

**Ústav patologické fyziologie**  
**1. lékařské fakulty University Karlovy v Praze**  
**U Nemocnice 5**  
**Praha 2, 128 53**

**Přednosta ústavu:** prof. MUDr. Emanuel Nečas, DrSc.  
**Vedoucí práce:** doc.MUDr.RNDr. Petr Maršálek, PhD.

# **Konstrukce manekýna hlavy pro studium prostorového slyšení**

## **Manikin of head for tests of spatial sound localization**

**VYPRACOVAL:** Radek Slanička

## EVIDENCE VÝPŮJČEK

Prohlášení:

Beru na vědomí, že odevzdáním této závěrečné práce poskytuji svolení ke zveřejnění a k půjčování této závěrečné práce za předpokladu, že každý, kdo tuto práci použije pro svou přednáškovou nebo publikační aktivitu, se zavazuje, že bude tento zdroj informací řádně citovat.

V Praze, 29.09.2010

Podpis autora závěrečné práce:

Jako uživatel potvrzuji svým podpisem, že budu tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno	Ústav / pracoviště	Datum	Podpis

Identifikační záznam:

SLANIČKA, Radek. *Konstrukce manekýna hlavy pro studium prostorového slyšení : Manikin of head for tests of spatial sound localization*. Praha, 2010. 109 s., 3 příl., 10 tabulek, 59 obr. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, doc.MUDr.RNDr. Petr Maršálek, PhD.



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
DĚKANÁT  
STUDIJNÍ ODDĚLENÍ  
121 08 PRAHA 2, KATEŘINSKÁ 32  
tel.224964241

## NAVAZUJÍCÍ MAGISTERSKÉ STUDIUM

**obor** Zdravotnická technika a Informatika

**VĚC: TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

V Praze, 2. srpna, 2010

Student: Bc. Radek Slanička kontakt: radeksl@centrum.cz, tel: +420 723 405 481

Zvolené téma diplomové práce v ČJ a v AJ:

**Konstrukce manekýna (hlavy a torosa) pro studium prostorového slyšení**

**Manikin of head and bust for tests of spatial sound localization**

Anotace:

Cílem práce je navrhnout, fyzicky zkonstruovat a proměřit akustické charakteristiky modelu (manekýna) hlavy a zvukovodů v měřítku 1:1. Manekýn bude levnější nápodobou komerčního produktu [Bruel a Kjaer]. Tento komerční manekýn firmy Bruel a Kjaer, typ 4128 odpovídá normě [Head and Torso Simulator]. Pro naše potřeby budou vnitřní konstrukce a některé rozměry upravené. Do tohoto manekýna vlastní konstrukce zastavte dodané kondenzátorové mikrofony. V krční dutině připravte prostor pro reproduktor pro nápodobu hlasu. Účelem manekýna je simulovat rezonanční vlastnosti hlavy při normální vokalizaci a při slyšení při některých sluchových poruchách pro ověření našich hypotéz o prostorovém slyšení [Maršálek et al.]. Změřte zvukové frekvenční přenosové charakteristiky zastavěného jednotlivého mikrofону a zastavěné dvojice mikrofónů pro simulaci prostorového slyšení. V diskusi se zabývejte otázkou, jak by se tyto charakteristiky uplatnily při poruchách sluchu. Podrobnější technická specifikace a výkresy budou přílohami diplomové práce.

### Literatura

[Bruel a Kjaer], Bruel and Kjaer Head and Torso, typ 4128, home: [www.bksv.com](http://www.bksv.com)  
Product specification: [www.bksv.com/pdf/Bp0521.pdf](http://www.bksv.com/pdf/Bp0521.pdf), navštíveno 2009.

[Head and Torso Simulator] for Telephonometry P.58 (Previously CCITT recommendation P.58), *International Telecommunication Union*, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 1993.

[Maršálek, P. a Kofránek, J.] Spike encoding mechanisms in the sound localization pathway. *Biosystems*, 79:191-198, 2005.

[Maršálek P.] Simulace v neurovědách, příklad modelu prostorového slyšení. *Umelá inteligencia a kognitívna veda I*, Kvasnička V., Pospíchal J., (editoři), STU, Bratislava, Slovakia, 281-298, 2009.

Vedoucí práce: doc. MUDr. RNDr. Petr Maršálek, PhD., [petr.marsalek@lf1.cuni.cz](mailto:petr.marsalek@lf1.cuni.cz), podpis:  
Pracoviště: Ústav patologické fyziologie, 1. LF UK, U Nemocnice 5, 128 53, Praha 2  
a Katedra biomedicínské techniky, FBMI ČVUT, nám. Sítná 3105, 272 01,

Kladno

Oponent: Dr. Ing. Libor Husník, [husnik@fel.cvut.cz](mailto:husnik@fel.cvut.cz),  
Katedra radioelektroniky FEL ČVUT, Technická 2, 166 27, Praha 6

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci zpracoval samostatně. Zdroje informací, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedené v seznamu použité literatury.

.....

**datum**

.....

**podpis**

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval zejména panu Doc. MUDr. RNDr. Petru Maršálkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, její korekce, odborné konzultace, sjednávání schůzek s ostatními kolegy atd. Panu Ing. Františku Rundovi Ph.D. zejména za pomoc při měření stejně, jako panu Ing. Dominiku Štorkovi a Ing. Marku Drápalovi.

Mému otci Ing. Rudolfu Slaničkovi za rady ohledně výroby a zejména za pomoc při praktickém zhotovování vlastního modelu hlavy. Samozřejmě zde nemohu opomenout ani mou matku Annu Slaničkovou. Celá výroba manekýna se uskutečnila v domácí dílně a domácích podmínkách, kde mi byly oba rodiče oporou.

Panu Ing. Karlu Růžičkovi za odborné vedení a konzultace při práci na výkresové dokumentaci celé práce.

Panu Doc. Ing. Františku Kadlecovi, CSc., který mi umožnil na půdě FEL- ČVUT podívat se na podobný model hlavy. Zároveň mi pan Doc. Kadlec laskavě zapůjčil normy, z nichž jsem vycházel a technickou dokumentaci k dalším komerčně vyráběným modelům, které jsem ve své práci využil.

