

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Realizace vícekanálového ozvučení automobilu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David ELIŠÁK**  
Osobní číslo: **E13B0448P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Realizace vícekanálového ozvučení automobilu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Prostudujte současné řešení vícekanálového ozvučení dostupného automobilu.
2. Navrhněte nové zapojení vícekanálového zvuku v dostupném automobilu s důrazem na variabilitu celého zapojení.
3. Realizujte propojení v dostupném automobilu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné 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**


Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Tématem předložené práce je realizace vícekanálového ozvučení v automobilu. Cíli této práce jsou prostudování, návrh a realizace audio systému v dostupném automobilu.

První část obsahuje teoretické informace o jednotlivých pasážích, které se týkají systému ozvučení v automobilu. Je zde uvedena problematika šíření zvuku v interiéru vozu a popis komponentů tvořících audio systém. V praktické části je řešeno ozvučení v dostupném automobilu s ukázkami na fotografiích.

## **Klíčová slova**

Interiér automobilu, zdroje audio signálu, zesilovače, vodiče a konektory, reproduktory, napájecí zdroje, realizace ozvučení.

## **Abstract**

The subject of this bachelor thesis is implementation multi-channel sound system in car. The intentions of this thesis are analysis, design and realization of audio system in available car.

Theoretical automotive sound system information is contained in first part. The problems of sound propagation in vehicle's interior and description of components which create audio system are explained in this theoretical part. The sound system in available car is described in next practical part with sample pictures.

## **Key words**

Car interior, audio signal sources, amplifiers, wires and connectors, loudspeakers, power sources, sound system realization.

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 1.6.2016

David Elišák

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Ing. Ladislavu Zuzjakovi za odborné vedení práce a cenné informace poskytnuté při jejím zpracování.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TEORIE A ZÁSADY TVORBY OZVUČENÍ V AUTOMOBILU</b> .....	<b>11</b>
<b>2 INTERIÉR AUTOMOBILU</b> .....	<b>11</b>
2.1 ODRAZ.....	11
2.2 REZONANCE A VIBRACE.....	11
2.3 STOJATÉ VLNĚNÍ.....	12
2.4 VZDÁLENOST ZDROJE ZVUKU.....	12
<b>3 KOMPONENTY AUDIO SYSTÉMU</b> .....	<b>13</b>
3.1 NAPÁJECÍ ZDROJE.....	13
3.1.1 Kapacitor.....	13
3.1.2 Jištění v sériovém automobilu.....	14
3.2 ZDROJE AUDIO SIGNÁLU.....	15
3.3 REPRODUKTORY.....	15
3.3.1 Parametry reproduktorů.....	16
3.4 VODIČE.....	19
3.4.1 Dimenzování průřezu vodiče.....	21
3.4.2 Značení automobilových vodičů.....	22
3.4.3 Kroucené vodiče.....	22
3.5 ZESILOVAČE.....	24
3.5.1 DSP.....	25
<b>4 OZVUČENÍ V DOSTUPNÉM AUTOMOBILU</b> .....	<b>26</b>
4.1 VÝBĚR VODIČŮ A JEJICH ZAPOJENÍ.....	26
4.2 ZAPOJENÍ AUDIO SYSTÉMU V DOSTUPNÉM AUTOMOBILU.....	27
4.2.1 Reprodukory předních dveří.....	27
4.2.2 Reprodukory zadních dveří.....	29
4.2.3 Středový reproduktor v palubní desce.....	30
4.2.4 Výškový reproduktor v panelu zavazadlového prostoru.....	31
4.2.5 Subwoofer.....	32
4.2.6 Zesilovač.....	33
4.3 NÁVRH ZAPOJENÍ PRO BUDOUCÍ REALIZACE.....	34
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>36</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Úvod

Tématem předložené práce je vícekanálové ozvučení automobilu. Spolu s rozrůstajícím se automobilovým průmyslem roste zájem o sofistikovanější vybavení vozů, do kterého se řadí i ozvučení v automobilech. Trendem dnešní doby je spojit nutné věci, jako je cestování autem, s věcmi příjemnými, jako kvalitní poslech hudby.

Cílem práce je prostudování, návrh a realizace audio systému v dostupném automobilu Škoda Superb Combi II, s vysvětlením a popisem jednotlivých částí, které se týkají systému ozvučení. Práce má dvě pomyslné části, část teoretickou a praktickou. Ty jsou rozděleny do několika kapitol pojednávajících o skutečnostech, které je potřeba brát v potaz při realizaci audio systému v automobilu.

První část práce pojednává obecně o využití ozvučení v automobilech. Následující kapitola seznamuje s problematikou a jevy vyskytujícími se při realizaci ozvučení v interiéru automobilu, který je z hlediska optimalizace velice komplikovaným prostorem. V další kapitole jsou popsány jednotlivé komponenty, které dohromady tvoří audio systém. Také je zde rozebrána a vysvětlena problematika typů, parametrů, značení a ostatních proměnných komponentů audio systému ve vozidle.

V závěrečné části práce je řešeno ozvučení v dostupném automobilu, kde jsou aplikovány teoretické informace z předešlých kapitol, které jsou pro názornost doloženy fotografiemi z vozu. Též je zde představen a vysvětlen další návrh ozvučení pro budoucí realizace.

## Seznam symbolů a zkratk

U .....	napětí [V]
I .....	proud [A]
$Q_{\text{kap}}$ .....	náboj kondenzátoru [C]
C .....	kapacita [F]
$U_{\text{max}}$ .....	maximální napětí [V]
$U_{\text{min}}$ .....	minimální napětí [V]
Z .....	impedance [ $\Omega$ ]
R .....	činný odpor [ $\Omega$ ]
X .....	reaktance [ $\Omega$ ]
P .....	výkon [W]
$U_{\text{ef}}$ .....	efektivní hodnota napětí [V]
$U_{\text{B}}$ .....	napětí automobilového akumulátoru [V]
$\Delta U_{\text{tranz}}$ .....	úbytek napětí na tranzistorech [V]
$\Delta U_{\text{ved}}$ .....	úbytek napětí na vodičích [V]
$f_{\text{s}}$ .....	rezonanční frekvence [Hz]
$c_{\text{ms}}$ .....	poddajnost kmitacího systému $\left[\frac{m}{N}\right]$
$m_{\text{ms}}$ .....	hmotnost kmitacího systému a sloupce vzduchu [kg]
$P_{\text{RMS}}$ .....	RMS výkon [W]
$\eta$ .....	účinnost [-]
EMC .....	elektromagnetická kompatibilita
DSP .....	digitální signálový procesor

# 1 Teorie a zásady tvorby ozvučení v automobilu

Ozvučení automobilu poskytuje zábavu či informace pro posádku. S vývojem elektroniky se změnil i způsob využití ozvučení. První systémy poskytovaly jen možnost poslechu AM rádia. Dnes už se audio systémy nevyužívají jen pro poslech, ale například pro navigaci, handsfree telekomunikaci, bezpečnost apod.

Ve většině automobilů je možné audio systém vylepšit či obecně upravit. S rozrůstajícím se automobilovým průmyslem též roste i zájem o kvalitnější ozvučení v automobilech, než které bývalo standardem. Audio systém v automobilu může být vytvořen mnoha způsoby v různých cenových a kvalitativních úrovních.

## 2 Interiér automobilu

Realizace ozvučení v interiéru automobilu je z hlediska optimalizace velice složitá. Svou roli zde hrají faktory jako např.: členitý vnitřní objem automobilu, různorodost použitých materiálů, nedostatek místa pro reproduktory atd. Cílem realizace kvalitního audio systému je tyto nedostatky obejít.

### 2.1 Odraz

Zvuk se odrazí, pokud narazí na objekt větší než  $\frac{1}{4}$  vlnové délky daného zvuku. Pokud je objekt roven nebo menší než  $\frac{1}{4}$  vlnové délky vzniká difrakce zvuku, kdy se vlny zakřívují kolem tohoto objektu. Zvukové pole v interiéru automobilu je složeno převážně z interference vln přímých a odražených od povrchů (sklo, přístrojová deska, koberce atd.). Při špatném návrhu systému odraz zvuku způsobí, že posluchač může slyšet zvuk z více zdrojů s časovým zpožděním, nebo může nastat tzv. „tuned tube“ či „in-the-box“ efekt, což je pocit způsobený nevhodným akustickým návrhem prostoru. [1] [2]

### 2.2 Rezonance a vibrace

Ideální případ při poslechu hudby je v prostředí, ve kterém nevznikají žádné vibrace materiálů při přítomnosti zvukových vln. Tohoto stavu je možno docílit pouze v místech přímo určených tomuto účelu, což interiér automobilu není. Akustický tlak způsobuje rezonance a vibrace materiálů a částí interiéru, které budou vydávat vlastní zvukové vlny.

