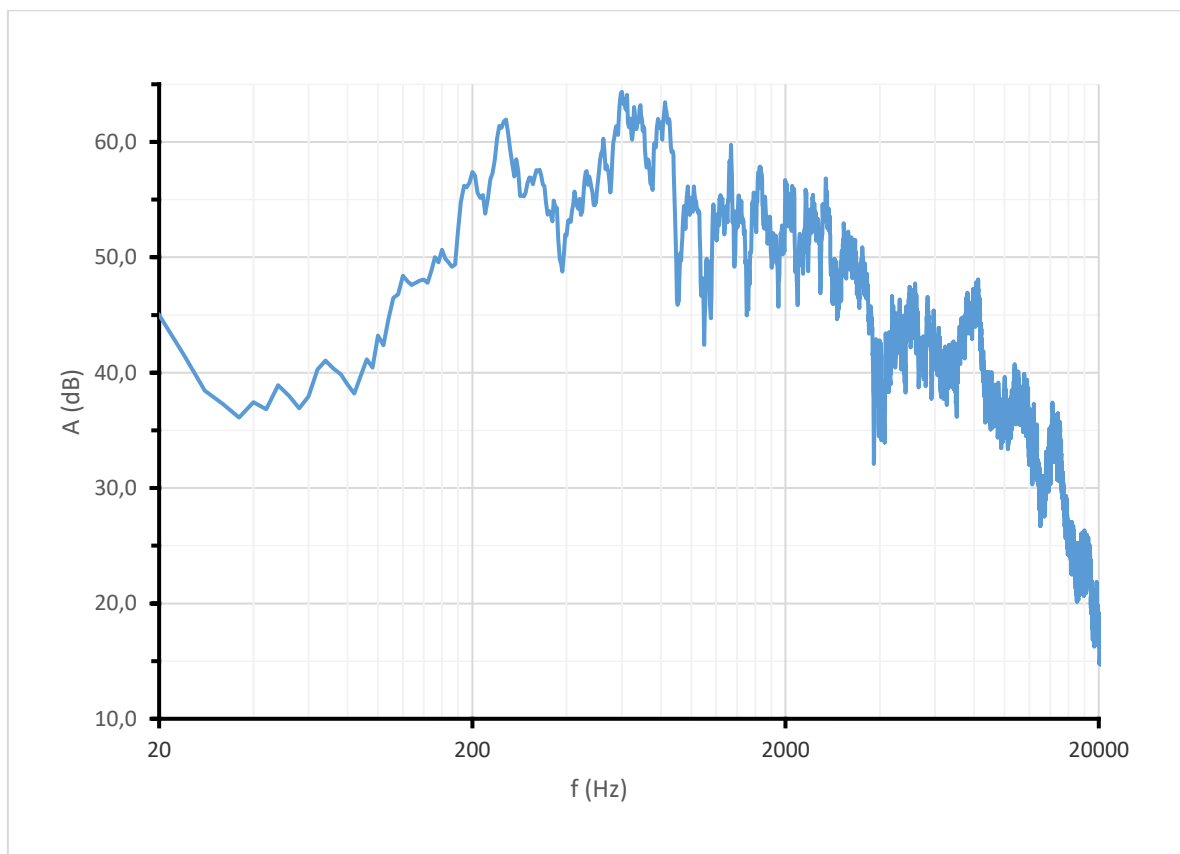
Graf 58: Amplitudová frekvenční charakteristika – přední tweetery



Graf 59: Amplitudová frekvenční charakteristika – zadní woofery



Graf 60: Amplitudová frekvenční charakteristika – zadní tweetery



Graf 61: Amplitudová frekvenční charakteristika – mid-range v zavazadelníku