Panu Ing. Janu Kryštůfkovi a panu Ing. Jaromíru Horáčkovi, DrSc., u nichž jsem se mohl seznámit na Ústavu termomechaniky s podobnými projekty.

Mé poděkování patří i podpoře z výzkumného záměru MŠMT: Transdisciplinární výzkum v biomedicínckém inženýrství II, číslo: 6840770012.

# ČESKÝ ABSTRAKT

## **Konstrukce manekýna hlavy pro studium prostorového slyšení**

Předmětem práce je konstrukce manekýna hlavy pro akustické studium prostorového slyšení. Jeho tvary a rozměry jsou převážně dány telekomunikačními normami pro testování náhlavních souprav. Rozdíly od norem jsou dány použitím hlavy, která je zkonstruována pro účely simulací zvukových prostředí uvnitř a vně hlavy. Tyto simulace budou sloužit při studiu normálního a patologického prostorového slyšení. Hlava je vyrobena z kompozitního materiálu (umělé dřevo). Dutiny uvnitř jsou osazeny mikrofony a reproduktorem, a umožňují měření šíření zvuku uvnitř a vně hlavy. Detailně diskutujeme postup konstrukce včetně popisu výrobního postupu po jednotlivých krocích.

# ENGLISH ABSTRACT

## **Manikin of head for tests of spatial sound localization**

We designed a custom made manikin head for acoustical studies of spatial hearing. Its shape and dimensions mostly follow the telecommunication norms for headset testing. The differences from the norms are given by its purpose in simulations of acoustic environments outside and inside head. These simulations will be used for studies of normal and impaired binaural hearing. The head is manufactured from a composite material (artificial wood). The cavities inside are fitted with microphones and loudspeaker and enable measurements of sound propagation inside and outside of the head. We discuss a manufacturing procedure in detail together with step-by-step production instructions.

## **OBSAH:**

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2. FYZIOLOGICKÝ ÚVOD SLYŠENÍ.....</b>	<b>4</b>
2.1 Význam mezní hodnoty 2 kHz .....	7
2.2 Intenzitní rozsah.....	8
2.3 Vedení a detekce zvukových signálů.....	10
2.4 Centrální zpracování zvukové informace .....	15
2.5 Směrová analýza zdroje zvuku .....	15
2.5.1 Časový klíč lokalizace zdroje zvuku.....	16
2.5.2 Intenzitní klíč lokalizace zdroje zvuku .....	17
2.5.3 Vliv ušního boltce .....	19
<b>3. KONSTRUKCE MANEKÝNA .....</b>	<b>20</b>
3.1 Výběr normy .....	22
3.2 Výkresová dokumentace manekýna .....	23
3.3 Výkresová dokumentace podstavce.....	24
3.4 Návrhy uložení mikrofonů.....	25
<b>4. KONSTRUKČNÍ ZMĚNY A ODLÍŠNOSTI OPROTÍ NORMĚ.....</b>	<b>27</b>
4.1 Vnitřní dutina .....	27
4.1.1 Krk .....	29
4.2 Nos .....	29
4.3 Zvukovody .....	30
4.4 Uložení mikrofonů.....	30
4.5 Dělicí rovina.....	31
4.5.1 Kolíky pro vymezení polohy obou polovin manekýna.....	32
4.5.2 Spojovací soustava obou polovin manekýna .....	32
<b>5. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY MANEKÝNA.....</b>	<b>34</b>
5.1 Technologie výroby .....	34
5.2 Soupis použitého materiálu.....	36
<b>6. MĚŘENÍ.....</b>	<b>40</b>
6.1 Popis podmínek měření.....	40
6.1.1 Soupis použitých technických prostředků .....	42
6.1.2 Výběr aktivačního signálu .....	45
6.2 Metodika měření .....	46
6.3 Elektretové mikrofony .....	52
6.4 Zvukovod .....	53
6.5 Odezvy na budící signál v časové oblasti .....	54
6.6 Měření akustického stínu manekýna.....	60
6.7 ÚLOHA Č. 1 .....	64
6.8 ÚLOHA Č. 2.....	69
6.9 ÚLOHA Č. 3.....	74

<b>7. DISKUZE.....</b>	<b>81</b>
7.1 Prostorové slyšení .....	81
7.2 Měření .....	81
7.3 Porovnání norem.....	82
<b>8. ZÁVĚR.....</b>	<b>84</b>
<b>9. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>85</b>
Příloha č. 1 .....	86
Příloha č. 2 .....	86
Příloha č. 3 .....	86
<b>PŘÍLOHA č. 1 .....</b>	<b>87</b>
P1.1 Technologické postupy výroby šablon .....	87
P1.2 Technologické postupy výroby manekýna .....	88
P1.2 Technologické postupy výroby podstavce.....	98
<b>PŘÍLOHA č. 2 .....</b>	<b>101</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VS .....šablona, která sloužila k vyfrézování segmentů

VT .....šablona, která sloužila k tvarování segmentů

H .....materiálová položka použitá na výrobě sestavy hlavy manekýna

P .....materiálová položka použitá na výrobě sestavy podstavce manekýna

V .....materiálová položka použitá na výrobě ochranného vaku

MLS ... maximum length sequences

## PŘEHLED POUŽITÝCH FYZIKÁLNÍCH SYMBOLŮ A VELIČIN

$f$ ... frekvence [Hz]

$T$ ... perioda [s]

$l_v$  ... vlnová délka [m]

$l_1$  ... délka v přímém směru [m]

$l_2$  ... délka po odrazu [m]

$v_z$  ... rychlost zvuku 346,3 [m/s] pro suchý vzduch o teplotě 25°C

$t$  ... čas [s]

$t_1$  ... čas potřebný k uražení vzdálenosti v přímém směru [s]

$t_2$  ... čas potřebný k uražení vzdálenosti při odrazu od podlahy [s]

$\Delta d$  ... rozdíl v dráze, mezi bližším a vzdálenějším uchem [mm]

$r_h$  ... poloměr hlavy  $v$  [cm]

$\alpha$  ... úhel pod nímž dopadá zvuková vlna [Rad]

$\alpha_1$  ... úhel naklonění ušních boltců o velikosti 32 [°]

$\alpha_2$  ... úhel naklonění ušních boltců o velikosti 47 [°]