Tento jev vzniká při všech frekvencích, ale při vyšších frekvencích se tento jev stává méně zřetelným. Při nevhodném návrhu a realizaci systému poté mohou rezonance a vibrace způsobovat vzájemné rušení chtěných i nechtěných zvukových vln nebo měnit tóny reproduktorů. [2] [3]

### 2.3 Stojaté vlnění

Stojaté vlnění vzniká vlivem superpozice opačně se šířících vln. Ale na rozdíl od běžného odrazu, popsaného v kapitole 2.1 v interiéru, kde se vlna šíří a odráží v objemném a členitém prostoru, tak stojaté vlnění vzniká především v prostoru za reproduktory, kde je prostor omezený. Výhradně vzniká, pokud prostor za reproduktorem tvoří se zdrojem zvuku rovnoběžné stěny. Nejjednodušším řešením, jak zabránit stojatému vlnění je: výroba prostorů za reproduktory v různých kuželovitých tvarech, konstrukce stěn za zdrojem zvuku v nerovnoběžné ploše nebo použití materiálů absorbujících vlnění. Pokud tento jev není při realizaci ozvučení ohlídán, tak může dojít ke vzniku nechtěných jevů zkreslujících zvuk. [1] [3]

### 2.4 Vzdálenost zdroje zvuku

V ideálním případě bychom nejlepšími výsledky dosáhli, pokud by byly všechny reproduktory stejně daleko od posluchače. V automobilu je ale tato situace nerealizovatelná z důvodu, že v běžném vozidle nesedí posluchač ve středu. Nerovnoměrnost vzdáleností vytváří špatný prostorový dojem a ovlivňuje charakteristiky zvuku (vysoké, hluboké, střední tóny atd.). Největší podíl na vnímání umístění zdroje zvuku mají frekvence od 150 Hz až po 2 KHz. Tímto jsou z hlediska vnímání zdroje zvuku nejdůležitější reproduktory hrající středobasové a střední frekvenční pásmo. Basové frekvence pod 100 Hz už posluchač nevnímá prostorově, a tudíž na tyto reproduktory není kladen zvláštní nárok pro rozmístění. Výškové reproduktory by měly splňovat ideálně stejné požadavky na rozmístění jako reproduktory pro střední tóny, protože se podílejí na utváření prostorového dojmu zvuku. [2] [3]

## 3 Komponenty audio systému

Jednotlivé komponenty jsou stavebními prvky pro ozvučení v automobilu. Existuje nespočetné množství součástek, které se dají použít při realizaci ozvučení, ale těmi nejzákladnějšími, které ozvučení ovlivňují nejvíce, jsou:

- *Zdroje audio signálu*
- *Zesilovače*
- *Vodiče a konektory*
- *Reproduktory*
- *Napájecí zdroje*

### 3.1 Napájecí zdroje

V automobilu je zdrojem napájení všech elektrických součástek akumulátor neboli autobaterie. Jmenovité napětí autobaterie je 12 V. Napětí akumulátoru kolísá v řádech jednotek voltů vlivem stavu vybití, proudového odběru atd. Baterie je napájena alternátorem za provozu vozidla.

Autobaterie se od sebe mohou lišit konstrukcí, kapacitou a maximálním proudovým odběrem. Autobaterie poskytuje dostatečně kvalitní napájení pro běžná autorádia a zesilovače. [4]

#### 3.1.1 Kapacitor

Kapacitor je elektrický kondenzátor. Je určen pro vylepšení napájení systému tak, že se zařazuje do obvodu paralelně za automobilovou baterii před napájené zařízení, nejčastěji zesilovač. Má za úkol vyrovnávat případné poklesy napětí baterie a dodávat proud. Jedná se však o přeceňovaný komponent, který z fyzikálního hlediska není schopen fungovat dle popisů udávaných výrobcí a prodejci. Průměrná kapacita kondenzátorů pro tento typ použití v automobilech je  $C=1$  F. Náboj  $Q_{\text{kap}}$  kondenzátoru o této kapacitě činí 10 C (dle vztahu 3.1). Baterie o velikosti náboje 10 C by měla kapacitu 2,78 mAh, což je zanedbatelná hodnota proti kapacitě autobaterie, která se pohybuje v desítkách Ah.

$$Q_{kap} = C \times \Delta U = 1 \times 10 = 10 C \quad (3.1)$$

$$\Delta U = U_{max} - U_{min} = 14 - 4 = 10 V$$

kde:  $Q_{kap}$  ... náboj kondenzátoru [C]  
 $C$  ... kapacita kondenzátoru [F]  
 $\Delta U$  ... rozdíl maximálního a minimálního napětí [V]  
 $U_{max}$  ... maximální napětí autobaterie [V]  
 $U_{min}$  ... minimální napětí, při kterém ještě funguje zesilovač [V]

### 3.1.2 Jištění v sériovém automobilu

Pojistky jsou nezbytnou součástí elektrických systémů v automobilu, včetně systému ozvučení. Pojistky slouží jako ochranný prvek. V prvním případě slouží jako ochrana napájených zařízení před poškozením v případě nadproudu nebo přepětí. V druhém případě slouží jako ochrana proti poškození akumulátoru v případě zkratu v napájeném systému. [4]

V případě audio systému se pojistka umísťuje co nejbližší k baterii sériově na kladný vodič. Provedení tohoto zapojení může být různé, např.: přímé sériové pájení s napájecím vodičem nebo speciální pojistková pouzdra. Dle druhu zapojení je možné použít více typů pojistek. [4]

Nejvíce používaným typem pojistky v automobilovém průmyslu je pojistka nožová. Ta se vyrábí v několika fyzických rozměrech, viz tab. 3.I či příloha A.

Tab. 3.I Druhy nožových pojistek

Název	Označení	Rozměry (D × Š × V) [mm]	Hodnota pojistky [A]
Micro2	APT, ATR	9,1 × 3,8 × 15,3	5 – 30
Micro3	ATL	14,4 × 4,2 × 18,1	5 – 15
Nízko-profilová mini	APS, ATT	10,9 × 3,81 × 8,73	2 – 30
Mini	APM, ATM	10,9 × 3,6 × 16,3	2 – 30
Standardní	APR, ATC, ATO, ATS	19,1 × 5,1 × 18,5	0,5 – 40
Maxi	APX	29,2 × 8,5 × 34,3	20 – 120

Zdroj: vlastní zpracování, 2016 dle [21]

Pojistky se vyrábějí v normovaných řadách. Pojistka pro daný systém musí být řádně dimenzována podle maximálního dlouhodobého odběru proudu daného napájeného

zařízení. Je třeba brát v potaz, že některé přístroje mají při zapnutí větší proudový odběr, než při běžném provozu. [4]

### 3.2 Zdroje audio signálu

Autorádio je jednou z hlavních částí ozvučení. Primárně funguje jako zdroj zvukového signálu a nabízí kontrolu nad funkcemi daného zařízení, jako jsou: AM/FM/DAB rádio, přehrávač přenosných médií, GPS navigace, handsfree komunikace atd. Většina nových autorádií nabízí též kontrolu nad specifitějšími funkcemi, které upravují reprodukci zvuku jako např.: hlasitost, vyvážení reproduktorů, nastavení nízkých a vysokých frekvencí (basů a výšek), ekvalizér. V nových automobilech středních a vyšších tříd bývá standardem integrování dalších funkcí do autorádia, které nemají za úkol ovlivňovat vlastnosti ozvučení, ale dávají možnost zobrazování a nastavování ostatních vlastností automobilu, které ovlivňují např. jízdní vlastnosti, bezpečnost posádky atd. [5]

Velikost autorádia je standardizována a definuje ji ISO 7736. Nejběžnějšími rozměry jsou 180x50 mm označována jako Single DIN a 180x100 označována jako 2 DIN nebo Double DIN. [5] [6]

Zapojení autorádia do elektrického systému automobilu pomocí konektorů definuje ISO 10487. Konektor se typicky skládá ze čtyř různých částí. Části pro napájení, připojení reproduktorů, připojení dalších zařízení (externí zesilovač, dálkové ovládání, měnič CD) a pro satelitní navigační systémy. ISO 10487 definuje pouze fyzické vlastnosti konektorů, kdežto jednotlivé značení pinů a signálových výstupů si vytváří výrobce. [7]

### 3.3 Reproduktory

Reproduktor je zařízení, které přeměňuje elektrický signál na akustický, a proto ho též nazýváme elektroakustický měnič. Přeměna elektrického signálu v akustický má však jeden mezikrok a tím je přeměna elektrického signálu na mechanický pohyb membrány reproduktoru, který vyvolá akustický tlak. [8] [9]

V automobilovém průmyslu je nejčastější elektrodynamický reproduktor. Ten funguje na principu vzájemného působení dvou magnetických polí. Hlavní částí elektrodynamického měniče je trvalý magnet a cívka. Proud procházející cívkou indukuje

jedno magnetické pole, které se sčítá nebo odečítá s druhým magnetickým polem trvalého magnetu a tím dochází k silovému působení na cívku, která je spojena s membránou. Membrána se s pohybem cívky rozechvěje a vytvoří zvukové vlny. [9]

### 3.3.1 Parametry reproduktorů

Reproduktory jsou specifikovány několika parametry, které určují druh reproduktoru, jeho kvalitu, vhodné použití apod. Základními parametry ovlivňujícími akustický projev reproduktoru jsou: rozměry, citlivost, výkon, frekvenční charakteristika, materiál. V automobilovém průmyslu jsou sledovány ještě další specifické parametry jako: mechanická odolnost (crashtesty), odolnost proti prostředí v podobě UV záření, působení soli, vody, vlhkosti, teplotních podmínek.

- **Výkon**

Krátkodobý maximální příkon je definován jako: „Elektrický výkon odpovídající krátkodobému maximálnímu vstupnímu napětí.“ Krátkodobé maximální napětí je takové, které může reproduktor či soustava zpracovat po dobu 1 sekundy, při šumovém signálu simulujícím normální programovaný materiál aniž by došlo k trvalému poškození. [19]

Dalším sledovaným výkonem je dlouhodobý maximální příkon, který odpovídá dlouhodobému maximálnímu vstupnímu napětí. Dlouhodobé maximální napětí je: „Maximální napětí, které reproduktor nebo reproduktorová soustava může zpracovat, aniž by došlo k trvalému poškození, po dobu 1 minuty, při šumovém signálu simulujícím normální programovaný materiál.“ [19]

Třetím sledovaným výkonem je jmenovitý sinusový příkon. Ten je udán jmenovitým sinusovým napětím, které je definováno jako: „Výrobce udávané napětí trvalého sinusového signálu ve jmenovitém kmitočtovém rozsahu, které je reproduktor schopen trvale zpracovávat, aniž by došlo k jeho teplotnímu nebo mechanickému poškození.“ [19]

Posledním výkonem je jmenovitý šumový příkon, jenž je definován jmenovitým šumovým napětím, což je: „Výrobce udané napětí šumového signálu v mezích jmenovitého kmitočtového rozsahu, které je reproduktor schopen trvale zpracovávat, aniž



by došlo k jeho tepelnému nebo mechanickému poškození.“ Jmenovitý šumový příkon může být nazýván též jako výkonová kapacita. [19]

- **Citlivost**

Charakteristická citlivost je veličina popsána jako: „Akustický tlak v udaném pásmu kmitočtů, vztažený ke vstupnímu výkonu 1 W ve vzdálenosti 1 m na referenční ose.“ Citlivost je logaritmická veličina udávaná v dB, tudíž zvýšení citlivosti o 3 dB bude znamenat zvýšení akustického tlaku o dvojnásobek. V praxi to znamená, že reproduktor o např. citlivosti 93 dB bude potřebovat poloviční dodaný příkon, aby vytvořil stejný akustický tlak jako reproduktor s citlivostí 90 dB. [10] [19]

- **Impedance**

Impedance reproduktoru je frekvenčně závislá, tudíž hodnota impedance se mění s frekvencí. Avšak výrobci a prodejci automobilových reproduktorů udávají jako impedanci pouze hodnotu nominální impedance. Jedná se o absolutní hodnotu čísla dle vztahu:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (3.2)$$

kde:  
Z ... impedance [ $\Omega$ ]  
R ... činný odpor [ $\Omega$ ]  
X ... reaktance [ $\Omega$ ]

Ta udává nejmenší možnou nominální mez impedance za rezonancí reproduktoru na impedanční křivce. V automobilovém ozvučení se používají reproduktory s impedancemi od 2  $\Omega$  až 8  $\Omega$ . Nevýhodou reproduktorů s nižší impedancí jsou vyšší proudy ve vodičích a tudíž je zapotřebí použití vodičů s větším průřezem. Naopak reproduktory s vyšší impedancí vyžadují pro vybuzení stejného akustického tlaku vyšší napětí, což klade nároky na specifický typ zesilovače s měničem napětí. Při napájení reproduktorů z automobilového akumulátoru lze dosáhnout výkonů uvedených v tab. 3.II dle výpočtu 3.3.

$$P = U \times I = U \times \frac{U}{Z} = \frac{U^2}{Z} \quad (3.3)$$

$$P_{2\Omega} = \frac{U_{ef}^2}{Z} = \frac{8,2^2}{2} = 33,62 \text{ W}$$

$$U_{ef} = \frac{U_B - \Delta U_{ved} - \Delta U_{tranz}}{\sqrt{2}} = \frac{14 - 1 - 1,4}{\sqrt{2}} = 8,20 \text{ V}$$

kde:

- P ... výkon [W]
- U ... napětí [V]
- $U_{ef}$  ... efektivní hodnota napětí [V]
- $U_B$  ... napětí automobilového akumulátoru [V]
- $\Delta U_{tranz}$  ... úbytek napětí na tranzistorech [V]
- $\Delta U_{ved}$  ... úbytek napětí na vodičích [V]
- I ... proud [A]
- Z ... impedance reproduktoru [ $\Omega$ ]

Tab. 3.II Hodnoty výkonů zdroje pro reproduktory o různých impedancích při napájení z autobaterie

Z [ $\Omega$ ]	2	4	6	8
P [W]	33,62	16,81	11,21	8,41

Hodnota jmenovité impedance je: „Výrobce uvedená hodnota odporu rezistoru, kterým je nahrazován reproduktor pro účely definování elektrického výkonu dostupného ze zdroje“. [19]

Hodnota nominální impedance je též důležitá z důvodu správné spolupráce reproduktorů se zesilovačem. U zesilovačů se uvádí hodnota zatěžovací impedance. Ta musí být vždy stejná nebo menší, než hodnota impedance reproduktorů. [10]

- **Frekvenční rozsah**

Udává schopnost reproduktoru reprodukovat zvuk v konkrétním frekvenčním pásmu. Horní mez je dána směrovým vyzařováním. Dolní mez je dána rezonančním kmitočtem dle vzorce 3.4.

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{1}{c_{ms} \times m_{ms}}} \quad (3.4)$$

kde:  $f_s$  ... rezonanční frekvence [Hz]  
 $c_{ms}$  ... poddajnost kmitacího systému  $\left[\frac{m}{N}\right]$   
 $m_{ms}$  ... hmotnost kmitacího systému a sloupce vzduchu [kg]

Frekvenční rozsah je ale sám o sobě značně nevypovídající parametr. Vždy by měl být udán s hodnotou tolerančního pole v dB. Tato hodnota udává toleranci hlasitosti hudebního signálu v uvedeném frekvenčním rozsahu. Při vysoké hodnotě tolerance budou některé frekvence hrát mnohonásobně hlasitěji nebo tišeji než ostatní. Toleranční pole by u kvalitních reprosoustav nemělo být vyšší než  $\pm 3$  dB. [10]

### 3.4 Vodiče

Vodiče pro automobilový průmysl tvoří mezi ostatními vodiči svoji samostatnou kategorii. Hlavním důvodem jsou rozdílné nároky na vodiče použité v automobilech oproti vodičům použitým např. v domácích elektroinstalacích.

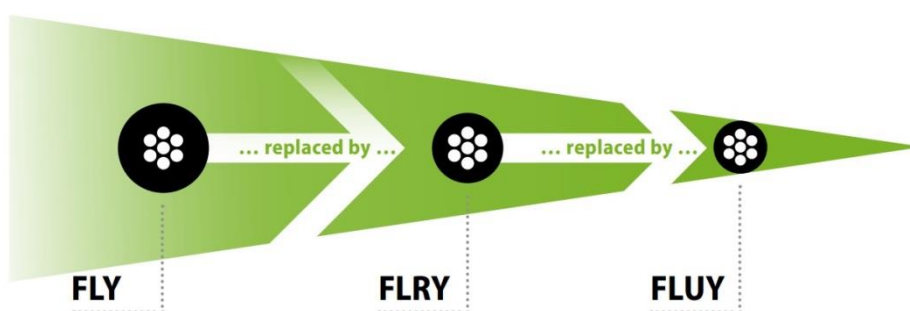
Jedná se především o *široké teplotní rozsahy* v rozmezích desítek stupňů Celsia pod nulou až více než 100 °C nad nulou, které zaručí, že vodič nebude urychleně stárnout při působení teplotních vlivů (např.: venkovní teplota, teplo z motoru).

Dále je vyžadována *odolnost proti fyzickému namáhání* vodiče (např.: ohýbání, tření, vibrace apod.). K fyzickému namáhání dochází jak už při samotné montáži vodičů, tak dle způsobu uložení i po celou dobu provozu.

Dle způsobu použití a umístění vodiče mohou být též vyžadovány zvýšené nároky na *odolnost izolačního materiálu*. Sleduje se odolnost proti působení paliva, oleji, či odolnost proti ohni. [11]

V neposlední řadě je kladen důraz i na *fyzické rozměry* vodičů. Vodiče pro aplikace, kde je vyžadována snížená tloušťka, jsou označovány písmenem R, viz kapitola 3.4.2. V roce 1992 byla cena elektroniky v automobilu zhruba 15% jeho ceny, dnes se

předpokládá, že cena elektroniky může dosahovat až na 50% ceny automobilu. S rostoucím použitím elektroniky v automobilech roste i celková délka použitých vodičů, která se momentálně pohybuje od 1000 m pro malé až přes 4000 m pro luxusní modely automobilů. Čím větší je délka vodičů, tím vyšší je i váha automobilu, která znesnadňuje plnění stále přísnějších norem pro automobily. Snížením tloušťky vodičů lze dosáhnout 10 – 40 % úbytku na velikosti a 30 – 60 % váhového úbytku. Firma Leoni představila v roce 2015 nový typ vodičů s názvem FLUY, který by měl ušetřit až dalších 15 % průměru vodičových svazků oproti technologii FLRY. [12] [13]



Obr. 3.1 Porovnání průměru automobilových vodičů dle různých výrobních technologií [13]

### 3.4.1 Dimenzování průřezu vodiče

Důležitým faktorem při realizaci ozvučení v automobilu jsou správně navržené průřezy vodičů. K tomu bude potřeba provést výpočet pro zjištění maximálního napájecího proudu zesilovače dle vztahu 3.5 a vyhodnocení průřezu vodiče v závislosti na jeho délce z tabulky 3.III. [14]

$$I = \frac{P_{RMS}}{\eta_Z \times U} \quad (3.5)$$

kde:  $I$  ... maximální napájecí proud zesilovače [A]

$P_{RMS}$  ... RMS výkon [W]

$\eta$  ... účinnost zesilovače [-]

$U$  ... napětí autobaterie [V]

Tab. 3.III Určování průřezu vodiče dle proudu v závislosti na délce

Délka [m]	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8
Proud [A]								
240 – 350	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>
180 – 240	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>
150 – 180	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>
120 – 150	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	88 mm <sup>2</sup>
100 – 120	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
80 – 100	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
60 – 80	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
40 – 60	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>
20 – 40	8 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>
8 – 20	3,5 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>
0 – 8	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>	3,5 mm <sup>2</sup>
Průřez vodičů [mm <sup>2</sup> ]			88	50	18	12	8	3,5

Zdroj: vlastní zpracování, 2016 dle [14]

### 3.4.2 Značení automobilových vodičů

V tabulce 3.IV je vysvětleno označení automobilových vodičů používaných největšími společnostmi na našem trhu řídicí se normou DIN 76722:2013.