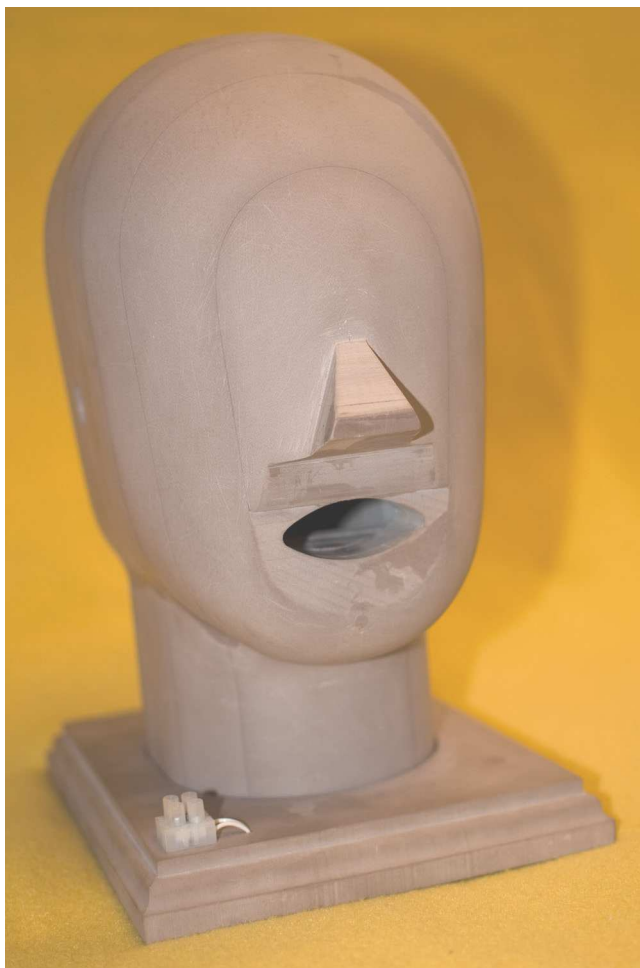
$\alpha_3$  ... úhel naklonění ušních boltců o velikosti 66 [°]

$\Delta t$  ... rozdíl v čase [s]

$\Delta t_1$  ... výsledný časový rozdíl [s]

$\Delta t_2$ ... výsledný časový úsek vhodný k měření od počátku [s]

**Obrázek č. 1-1 Celkový pohled.** Na obrázku je znázorněn vyrobený manekýn skládající se z hlavy a podstavce.



## 1. ÚVOD

Hlavním cílem práce bylo ve skromných podmínkách a při dostupné ceně zkonstruovat manekýna hlavy pro akustická měření při výzkumu prostorového slyšení u normálního sluchu a při různých patologických ztrátách sluchu. Abychom dosáhli určité celistvosti textu této diplomové práce, na určitých místech je referováno o práci, která byla provedena celým pracovním kolektivem. Členové tohoto kolektivu jsou zejména (v abecedním pořadí) ing. M. Drápal, Dr. P. Maršálek a Ing. R. Slanička. Jejich přínos byl zmíněn v poděkování, zde poznamenávám, že se podíleli na konečném vyznění následujících kapitol a oddílů: úvodu, měření, závěru a diskuse. Cíle práce bylo dosaženo mimo jiné i díky pomoci ostatních členů pracovního kolektivu.

Zhotovení manekýna, respektive torsa hlavy a krku, je třeba pro praktickou simulaci prostorového slyšení a popřípadě i kostního vedení zvuku. Z tohoto důvodu má mnou navržený a zhotovený model zabudovaný zdroj zvuku, jímž je reproduktor uložený ve fyziologické oblasti hlasivek. Účelem stavby manekýna a jeho měření je simulace prostorového slyšení a ověření si například útlumu zvuku a jiných akustických jevů, projevujících se při normálním slyšení člověka.

Z hlediska akustiky je lidská hlava velmi složitá část lidského těla s řadou oblastí, orgánů a tkání, jež silně ovlivňují ať už způsob generování zvuků, jejich úpravu, tak i šíření a tím celkový výsledek akustického signálu distribuovaného vnějšímu prostředí. Takto složitý a různorodý model není prakticky možné vytvořit. Proto nezbývá, než celý model zjednodušit, avšak s maximální snahou o zachování nejdůležitějších částí, které by na výsledný zvukový výstup mohly mít zásadní vliv. Mezi ně v mnou vytvořeném torsu hlavy patří například volba použitého materiálu, snaha o co největší homogenitu celé soustavy, simulace důležitých dutin, jakými jsou např. dutina nosní a ústní atd. Zásadní vliv na funkci celé soustavy má samozřejmě i vnější tvar hlavy. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl konstrukcí vnějších tvarů vycházet z normy ITU-T Recommendation P.58 určené pro mezinárodní telekomunikační unii.

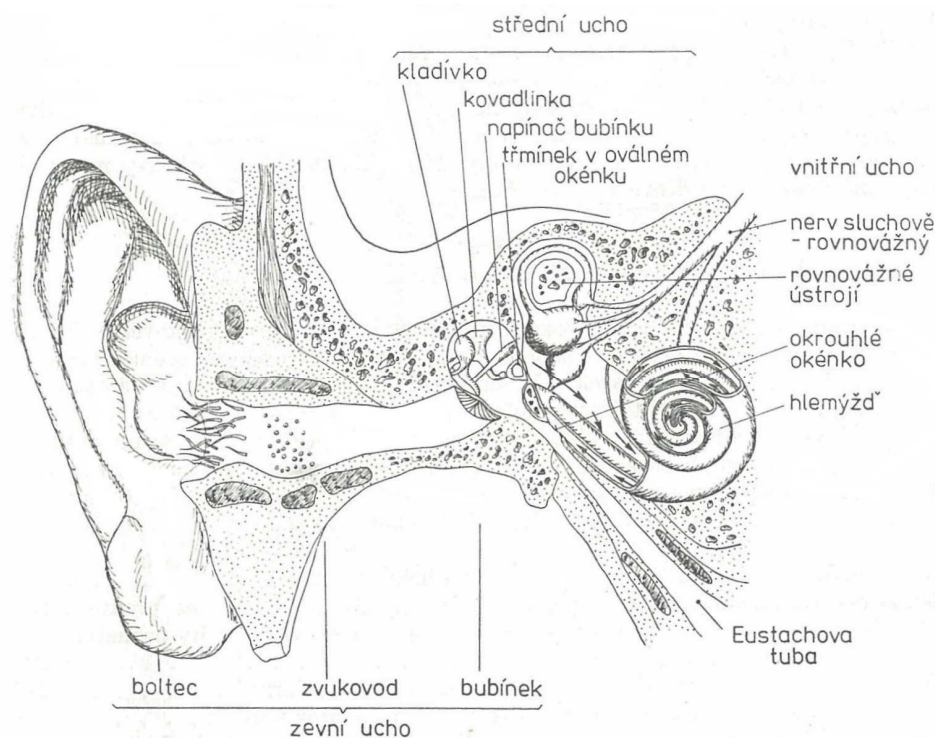
Jak už jsem zmínil v předchozím textu, právě volba materiálu, ze kterého je hlava vyrobená, je jedním z klíčových vlivů při správné funkci a věrohodného měření. Po konzultaci s panem Doc. Kadlecem jsem se rozhodl pro kompozitní materiál RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25, jež se hovorově nazývá „umělé dřevo“. Tento materiál se běžně užívá pro výrobu modelů sloužících k vytváření např. licích forem ve strojírenství apod. a právě na půdě ČVUT s ním mají velmi dobré zkušenosti. Materiál je svými vlastnostmi zejména hustotou velmi podobný přírodnímu dřevu, avšak jeho struktura je kompaktní a homogenní. Dále se velmi snadno a dobře opracovává, lepí a tmelí.