Tab. 3.IV Formulace názvů vodičů

Symbol	Vysvětlení písmen
FL	Označení pro skupinu motorových prostředků.
R	Pokud se vyskytuje v názvu, znamená označení pro redukovanou tloušťku izolace.
31Y	Izolační materiál (Příloha B).
BD	Pokud se vyskytuje v názvu, znamená konstrukční komponenty (Příloha B).
11Y	Materiál pláště (Příloha B).
F –	Tvar vodiče (Příloha B).
A	Typ jádra (Příloha B).
2×0,75	Počet vodičů a jejich průřez [mm <sup>2</sup> ].
poc. +	Pokud se vyskytuje v názvu, znamená pokovení jader.
0,50 poc.	Průřez a pokovení dalších jader.
z/r/b + h/b/zl	Barvy izolací.
ISO 6722-1	Číslo ISO standardu.

Zdroj: vlastní zpracování, 2016 dle [11]

Pro příklad je uveden vodič se názvem FLRY-A 2×0,75. „FL“ znamená označení pro skupinu motorových vozidel. „R“ označuje redukovanou tloušťku izolace vodiče. „Y“ značí izolační materiál, což je v tomto případě PVC. „A“ znamená pravidelně stáčené měděné jádro. Číslo 2×0,75 značí, že se jedná o vodič s dvěma žilami o jmenovitém průřezu žil 0,75 mm<sup>2</sup>.

### 3.4.3 Kroucené vodiče

Kroucený vodič nebo také kroucená dvojlinka či kroucený pár je typ vodiče, ve kterém, jak název napovídá, jsou jednotlivé vodiče zakrouceny do sebe a pravidelně si

mění své pozice. V případě použití více dvojlinek jsou následně i jednotlivé páry zakrouceny do sebe a tvoří tak kabelový svazek. Dle požadavků se může měnit délka zkrutu.

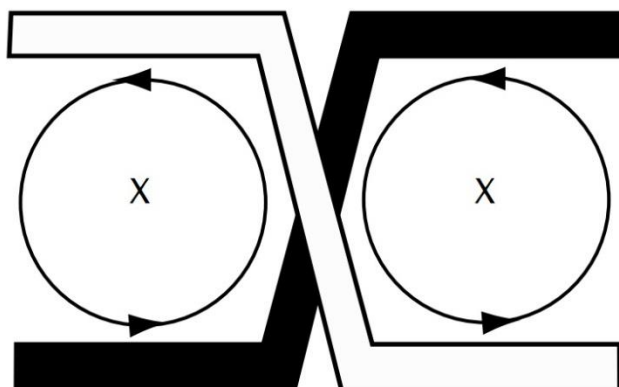
Používání kroucených vodičů v automobilovém průmyslu je jedním z nástrojů pro elektromagnetickou kompatibilitu neboli EMC. Myšlenkou EMC je schopnost správného fungování elektrických systémů v elektromagnetickém prostředí a zároveň nevyvolávat rušení v jiných systémech. Zakroucením vodičů a vodičových svazků do sebe se zmenší prostor ve smyčce, což redukuje vyzářené magnetické pole a minimalizuje množství vyvolaného rušení mezi obvodem a ostatními vodiči. [20]

V automobilovém průmyslu je velice důležité zabývat se EMC, jelikož v posledních letech rapidně vzrostl a stále vzrůstá počet elektronických zařízení použitých ve vozidlech. Čím více jsou systémy vyspělejší, tím získávají větší kontrolu nad funkcemi vozu. Je důležité, aby jednotlivé součástky použité v elektronických systémech vozu nevytvářeli rušení a zároveň byly vůči rušení imunní, jinak by mohlo docházet k neočekávanému chování funkcí vozu, což je nepřijatelné. [20]

Veškeré přenosy signálů pomocí dvou vodičů jsou ovlivněny elektrickými a magnetickými poli. Znalost elektrického pole v určitém místě a čase umožňuje určit napětí mezi vodiči. Stejně tak znalost magnetického pole na povrchu vodičů umožňuje blíže specifikovat chování proudu ve vodičích. Pro obvod, který má být odolný vůči vlivům vnějších polí, se používají kroucené vodiče. V opačném případě, pokud vodič nebude odolný vůči vlivům vnějších polí, bude vznikat rušení, které bude mít za následek degradaci přenášeného signálu vodičem. [1]

V okolí vodičů protékajících proudem vzniká magnetické pole, jehož síla roste s časem. Dle Lenzova pravidla je směr indukovaného napětí v uzavřených smyčkách označených písmenem X na *obr. 3.2* udán šipkami. V levé horní části *obr. 3.2* je směr indukovaného napětí shodný s bílým vodičem. Pro pravou dolní část bílého vodiče je směr indukovaného napětí opačný. Stejná úvaha platí pro obě části černého vodiče. Výsledkem střídání pozice vodičů je tedy vynulování indukovaného napětí, což zabrání vzniku rušení. K úplnému vyrušení indukovaných napětí dojde, pokud jsou jednotlivé zkruty rovnoměrně rozprostřeny a jejich počet je přizpůsoben vlnové délce přenášeného signálu. Kroucené

vodiče pro přenos audio signálů by měly mít kolem deseti zkrutů na 0,3 m. Samotné kroucené páry bez dalších stínění poskytují odolnost proti šumu z indukovaných smyček od velmi nízkých frekvencí až po nejméně  $10^8$  Hz. [1]



Obr. 3.2 Kroucené vodiče [1]

### 3.5 Zesilovače

Hlavním úkolem zesilovače v ozvučení automobilu je zesílení signálu. Většina autorádií má na výstupu svůj vlastní zesilovač, který je však omezený výkonem, funkcemi modifikujícími signál (regulace krajních kmitočtů, ekvalizér, DSP atd.) či počtem výstupů pro připojení reproduktorů. Z tohoto důvodu je vhodnější řešení použití externího zesilovače, jako samostatného zařízení.

Zesilovače se rozdělují do tříd (A, B, AB, D atd.) a dále dle počtu kanálů, který určuje množství reproduktorů, které lze k zesilovači připojit. Například standardní zapojení pouze předních reproduktorů slouží 2 – kanálový zesilovač, na zapojení předních i zadních reproduktorů je potřeba zvolit 4 – kanálový zesilovač atd.

V automobilovém průmyslu se používají zesilovače tříd AB a D. Výhodou zesilovačů třídy AB, označovaných jako analogové, je vyšší kvalita zesíleného signálu, ale nižší účinnost kolem 60%. Zesilovače třídy AB jsou vhodné pro levnější zástavby ozvučení. Zesilovače třídy D, označované též jako digitální, disponují účinností nad 80%, ale mohou vnášet do zesíleného signálu vyšší zkreslení. Mohou být vybaveny měničem napětí a tím dodávat až stovky wattů do reproduktorů o impedanci  $8 \Omega$ . Díky vyšší účinnosti zesilovačů třídy D je možné tato zařízení vyrábět menší a lehčí, což nahrává použití v automobilovém průmyslu. Další možností jak zvýšit potřebný výkon na výstupu zesilovače je zapojení zesilovačů v můstkovém zapojení. [16]



### 3.5.1 DSP

DSP neboli digitální signálový procesor je zařízení, jehož funkcí je upravování signálu v reálném čase. DSP může být jak externí, tak integrovaný v jiném zařízení. V případě integrace do jiného zařízení (např. autorádia či zesilovače) je docíleno úspory prostoru i váhy. Dnes už drtivá většina zdrojů audio signálů v automobilech poskytuje funkce DSP. Samotné použití digitálního signálového procesoru nezlepší kvalitu audio systému. Až vhodná optimalizace a správné nastavení dostupných funkcí poskytnou všechny výhody. [1]

Využití DSP v ozvučení poskytuje mnoho výhod. První z nich je možnost *nastavení digitálních výhybek a ekvalizéru*. Správně nastavené výhybky zajistí, že danému reproduktoru budou přiváděny jen takové frekvence, které je schopné kvalitně přeměnit na zvuk bez zbytečného zatěžování frekvencemi, které daný měnič není schopný přeměnit. Funkce ekvalizéru nabízí optimalizaci vlastností zvuku. [15]

Další funkcí DSP je *časová korekce signálů*. V kapitole 2.4 byl popsán problém vzdálenosti zdroje zvuku od posluchače. Správné sladění reproduktorů pomocí DSP může tento problém minimalizovat či zcela vyřešit. Sladění je provedeno tak, že se mezi různě vzdálené reproduktory vloží časová prodleva, aby výsledný signál dorazil k posluchači ve stejný čas. [15]

S využitím DSP je možno *optimalizovat prostor*. Jelikož interiér automobilu je z hlediska ozvučení velice nevhodným prostorem (viz kapitola 2), tak pomocí sofistikovaných systémů obsahujících mikrofony lze ozvučení přizpůsobit konkrétnímu interiéru tak, aby bylo dosaženo co nejlepších výsledků. [15]

Jednou z dalších užitečných funkcí DSP je *optimalizace reproduktorů samotných*. Pomocí digitálního signálového procesoru lze kompenzovat drobné nedostatky jednotlivých reproduktorů. Nelze však pomocí DSP obejít fyzikální vlastnosti měničů. [15]

## 4 Ozvučení v dostupném automobilu

Samotná realizace vícekanálového ozvučení je provedena v automobilu Škoda Superb druhé generace. Avšak návrh i principy realizace stejného či podobného typu ozvučení lze použít s několika přizpůsobeními se v různých vozidlech. Není zde tedy kladen nárok na značku automobilu, druh karoserie apod. Samozřejmostí je, že velký objem prostoru ve vozidle Škoda Superb dovoluje a usnadňuje realizaci více propracovaného audio systému.

### 4.1 Výběr vodičů a jejich zapojení

Pro propojení komponentů přenášejících data byly vybrány kroucené (viz kapitola 3.4.3) vodiče typu *FLRY* dle ISO 6722. Jedná se tedy o automobilový vodič s redukovanou šířkou izolace vyrobené z PVC, která je odolná proti působení oleje a paliva. Díky redukované šířce izolace tohoto typu vodiče může být dle výrobce až o 30% menší průměr výsledného svazku vodičů a zároveň i nižší hmotnost. Vodič *FLRY* je konstruován pro jmenovité napětí do 60 V a teplotním rozsahem od  $-40^{\circ}\text{C}$  až do  $105^{\circ}\text{C}$ . Výhodou vodiče *FLRY* je i jeho dostupnost v mnoha variantách od jednožilových až po čtyř-žilové s rozpětím jmenovitého průřezu žil od  $0,35\text{ mm}^2$  až po  $4\text{ mm}^2$ . [11]

Druhým vodičem je typ *FLYW*. Jde o automobilový vodič s vysokou tepelnou odolností PVC izolace. Tento vodič je určen pro napájení komponentů z auto-baterie, zejména tedy pro napájení zesilovače či propojení baterie s alternátorem. V důsledku toho bude vodič místy veden v okolí motoru, kde je za provozu zvýšená teplota. Proto je zde zvýšený nárok na tepelnou odolnost izolace vodiče. Zde už není potřeba využití principů kroucených párů, a tudíž se jedná o jedno-žilový vodič, kde je zvlášť jedním vodičem vedený kladný pól a druhým zvlášť záporný pól. [11]

## 4.2 Zapojení audio systému v dostupném automobilu

Na *obr. 4.1* je znázorněné stávající rozložení komponentů audio systému. V následujících kapitolách bude detailně rozebráno umístění jednotlivých členů ozvučení s ukázkami fotografií z automobilu. Použité reproduktory jsou vyfoceny v přílohách



*Obr. 4.1 Schéma zapojení audio systému v automobilu. Vlastní zpracování, 2016 dle [18]*

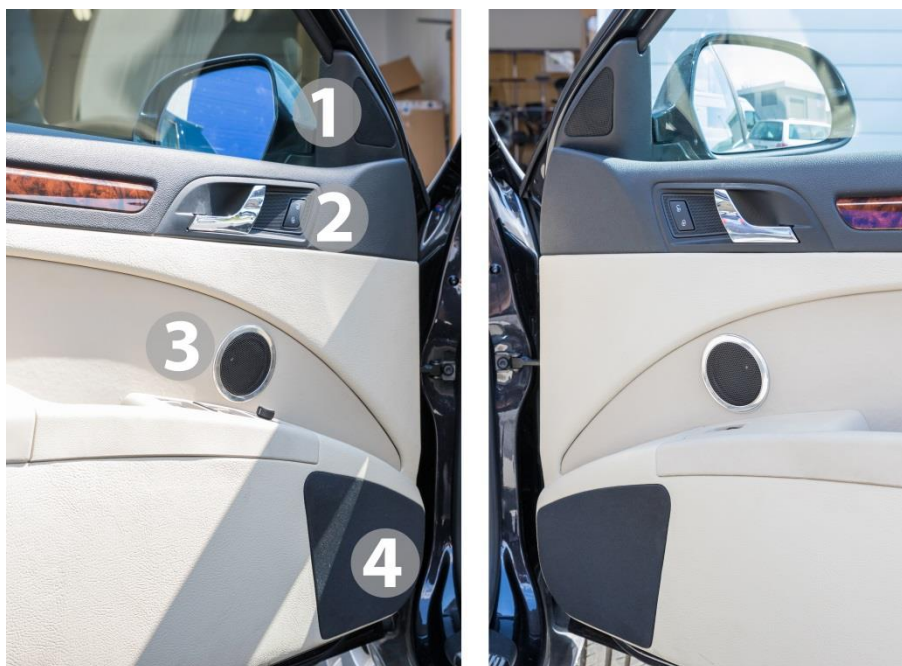
### 4.2.1 Reproduktory předních dveří

Zapojení reproduktorů v předních dveřích je identické jak pro levou stranu řidiče, tak pro pravou stranu spolujezdce. Reproduktory umístěné v předních dveřích jsou jedny z nejdůležitějších, jelikož velkou měrou určují kvalitu celého audio systému. V této realizaci je použit třípásmový systém reproduktorů na obou stranách. To znamená, že v obou dveřích jsou umístěny tři reproduktory, které reprodukují zvlášť nízké, střední a vysoké kmitočty. Ve dveřích se sice nachází reproduktory čtyři, ale výškový reproduktor označený číslem 2 (*obr. 4.2*), který je na tomto místě montován výrobcem, je nahrazený výškovým reproduktorem označeným číslem 1 (*obr. 4.2*). Umístění reproduktorů je znázorněné na *obr. 4.2*.

Jak už bylo zmíněno v předchozím odstavci, reproduktory číslo 1 a 2 (*obr. 4.2*) jsou *výškové reproduktory*, neboli tweetry. Hlavním důvodem pro změnu umístění reproduktoru 2 (*obr. 4.2*) do pozice reproduktoru 1 (*obr. 4.2*) v panelu zpětného zrcátka je možnost demonstrace vlivů rozdílné výšky a rozdílných směrů vyzařování na celkový poslech. Výškové reproduktory jsou nejméně náročné z hlediska objemu ozvučnice, a proto je i jejich pozice vybrána s ohledem na design a ergonomii vozu.

Reproduktor označený číslem 3 (obr. 4.2) je *středový*. Jeho úkolem je přenášet střední oblast kmitočtů, kterou basové a výškové reproduktory nejsou schopny kvalitně reprodukovat. U středových reproduktorů je kladen důraz na minimální zkreslení přenášeného signálu, neutralitu reprodukce a vyrovnaný kmitočtový průběh, jelikož lidské ucho je nejcitlivější právě v oblasti středních kmitočtů. Jedná se o reproduktor střední velikosti s menšími nároky na prostor než basový reproduktor, avšak už je zapotřebí větší objem ozvučnice než u výškových reproduktorů. Ozvučnice je zde vytvořena z dutého prostoru dveří.

Posledním reproduktorem předních dveří je *basový reproduktor* označený číslem 4 (obr. 4.2). Tento reproduktor je fyzicky největším z tří pásmového systému předních dveří. Jelikož nízké basové frekvence nejsou člověkem vnímány prostorově, může být tento typ reproduktoru umístěn v dolní části dveří bez požadavku na konkrétní směr vyzařování, aniž by byla ovlivněna kvalita audio systému. Pro kvalitní reprodukci basů je vyžadován dostatečný objem ozvučnice, který je vytvořen zvětšením dutiny dveří pomocí post tovární úpravy plastového obložení.



Obr. 4.2 Tří pásmový reproduktorový systém levé a pravé strany předních dveří, vlastní zpracování, 2016

#### 4.2.2 Reprodukory zadních dveří

Stejně jako u předních dveří, tak i zapojení reproduktorů zadních dveří je identické pro levou a pravou stranu. Zde je použit dvoupásmový systém, což znamená soustava dvou reproduktorů pro levou i pravou stranu.

Zapojení reproduktorů v zadních dveřích má dva významy. Prvním z nich je vylepšení ozvučení pro pasažéry zadních sedadel. Druhým úkolem reproduktorů v zadních dveřích je dotváření prostorového dojmu celého audio systému. Zde je však potřeba vysoké úrovně optimalizace, protože pokud by nastavení zadních reproduktorů bylo nevhodné vůči reproduktorům předních dveří, tak by prostorový projev ozvučení byl stahován do zadní části vozu, což je nežádoucí. [17]

Umístění reproduktorů je realizováno stejnými principy, kterými se řídí umístění reproduktorů předních dveří. Číslem 1 (obr. 4.3) je označen *středový reproduktor*. Jelikož tento měnič reprodukuje frekvence, které jsou vnímány prostorově a hrají roli při utváření prostorového dojmu ozvučení, je potřeba reproduktor vhodně umístit. Volbou polohy středového reproduktoru ve vhodné výšce přední části zadních dveří je zajištěno, že v případě pasažéra sedícího na zadních sedadlech nebude reproduktor zakryt, což by výrazně narušilo optimalizaci ozvučení pro daný interiér vozu. Ozvučnice je zde opět vytvořena z dutiny dveří.