## 2. FYZIOLOGICKÝ ÚVOD SLYŠENÍ

V této kapitole jsem se pokusil nastínit problematiku slyšení z hlediska lidské fyziologie a částečně i fyziky.

V úvodu uvádím anatomický nákres lidského sluchového aparátu se všemi jeho částmi a orgány. [4]

**Obrázek č. 2-1 Sluchový aparát.** Na obrázku je znázorněn řez sluchovým aparátem, s vyznačením některých částí vnějšího, středního a vnitřního ucha. Dále je zde pomocí šipek znázorněn přestup zvuku cochleou. (Převzato z [4].)



Celý sluchový aparát člověka se skládá ze 3 hlavních částí - zevní ucho, střední ucho a vnitřní ucho. Zevní ucho se skládá z boltece a zvukovodu. Je ukončeno bubínkem. Boltec a zevní část zvukovodu v podobě zhruba 1/3 je tvořen chrupavkou. Vnitřní část kostěným zvukovodem. Zevní ucho je pokryto kožním krytem, který má ve zvukovodu pokožku pružnou a měkkou. Tvoří jakýsi směrový nástavec pro zachycení zvuků bubínkem. Délka zvukovodu je asi 23 až 24 mm, přičemž jeho osa je odkloněna lehce dozadu a dolů. Dále je lehce dvakrát ohnuta a má oválný průřez. Jeho objem je 1,2 až 1,5 ml. Má vliv na impedanci a též na rezonanci zevního ucha. Střední ucho má objem přibližně 2 ml. Od zevního ucha je odděleno bubínkem, vnitřní stěna je tvořena

kostěnou stěnou, ve které je uloženo vnitřní ucho a v ní jsou 2 okénka- oválné a okrouhlé vedoucí k hlemýždi. V dolní části je vyústění Eustachovy trubice, spojující střední ucho s nosohltanem. Tato trubice udržuje vzdušnost dutiny za bubínkem. [4]

Z hlediska fyzikální podstaty je zvuk podélné mechanické vlnění, jež se šíří od zdroje ve vlnách, které mají kulový tvar. Toto kmitání se šíří v prostoru o stejné hustotě konstantní rychlostí a s úbytkem v intenzitě. Vzniká pohybem molekul prostředí, ať už se jedná o vzduch či pevnou hmotu. Čím vyšší má dané prostředí hustotu, tím rychleji se zvuk šíří. Tento fyzikální poznatek se uplatňuje zejména u přenosu zvukových vln přes kosti a kůstky, či v tekutině cochley. Vibracemi částic vzduchu dochází ke střídavému zhušťování a zředování prostředí, čímž je vytvářen tlak. Dochází-li k tomuto jevu ve frekvencích slyšitelných pro lidský zvukový aparát, pak lze hovořit o zvukovém tlaku.

Frekvenční rozsah, který dokáže lidský sluchový aparát zaznamenat je obecně zhruba od 16 Hz do 20 kHz. Zejména krajní hodnoty tohoto rozmezí jsou individuální každému jedinci s ohledem na zdravotní stav jeho sluchového aparátu, věk atd. Například právě horní sluchová hranice ve stáří často klesá a to až na hodnoty pouhých 5 kHz (presbycusis). Rychlost šíření zvuku závisí na prostředí, kdy ve vzduchu při teplotě 20 °C a atmosférickém tlaku 101,32 kPa se zvuk šíří rychlostí 346,3 m za sekundu.

Právě správné pochopení vlnové délky akustických vln je nezbytné k vlastnímu výkladu fyziologického rozsahu, jímž disponují lidé. Rád bych zde uvedl příklad výpočtu vlnové délky:

VÝPOČET VLNOVÉ DÉLKY NA PRAHU SLYŠITELNOSTI  $f = 20 \text{ Hz}$

$$f = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ s}$$

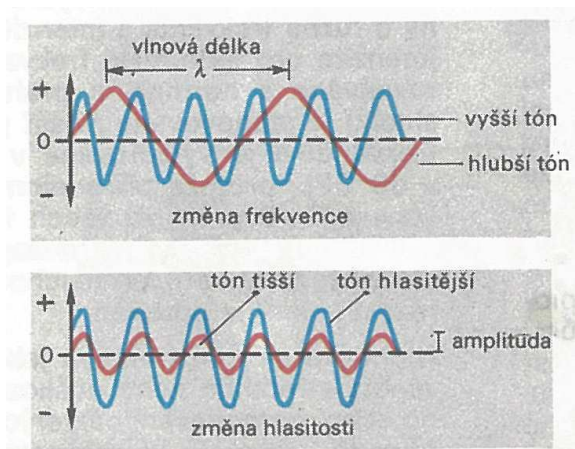
$$l_v = v_z \cdot t \quad \Rightarrow \quad l_v = 346,3 \cdot 0,05 = 17 \text{ m}$$

f... frekvence [Hz]  
 T... perioda [s]  
 $l_v$  ... vlnová délka [m]  
 $v_z$  ... rychlost zvuku 346,3 [m/s]  
 t ... [s]

Z tohoto modelového výpočtu vyplývá, že v případě nejnižších slyšitelných kmitočtů, kdy frekvence dosahuje hodnot 20 Hz, dosahuje vlnová délka 17 m a perioda 0,05 s. Naopak na opačném prahu rozsahu slyšitelnosti, jehož frekvence odpovídá 20 kHz, dosahuje vlnová délka 17 mm a periody 50  $\mu$ s. Z těchto poměrně jednoduchých výpočtů je patrné, jak velký rozsah vlnových délek (3 řády) je sluchový aparát průměrně zdravého člověka schopný obsáhnout.