Číslem 2 (obr. 4.3) je označen *basový reproduktor*. Pro správnou funkci tohoto typu reproduktoru je důležitý především dostatečný objem ozvučnice, než jeho poloha či směr vyzařování. Ozvučnice je zde tedy vytvořena rozšířenou dutinou v plastovém obložení, která má větší objem, než je tomu u středového reproduktoru.



Obr. 4.3 Dvoupásmový reproduktorový systém levé a pravé strany zadních dveří, vlastní zpracování, 2016

#### 4.2.3 Středový reproduktor v palubní desce

Úkolem středového reproduktoru integrovaného v palubní desce je posílit reprodukci středního pásma kmitočtů. V kvalitním audio systému by měl být kladen velký důraz právě na tyto reproduktory, jelikož lidské ucho je nejcitlivější na frekvence kolem 3,5 kHz. Druhým faktem je, že z hlediska frekvenčního spektra hudby a řeči je středotónový reproduktor jedním z nejméně namáhaných měničů v celé soustavě. [10]

Jedná se o jeden reproduktor označený číslem 1 na obr. 4.4, který je umístěn a zapuštěn ve středu přístrojové desky a směřující na čelní sklo. Zvukové pole tohoto reproduktoru je tedy tvořeno sčítáním vln přímých a vln odražených od čelního skla. Výsledkem je dotvoření prostorového dojmu celého systému a posílení srozumitelnosti řeči.

Nevýhodou tohoto umístění je především zrychlené stárnutí použitých materiálů reproduktoru z důvodu přímého vystavení slunečnímu záření skrz čelní sklo.





Obr. 4.4 Středový reproduktor osazený v přístrojové desce, vlastní zpracování, 2016

#### 4.2.4 Výškový reproduktor v panelu zavazadlového prostoru

Symetricky na obou stranách zavazadlového prostoru jsou v panelech umístěny dva výškové reproduktory označené číslem 1 na obr. 4.5, kde je vidět umístění na pravé straně z pohledu řidiče. Oba reproduktory směřují nahoru k přilehlým bočním sklům, a tudíž jejich zvuková pole jsou tvořena z největší části odrazy právě o přilehlá skla. Tyto dva výškové reproduktory fungují především jako vedlejší měniče, jejichž hlavním úkolem je předně dotváření prostorového dojmu ozvučení v automobilu.



Obr. 4.5 Výškový reproduktor na pravé straně zavazadlového prostoru z pohledu řidiče, vlastní zpracování, 2016

#### 4.2.5 Subwoofer

Subwoofer je největším reproduktorem tohoto systému ozvučení z toho důvodu, že pro kvalitní přenos nízkých kmitočtů je požadován reproduktor s velkým průměrem membrány a s odpovídající poddajností kmitacího systému, což ve výsledku dovoluje velký rozkmit membrány. [9]

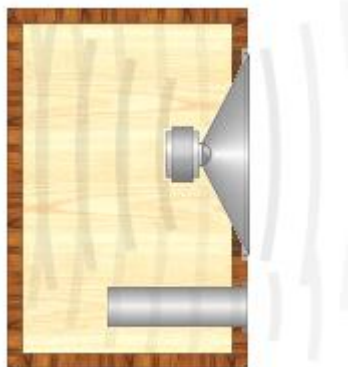
Nízké frekvence, které reprodukuje subwoofer, nejsou posluchačem vnímány prostorově, a tudíž nejsou kladeny nároky na jeho specifické umístění ve vozidle. Z tohoto důvodu je subwoofer nejčastěji umístěn v zavazadlovém prostoru a tím pádem výhodnější pozice ve vozidle jsou přenechány reproduktorům vyžadujícím specifické umístění vzhledem k vytváření prostorového dojmu vícekanálového ozvučení. [10]

Subwoofer je realizován jako vestavěný v levé bočnici zavazadlového prostoru (*obr. 4.6*). Takováto realizace je efektivní zejména z důvodu nenarušení užitého prostoru automobilu. Na druhou stranu však přináší úskalí v podobě malého objemu ozvučnice, což vede k omezení kvality reprodukce basů. Pro kompenzaci malého objemu ozvučnice je použita bassreflexová ozvučnice, která využívá specifického uspořádání akustického obvodu. Bassreflexová ozvučnice využívá signálu vyzářeného do vnitřního prostoru ozvučnice, který pomocí vhodného uspořádání akustického obvodu využívá energii zadní části membrány reproduktoru (*obr. 4.7*), čímž je dosaženo zvýšení intenzity zvuku na konkrétním frekvenčním pásmu. Akustický obvod je tvořen přesně definovaným nátrubkem, označený číslem 2 na *obr. 4.6*, spojujícím vnitřek ozvučnice s vnějším okolím, jež využívá působení poddajnosti vzduchu. Nevýhodou bassreflexové ozvučnice je strmý pokles citlivosti a zvýšení výchylky reproduktoru pod rezonanční frekvencí, na kterou je bassreflex naladěn. Z tohoto důvodu je zapotřebí filtru horní propusti nastaveného na oblast rezonanční frekvence bassreflexu. [8]





Obr. 4.6 Integrovaný subwoofer v bočnici zavazadlového prostoru, vlastní zpracování, 2016

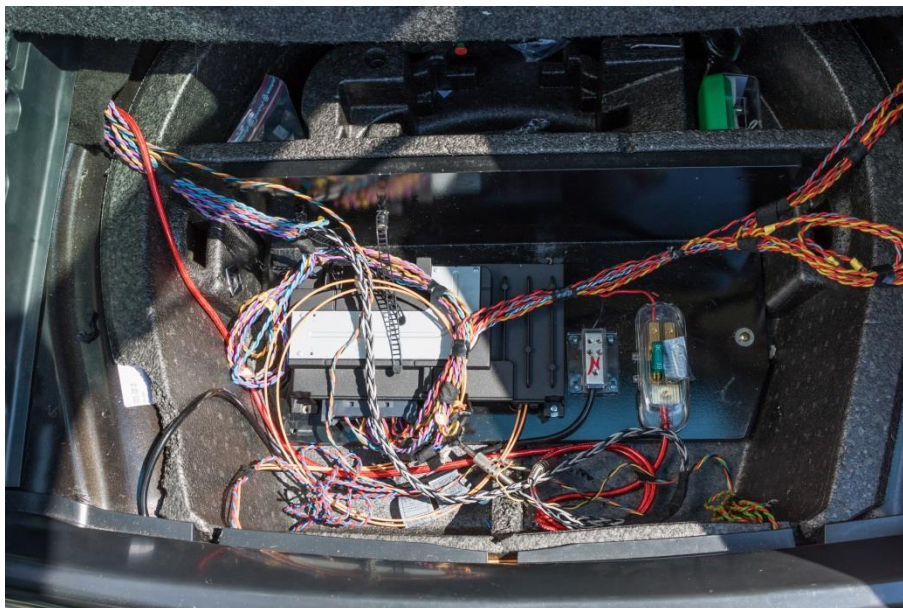


Obr. 4.7 Basreflexová ozvučnice [22]

#### 4.2.6 Zesilovač

Použitý zesilovač je dodávaný výrobcem vozu s označením MIB Amp Gen 1, 8V0 035 223 (příloha I a J). Tento zesilovač je třídy D s měničem napětí což mu umožňuje dodávat vysoký výkon do reproduktorů o vyšších impedancích. Konkrétně  $4 \times 100 \text{ W}$  do  $8 \Omega$ ,  $4 \times 40 \text{ W}$  do  $4 \Omega$  a  $4 \times 30 \text{ W}$  do  $4 \Omega$ .

Zesilovač je umístěn pod podlahou zavazadlového prostoru (obr. 4.8), což je vyhovující pro demonstrační účely a pro snadný přístup k zařízení. Nevýhodou tohoto umístění zesilovače je potřeba vedení velkého množství vodičů skrz celé auto, což vyžaduje použití delších vodičů a z toho plynoucí zvýšení hmotnosti vozu. Výhodnější používanou pozicí v sériové výrobě automobilů je umístění zesilovače pod jedním z předních sedadel či v přihrádce před spolujezdcem.



Obr. 4.8 Zesilovač umístěný v podlaze zavazadlového prostoru

### 4.3 Návrh zapojení pro budoucí realizace

Nové zapojení pro budoucí realizace je zaměřeno na výškové reproduktory. Bude zde možné demonstrovat vlivy různých umístění výškových reproduktorů s využitím rozdílných principů šíření zvukových vln. Výškové reproduktory pracují v takovém frekvenčním pásmu, ve kterém posluchač vnímá směr a polohu reproduktorů. Poloha a směr vyzařování výškových reproduktorů tedy významně ovlivňuje prostorový projev audio systému, a proto je žádoucí, aby umístění výškových reproduktorů bylo zvoleno co nejvhodněji pro daný interiér vozu.

První umístění výškových reproduktorů je znázorněné na *obr. 4.9* číslem 1. Reproduktory budou zabudovány v přístrojové desce, kde budou využívat šíření zvukových vln převážně odrazem od čelního skla. Bude se tak jednat o jedinou dvojici výškových reproduktorů v přední části vozu, které nevyužívají přímého směru vyzařování vůči posluchači (jeden pár výškových reproduktorů, využívajících šíření vln převážně odrazem, je už umístěn v panelu zavazadlového prostoru viz kapitola 4.2.4).

Druhým místem budoucí realizace je umístění výškových reproduktorů do tzv. A sloupků označených číslem 2 (*obr. 4.9*). Tato pozice je výhodná zejména kvůli možnosti zabudování reproduktorů do průměrné výšky sedícího pasažéra a nastavení požadovaného ideálního směru vyzařování reproduktoru.

Třetí navrhované umístění pro výškové reproduktory je označené číslem 3 (obr. 4.9). Jedná se o zabudování reproduktorů do střešního čalounění vozu před hlavy sedících pasažérů. Tato poloha nabízí možnost umístění reproduktorů tak, aby bylo docíleno ideální vzdálenosti zdroje zvuku od posluchače s vhodným směrem vyzařování.



Obr. 4.9 Návrh budoucí realizace

Posledním návrhem je zabudování páru výškových reproduktorů do čalounění hlavové opěrky viz obr. 4.10. Jedná se o složitější realizaci z hlediska vedení vodičů sedačkami a vhodného přizpůsobení hlavových opěrek tak, aby byla zachována dosavadní komfortnost a zároveň aby provedení umožňovalo správnou funkci reproduktorů. Toto zapojení by tak poskytovalo rovnoměrnou vzdálenost zdroje zvuku od posluchače s možností vyvážení zvláště levé a zvláště pravé strany každého páru reproduktorů.



Obr. 4.10 Zabudování reproduktorů do hlavových opěrek sedadel

## Závěr

Předložená práce popisuje problematiku realizace vícekanálového ozvučení v automobilech. Cílem práce bylo prostudování, návrh a realizace audio systému v dostupném automobilu Škoda Superb Combi druhé generace.

První část práce pojednává o úskalích vznikajících při reprodukci zvuku v interiéru vozu. Dále jsou popsány a vysvětleny vlastnosti, typy, názvy a ostatní parametry jednotlivých komponentů, které dohromady tvoří audio systém. Závěrečné kapitoly jsou věnovány hlavním cílům této práce, kde je názorně aplikována teorie vysvětlená v předešlých oddílech. Jsou zde popsány a odůvodněny jednotlivá zapojení komponentů v dostupném voze, podložené pro názornost fotografiemi. Poslední kapitolou je návrh zaměřený na výškové reproduktory pro budoucí realizace. Jsou zde vysvětleny důvody jednotlivých umístění výškových reproduktorů, na kterých bude možno demonstrovat vlivy rozdílných poloh a rozdílných způsobů šíření zvukových vln. Při zpracovávání bylo nutné použít a vyhledat informace z mnoha zdrojů z důvodu nedostatku pramenů, zabývajících se ozvučením v automobilovém průmyslu.

Pro realizaci ozvučení v automobilu bylo nutné prostudovat trh s dostupnými výrobky a zvolit z nich vhodné typy některých komponentů včetně vyhledání jejich dodavatele. Pro vodiče bylo potřebné vybrat druh vyhovující pro automobilové použití a následně určit náležité průřezy a délky pro jednotlivé aplikace. Pro budoucí návrh zapojení s výškovými reproduktory bylo potřeba zvolit hodící se typy z hlediska fyzické konstrukce jednotlivých reproduktorů, aby mohlo být docíleno potřebné variability pro předložený návrh.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

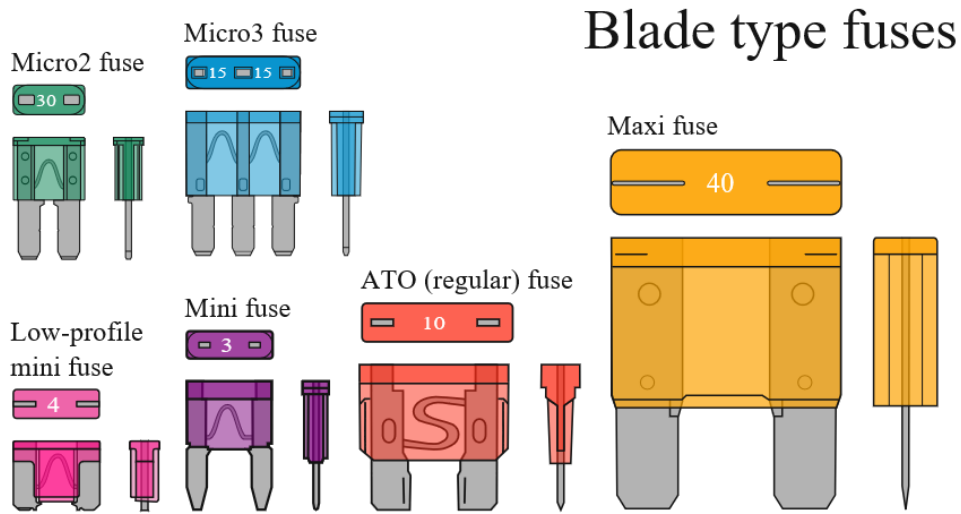
- [1] DAVIS, Don, Eugene PATRONIS, Pat BROWN a Glen BALLOU. *Sound system engineering*. Fourth edition. Burlington, MA: Focal Press, 2013. ISBN 9780240818467.
- [2] PAIK, Soonkwon, Manu de GEEST a Koen VANSANT. Interior Acoustic Simulation for In-Car Audio Design. *Sound & Vibration* [online]. 2013 [cit. 2016-04-1]. Dostupné z: <http://www.sandv.com/downloads/1301paik.pdf>
- [3] *Audio Nutz* [online]. 2007 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: [http://www.teamaudionutz.com/tutorial/5/Physical\\_And\\_Acoustic\\_Problems\\_Affecting\\_Sound\\_Quality\\_in\\_a\\_Car\\_Part\\_Two](http://www.teamaudionutz.com/tutorial/5/Physical_And_Acoustic_Problems_Affecting_Sound_Quality_in_a_Car_Part_Two)
- [4] PAJOREK, Ivo. *Auto-HiFi*. Vyd. 2. Brno: Computer Press, 2002. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 80-7226-805-8.
- [5] Head unit. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Head\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Head_unit)
- [6] *ISO 7736: Road vehicles - Car radio for front installation - Installation space including connections*. Switzerland: International Organization for Standardization, 1984.
- [7] *ISO 10487: Passenger car radio connections*. Switzerland: International Organization for Standardization, 1992.
- [8] SÝKORA, Bohumil. *Stavíme reproduktorové soustavy*. A-Radio 10/97 – 9/2001.
- [9] SVOBODA, Ladislav a Miloslav ŠTEFAN. *Reproduktory a reproduktorové soustavy*. 3. přeprac. vyd., dot. Praha: SNTL, 1983.
- [10] TOMAN, Kamil. *Reproduktory a reprosoustavy 1. díl*. Dexon, 2001. EAN 8591459280805.
- [11] *NKT Cables: Autovodiče* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.nktcables.com/cz/support/download/catalogues-and-brochures/special-cables/>
- [12] CROLLA, David. *Encyclopedia of automotive engineering*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley, 2015. ISBN 978-047-0974-025.
- [13] *LEONI: Automotive Cables* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://www.leoni-automotive-cables.com/en/products-challenges/single-core-cables-125-c/>
- [14] *Ozvuč Auto: Jaký zvolit průřez napájecích a reproduktorových kabelů?* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.ozvucauto.cz/clanky/Jaky-zvolit-prurez-napajecich-a-reproduktorovych-kabelu-10/>
- [15] *Elliot Sound Products: The Audio Pages*[online]. 2006 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://sound.westhost.com/articles/dsp.htm>
- [16] SELF, Douglas. *Audio engineering: know it all*. Boston. Newnes/Elsevier, 2009. ISBN 9781856175265.
- [17] *Crutchfield: How to get the best stereo imaging & soundstage* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.crutchfield.com>

- 
- [18] *SMCars* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.smcars.net/>
- [19] *ČSN EN 60268-5: Elektroakustická zařízení - Část 5: Reproduktory*. 2004.
- [20] STEFFKA, Mark a Terence RYBAK. *Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC)*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. ISBN 9781402077838.
- [21] Fuse: automotive. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse\\_\(automotive\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_(automotive))
- [22] *Audio Hod'as* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.audio-hodas.cz/>