Z hlediska fyzikální podstaty akustického vlnění je třeba ještě vysvětlit některé subjektivní dojmy, které při analýze zvukových signálů sluchový aparát člověka vytváří. Prvním z nich je intenzita akustického signálu, tedy rozlišení tónů „tišších“ a tónů „hlasitějších“. Fyziologicky je tato problematika obsáhlejší a je vysvětlena dále. Z hlediska fyzikálního se však jedná o odlišnou velikost amplitud vlnění, jak je znázorněno na obrázku č. 2-2 Charakteristiky zvuku. [3] Tóny, které jsou subjektivně „hlasitější“ mají vyšší hodnoty amplitud, než tóny, jež se nám zdají subjektivně „tišší“.

**Obrázek č. 2-2 Charakteristiky zvuku.** Zvuky o nižších vlnových délkách se subjektivně jeví jako tónově vyšší a naopak. Zvuky, jež dosahují nižších hodnot amplitud, se subjektivně jeví jako tišší a naopak. Na ose x je čas v [ms], na ose y je akustická tlak v [dB]. (Převzato z [3].)



Dalším jevem je „výška tónů“, respektive rozdíl, mezi tóny „vyššími“ a tóny „nižšími“. Tento jev je z fyzikálního hlediska způsoben rozdílnou vlnovou délkou, jak

je rovněž znázorněno na obrázku. Tóny, jež se nám zdají subjektivně „vyšší“ mají nižší vlnovou délku, než tóny, jež se nám zdají subjektivně „nižší“.

Zmínil jsem zde termín tón, který je také třeba vysvětlit. Jako čistý tón je označováno vlnění, které má sinusový průběh. Například komorní „a“ odpovídá frekvenci 440 Hz. Takto zahrané komorní „a“ na flétně či na houslích však bude evokovat odlišný subjektivní dojem, i když bude použita frekvence v obou případech odpovídat frekvenci 440 Hz. Rozdíl takto detekovaného subjektivního dojmu je způsoben tím, že zvuky v řeči, hudbě, či vnějšního prostředí jsou mnohem komplexnější. Vznikají složením mnoha rozličných frekvencí (např. harmonických, subharmonických) a amplitud. Takto vzniklý výsledný zvukový signál má již zcela odlišný průběh od původního sinusového. Například u hudebních nástrojů základní frekvenci doplňuje každý nástroj o vyšší frekvence, které jsou dány konstrukcí a jsou pro každý nástroj specifické. Tyto diference jsou charakteristické pro různé zdroje zvuku, ať už se jedná o hudební nástroj, či lidský hlas. Právě této jedinečnosti zvukového signálu v podobě hlasu každého jedince může být využíváno k jeho identifikaci stejně, jako například daktyloskopických otisků bříšek prstů či charakteristických struktur duhovek očí.

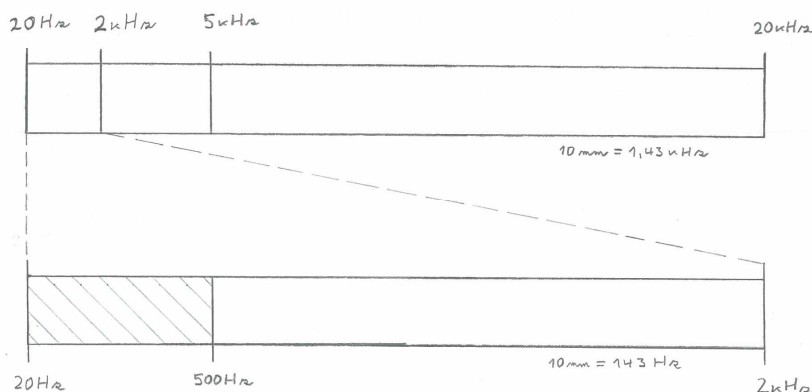
## 2.1 Význam mezní hodnoty 2 kHz

Z hlediska fyziky, fyziologie i anatomie je významná frekvence o velikosti 2 kHz. Vlnová délka této frekvence odpovídá 17 cm, což je zhruba anatomická rozteč poloh ušních boltců. Na základě těchto údajů lze např. pochopit skutečnost, proč časový rozdíl jednotlivých vln akustického signálu v dopadu na ušní bubínky se uplatňuje pouze do frekvence o velikosti 2 kHz, kdy perioda činí 500  $\mu$ s. Zdroj zvukových signálů lze na základě jejich fyzikálních vlastností detekovat v prostoru dle vlnových délek. U signálů o frekvenci 20 Hz až 20 kHz je jejich vlnové délka 17 m až 17 cm. Pro hluboké tóny do 500 Hz se ale směrový účinek vůbec neprojevuje (na obrázku č. 2-3 znázorněno vyšrafovanou částí), protože vlnová délka je velmi dlouhá vůči rozměrům boltce.

Z tohoto poznatku však i vyplývá, že vyšší frekvence dosahují nižších vlnových délek, tedy od 17 cm do 17 mm, a proto již nelze lokalizovat zdroj zvuku v prostoru dle vlnových délek. Prakticky je sluch vybaven systémem zpoždění, který i v tomto případě zanedbá druhou vlnu. V principu však platí, že u nízkých frekvencí je rozhodující časové zpoždění, s jakým akustická vlna dorazí na vzdálenější ucho, zatímco ve vysokých frekvencích rozhoduje intenzitní rozdíl mezi akustickým tlakem na

obou uších. [2] Frekvenční rozsahy jednotlivých principů kódování poloh zdroje zvuků jsou znázorněny na obrázku č. 2-3 Frekvenční rozsah.