# Přílohy

## Příloha A – Typy nožových pojistek. [21]

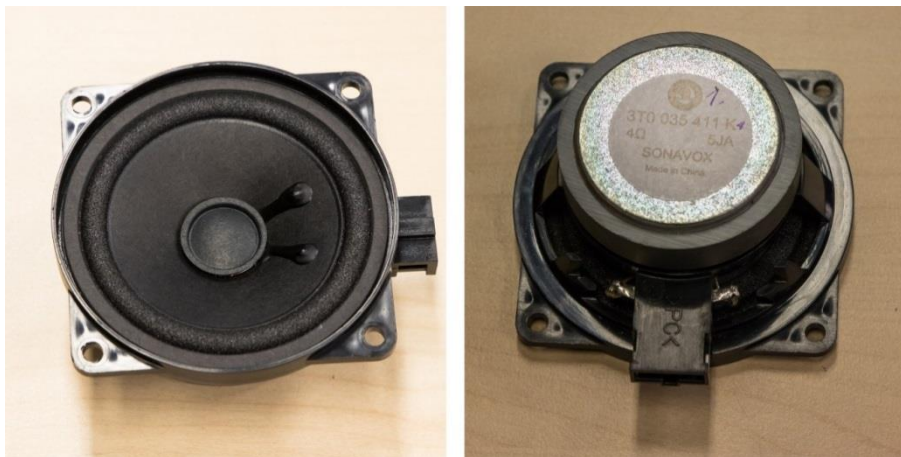


## Příloha B – Materiál izolace či pláště.

	Symbol	Význam
Materiál izolace či pláště	Y	PVC (polyvinylchlorid)
	YK	Mrazu vzdorný PVC (polyvinylchlorid)
	YW	Teplu vzdorný PVC (polyvinylchlorid)
	YW125	Teplu vzdorný PVC (polyvinylchlorid)
	X	Zesítěný PVC (polyvinylchlorid)
	2X	XPE (zesítěný polyetylen) 125 °C
	2X150	XPE (zesítěný polyetylen) 150 °C
	4Y	PA (polyamid)
	6Y	FEP (tetrafluoroetylenhexafluorpropylen)
	7Y	ETFE (fluorcopolymer)
	9Y	PP (polypropylen)
	11Y	PUR (polyuretan)
	12Y	TPE-E (termoplastický polyester-elastomer)
	13Y	TPE-E (termoplastický polyester-elastomer)
	31Y (32Y)	TPE-SEBS (termoplastický kaučuk, styren, etylen, butylen)
51Y	PFA (perfluoralkoxy copolymer)	
4G	E/VAC (etylen-vinylacetát)	
Speciální konstrukční komponenty	B	Stínění fólií
	C	Opletení Cu (měď)
	D	Obalený Cu (měď)
	G	Opletení sklem
	J	Impregnace
	L	Lakování
	P	Izolační fólie
	T	Opletení textilem
Vnější tvar vodiče	F	Plochý vodič
	Bez symbolu	Kulatý vodič
Typ jádra vodiče	A	Měděné, pravidelně stáčené
	B	Měděné, nepravidelně stáčené
	W	Odporové

Zdroj: vlastní zpracování, 2016 dle [11]



**Příloha C – Basový reproduktor 4 Ω, 8V0 035 411D.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016***Příloha D – Středový reproduktor 4 Ω, 3T0 035 411K.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016***Příloha E – Výškový reproduktor 4 Ω, 8T0 035 397A.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016*

**Příloha F – Výškový reproduktor 4  $\Omega$ , 3T0 035 411M.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016***Příloha G – Výškový reproduktor 4  $\Omega$ , 1K8 035 411C.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016***Příloha H – Výškový reproduktor 4  $\Omega$ , 3V0 035 411H.***Zdroj: vlastní zpracování, 2016*

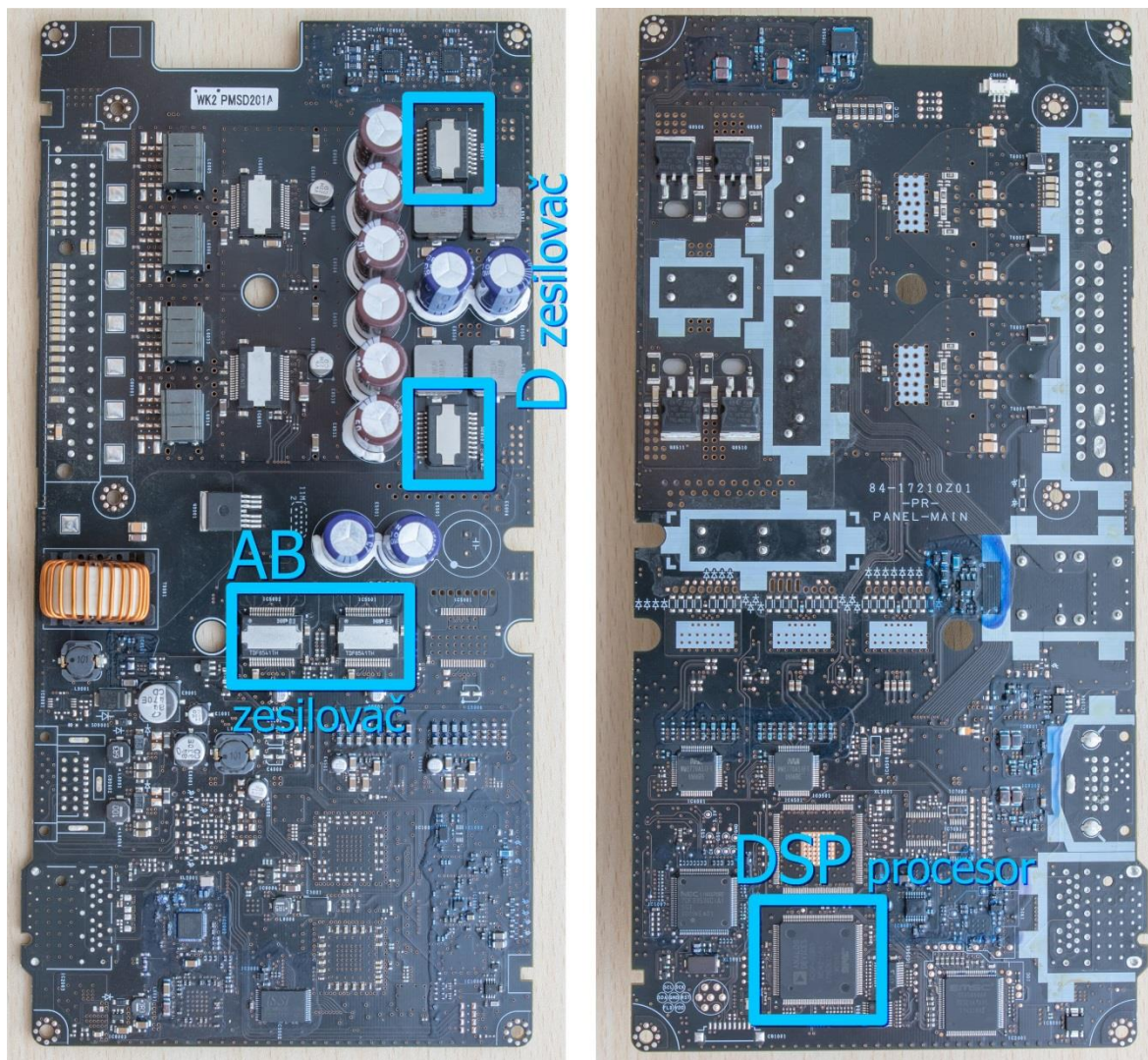


## Příloha CH – Basový reproduktor 2 × 8 Ω, IM – SW6505.



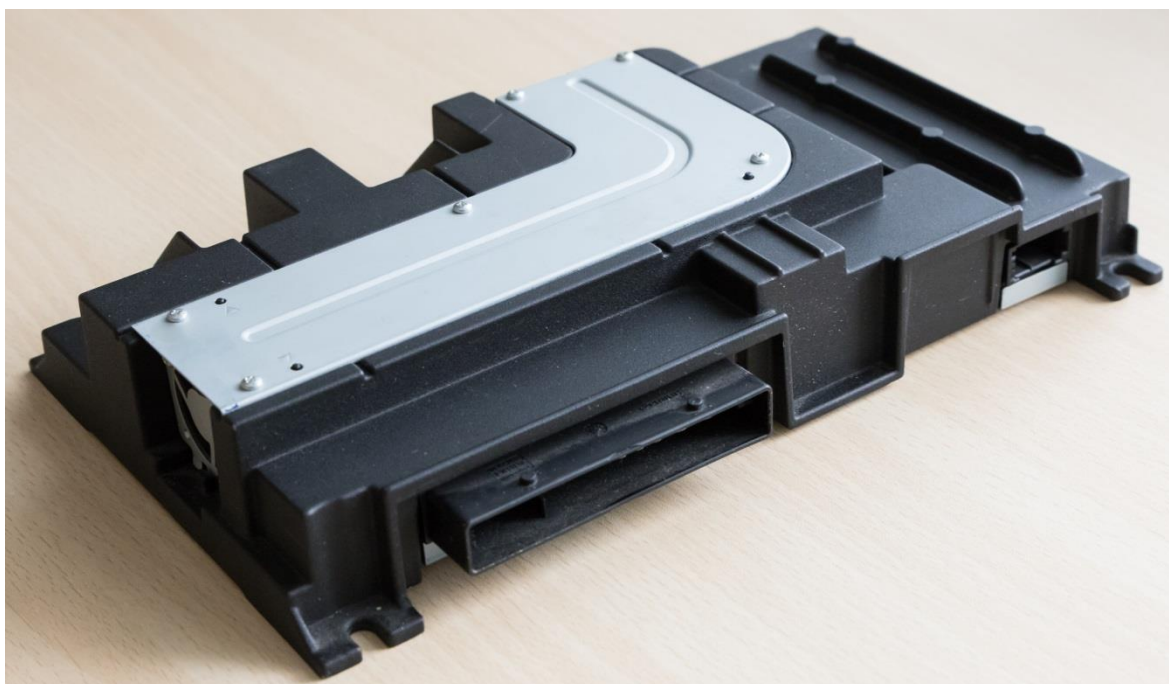
Zdroj: vlastní zpracování, 2016

## Příloha I – Základní deska použitého zesilovače.



Zdroj: vlastní zpracování, 2016

**Příloha J – Zesilovač použitý v zástavbě audio systému**



*Zdroj: vlastní zpracování, 2016*