**Obrázek č. 2-3 Frekvenční rozsah.** V horní části obrázku je znázorněn celý akustický rozsah frekvencí, jež je schopný vnímat zdravý člověk. V dolní části je pak pro názornost zvětšeno pásmo, ve kterém se uplatňuje lokalizace zdroje zvuku pomocí vlnových délek. Na ose x je frekvence v [kHz].



Z tohoto obrázku je patrné, jak relativně malou část z celkového spektra slyšitelnosti u člověka zaujímá lokalizace zdroje zvuku v prostoru pomocí vlnových délek.

## 2.2 Intenzitní rozsah

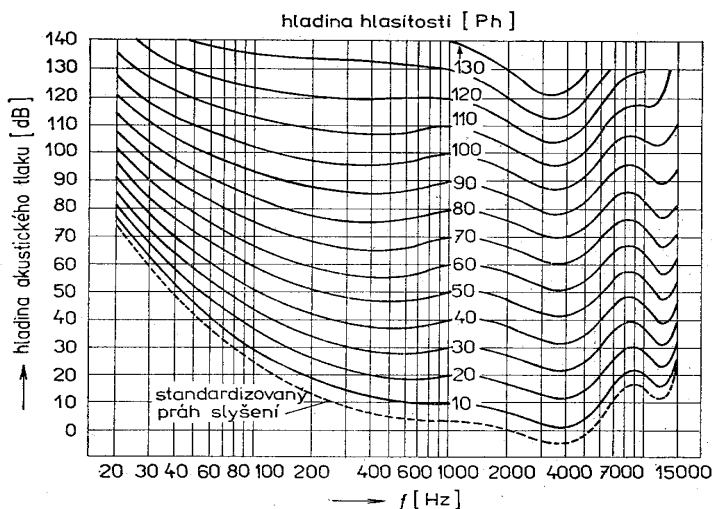
Rozsah akustických tlaků, jež je sluchový aparát schopný detekovat, je ještě mnohem širší. Tlakový práh pro zvukový podnět však kolísá a to v závislosti na frekvenci. Maximální citlivost sluchu je mezi 2 a 5 kHz. Akustický tlak nad zhruba 20 Pa a více (dle aplikované frekvence) již působí jako pocit bolesti a může poškodit zvukové čidlo.

Právě kvůli značnému rozsahu citlivosti sluchového orgánu vyjadřujeme akustický tlak ve stupnici, jejíž jednotky jsou bely, či častěji decibely ( $1 \text{ dB} = 0,1 \text{ bel}$ ). Název jednotky je podle A. G. Bella, vynálezce telefonu. Tato stupnice je logaritmická. To znamená, že 0 dB neznámá úplné chybění zvuku, ale standardní akustický tlak ( $p_0$ ) pro práh slyšení  $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ . Jednotkou pro práh zvuku je hladina akustického tlaku (sound pressure level- SPL). Pro každý vyšší tlak zvuku ( $p_x$ ) platí:  $\text{SPL} = 20 \times \log p_x /$

$p_0$  (dB SPL). To znamená, že např. desetinásobné zvýšení tlaku zvuku odpovídá zvýšení hladiny tlaku zvuku o 20 dB. Zvýšení tisícinásobně pak o 60 dB.

Intenzita zvuku  $I$  ( $W / m^2$ ) je úměrná čtverci akustického tlaku a vyjadřuje úroveň toku. Zajímavé zjištění však je, že subjektivně neslyšíme dva zvuky se stejným akustickým tlakem, ale s rozdílnou frekvencí stejně hlasitě. Rád bych zde uvedl menší příklad na vysvětlení této problematiky. Působíme-li například na sluchový aparát člověka akustickým signálem č.1 o intenzitě akustického tlaku  $I_1 = 60$  dB a o frekvenci  $f_1 = 6$  kHz a akustickým signálem č.2 o intenzitě akustického tlaku  $I_2$  srovnatelnou s  $I_1$  tedy 60 dB, ale o rozdílné frekvenci  $f_2 = 10$  kHz, subjektivně bude daný člověk detekovat odlišný akustický tlak (intenzitu), i když je použitý akustický tlak v obou případech stejný, tedy  $I_1 = I_2 = 60$  dB. Z tohoto jednoduchého porovnání vyplývá, že chceme-li docílit subjektivního srovnání dvou akustických signálů o různých frekvencích, musíme měnit i velikost akustického tlaku druhého signálu, respektive provést korekci pomocí velikosti jeho akustického tlaku. Například tón o frekvenci 40 Hz člověk registruje stejně hlasitě, jako tón o frekvenci 1000 Hz, až když se jeho akustický tlak zvýší 1000x, což odpovídá zvýšení o 40 dB. Jednotkou subjektivní hladiny hlasitosti je jeden fón. Podle subjektivních pocitů byl vytvořen diagram (dB – Hz), kde jsou zakresleny linie stejné hlasitosti zvuků, tzv. izofóny, jak je znázorněno na obrázku č. 2-4 Křivky hladin stejné hlasitosti. [3], [4]

**Obrázek č. 2-4 Křivky hladin stejné hlasitosti.** V tomto grafu jsou křivkami znázorněny vztahy, mezi akustickým tlakem a frekvencí pro hodnoty, jež se subjektivně jeví jako zvukové signály stejných hladin hlasitostí. Na ose x je frekvence  $v$  [Hz], na ose y je hladina akustického tlaku  $v$  [dB]. (Převzato z [4].)



Právě při frekvenci 1 kHz je fónová stupnice definována ve stejném měřítku, jako decibelová. To znamená, že dolní hranice slyšitelnosti, tedy úroveň 4 fónů (na obrázku znázorněnou izofónou červené barvy) odpovídá 4 dB. Naopak horní hranice slyšitelnosti, tedy 130 fónů odpovídá 130 dB, což je hranice nesnesitelné bolesti a možného trvalého poškození sluchového aparátu. Fónové hodnoty byly získány pouze subjektivním zhodnocením pro tytéž hlasitosti při měnících se frekvencích.

## 2.3 Vedení a detekce zvukových signálů

Zvukové vlny se šíří od zdroje v podobě podélného vlnění, jak již bylo popsáno výše. Z hlediska směřování zdroje zvuku se uplatňují tvary ušních boltců, které dokáží pozitivně ovlivnit směřování tónů o frekvencích kolem 5 kHz. Naopak negativní vliv tvoří ušní boltce ze směrů zadních, tedy týlu, kdy tvoří akustický stín.

Po vstupu akustických vln do ústí zvukovodů se vlny šíří těmito zvukovody až do oblasti bubínku, kam dopadají a kterým jsou pohlcovány. Bubínek má nálevkovitý tvar, jež má vrchol směřován dovnitř. Je napjat ve vazivovém rámu a z obou stran je pokryt jemnou blankou. Z vnitřní stěny je k němu přirostlý výběžek kůstky kladívka, který se upíná v podélné ose. Hlavička kladívka je spojena téměř pevným kloubem s kovadlinkou. Kovadlinka vybíhá v dlouhý výběžek, který se ohýbá lehce směrem k vnitřní stěně, kde se spojuje s třmínkem. Ten srůstá s blankou oválného okénka. Anatomický řez sluchovým aparátem je schematicky znázorněn na obrázku č. 2-1.

Při pohlčení akustických vln, které dopadají na plochu bubínku však jejich akustický tlak nezaniká. Tento tlak se přenáší na kůstky středního ucha (kladívko, kovadlinka, třmínek), jež způsobí jeho zesílení. Systém kůstek působí jako pákový mechanismus. Při dopadu akustických vln na povrch bubínku dochází k mírnému zesílení mechanické energie v poměru 1 : 1,1 až 1,3. Daleko většího zisku se ale dosahuje koncentrací tlaku zvukového na hydraulickém principu. Z velké plochy bubínku se koncentruje na malou plochu ploténky třmínku v poměru 1 : 14 až 21. Zvukové kmity o větší výchylce a o malé síle se tak přemění na menší výchylky o větší síle, které jsou schopny uvést do pohybu tekutinu. Zesílení při přenosu zvukové energie tímto systémem je 1 : 18,3. Tímto způsobem umožnil vývoj překonat velkou ztrátu zvukové energie, ke které dochází při přechodu zvuku z prostředí vzdušného do vodního. [4] Bylo prokázáno, že převod kůstkami zlepšuje sluchovou ostrost o 10 až 20

dB. Hlavní funkcí těchto kůstek je tedy překonání odporu (impedance) při přenosu zvukových vln ze vzdušného prostředí do tekutin vnitřního ucha. Plocha oválného okénka, které tvoří vstup akustických signálů do vnitřního ucha, je přibližně 20x menší, než plocha bubínku. Bez kůstek středního ucha by se zvukové vlny od membrány oválného okénka více odrážely. Přímé vedení zvuku ze vzdušného prostředí do vnitřního ucha by proto bylo málo účinné. Kůstky středního ucha tedy nepůsobí jen zesílení zvukových vln, ale podstatně zlepšují i jejich přenos a směřování. Tomuto faktu významně napomáhá i fyzikální podstata akustického vlnění, respektive vyšší rychlost a menší útlum jeho šíření v prostředí s vyšší hustotou.

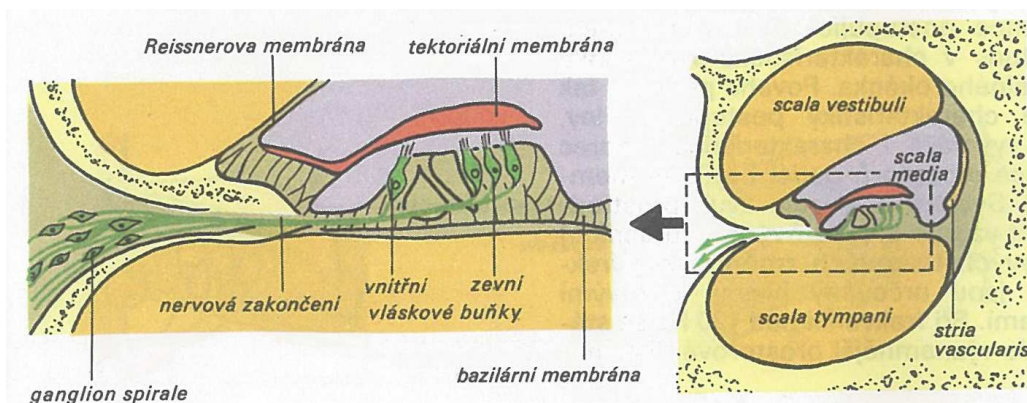
Akustické vlastnosti středoušní dutiny jsou dále ovlivňovány i působením Eustachovy trubice a středoušních svalů. Bubínkový sval působí na napětí bubínku tím, že bubínek lehce vtahuje dovnitř. Třmínkový sval ovlivňuje pohyblivost třmínku v okénku. Oba jsou ovládány reflexně a dochází u nich ke konstrikci při podráždění sluchového aparátu silnými podněty. Práh intenzity těchto podnětů činí 65 až 85 dB. Reflex má latenci (časové zpoždění) 10 až 150 ms. Projev je oboustranný, tedy i u ucha, které nebylo přímo vystaveno prahovému podnětu. Nejúčinnější je tato ochrana pro zvuky do frekvence 2 kHz. Mechanismy ochrany jsou změny napětí obou svalů, tím se změní i pevnost kloubů a dochází i k vychýlení osy otáčení, čímž dochází ke snížení vnímané hlasitosti silných zvuků.

Na přenos vnějších akustických signálů se v mnohem menší míře, avšak částečně podílí i kostní vedení. Uskutečňuje se zejména prostřednictvím přenosu zvukových vibrací lebkou a dalšími tkáněmi. Snížení výsledného účinku tohoto druhu přenosu je způsobeno vzduchem, jež vyplňuje středoušní dutinu. Ten svou fyzikální podstatou potlačuje zvuky jiné, než které přicházejí cestou převodní, tedy prostřednictvím systému středoušních kůstek. Jak již bylo řečeno, fyziologicky tento podíl sice nemá větší význam, avšak využívá se zejména k diagnostice sluchové ostrosti, či při poruchách zvukovodů popř. oblastí středního ucha. Frekvence zvukových signálů, které jsou tímto způsobem nejlépe přenášeny, odpovídají subjektivním dojmům „hlubokých tónů“, tedy vlnění o větších vlnových délkách, které začínají na prahu 20 Hz. Tento jev je způsoben opět fyzikálními vlastnostmi, respektive nižším odporem prostředí o vyšší hustotě při přenosu právě takového vlnění.

Po přenosu kůstkami středního ucha vstupují akustické signály do poslední části sluchového aparátu a tou je ucho vnitřní. Ve vnitřním uchu dochází ke kmitočtové analýze zvuku. Je uloženo v kostěném pouzdře spánkové kosti. Skládá se ze dvou

smyslových orgánů. Prvním z nich je ústrojí sloužící pro vnímání polohy těla a pohybů v prostoru, tedy ústrojí rovnovážné (vestibulární). Druhým ústrojím, které je z hlediska akustiky zásadní, je ústrojí pro vnímání zvuků, tedy blanitého hlemýždě (cochleu), který u člověka dosahuje délky přibližně 35 mm a má  $2 + \frac{3}{4}$  závitů. Vstupní částí tohoto segmentu je oválné okénko, na nějž dosedá třímínek. Je tvořen 3 prostory scala vestibuli, scala media a scala tympani. Scala vestibuli a scala tympani obsahují perilymfu a vzájemně splývají v kopuli hlemýždě tzv. helikotremě. Mezi těmito prostory jsou 2 membrány- Reissnerova membrána a bazilární membrána, jak je znázorněno na obrázku č. 2-5 Cochlea. [3]

**Obrázek č. 2-5 Cochlea.** V pravé části obrázku je znázorněn celkový průřez cochleou. V levé pak detailní znázornění Cortiho orgánu rovněž v řezu. (Převzato z [3].)



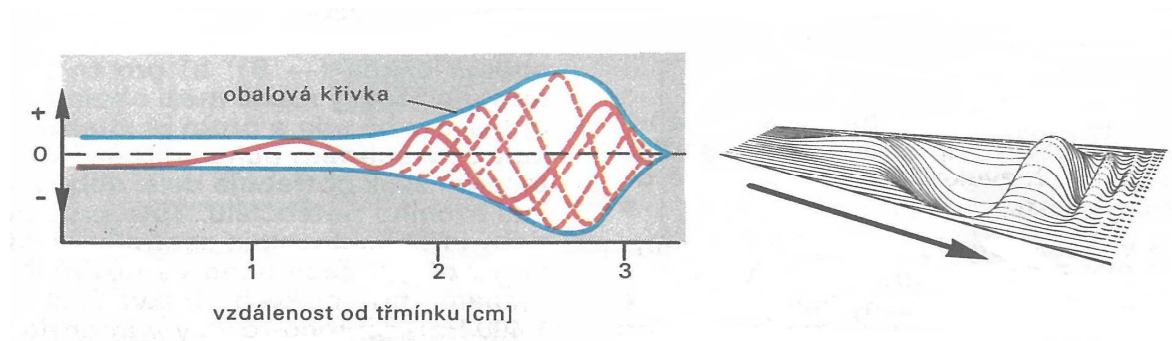
Z fyzikálního hlediska se tedy zvukové vlny přenáší soustavou kůstek středního ucha na oválné okénko, kde rozkmitají jeho membránu. Zpětně se tlak vyrovnává přes kulaté okénko. Tato situace je znázorněna na obrázku č. 2-1 Sluchový aparát. Prakticky tedy dochází k tomu, že když se membrána oválného okénka vyklene vlivem vstupujícího mechanického vlnění dovnitř, membrána kulatého okénka se vyklene ven, aby vyrovnala tlakový rozdíl, jenž by jinak mohl nevratně poškodit tkáň vnitřního ucha. U přenosu mechanického vlnění vzduchem tento mechanismus vyrovnávání tlaků není třeba, jelikož je vzdušné prostředí stlačitelné. U kapaliny v podobě perilymfy tomu tak není. Takto převedené kmity se dále přenáší do prostředí perilymfy a postupují dále přes scala vestibuli do scala tympani. Scala media obsahuje endolymfu a nemá přímé spojení ani se scala vestibuli, ani se scala tympani. K detekci sluchových vjemů dochází na bazilární membráně, kde je umístěn tzv. Cortiho orgán, jež je tvořen dvěma řadami vláskových buněk. Tyto buňky tvoří smyslové buňky a překrývá je tzv. tektoriální

membrána. Do této membrány jsou vlásky buněk zanořeny. Cortiho orgán člověka obsahuje okolo 224 000 receptorů buněk a v jeho sluchovém nervu je přibližně 28 000 vláken. [3]

I když není scala media se scala vestibuli ani se scala tympani přímo propojena, vibrace šířící se v perilymfě se vlivem pružných a relativně tenkých stěn Reissnerovy membrány přenášejí z perilymfy do endolymfy, tedy do prostoru scala media. Skrze scala media se vibrace přenášejí dále až do prostoru scala tympani a to přes bazilární membránu. Bazilární membrána je při bázi hlemýždě relativně neohebná, ale stává se širší a pružnější směrem k apexu cochlely. Vibrace bazilární membrány jsou převáděny podél celé její délky, nicméně směrem k apexu se jejich velikost zmenšuje. To je způsobeno zvýšenou tuhostí membrány právě v tomto směru. Tento mechanický jev je zásadní pro analýzu frekvenčního spektra, jež sluchový orgán analyzuje. Čím vyšší jsou totiž frekvence přenášené bazilární membránou, tím vyšší je i její útlum pro tyto frekvence. Jinými slovy se dá tato problematika vyjádřit i tak, že nejdále je v prostředí bazilární membrány přeneseno vlnění o nižších frekvencích. Naopak vlnění o frekvencích vyšších zaniká brzy po vstupu na bazilární membránu.

Až do 200 Hz je celá scala media v pohybu. Nad 200 Hz již tomu tak není- čím vyšší frekvence vstupuje, tím menší segment se pohybuje. Tyto pohyby odpovídají vlně, která postupuje po celé její délce, jak je graficky znázorněno na obrázku č. 2-6 Šíření vlnění endolymfatickou trubicí. Rychlost vzniklé vlny šířící se v prostorách hlemýždě se rovněž mění a to v závislosti na útlumu v tekutině, pružnostmi tkání a tvarem prostoru hlemýždě.

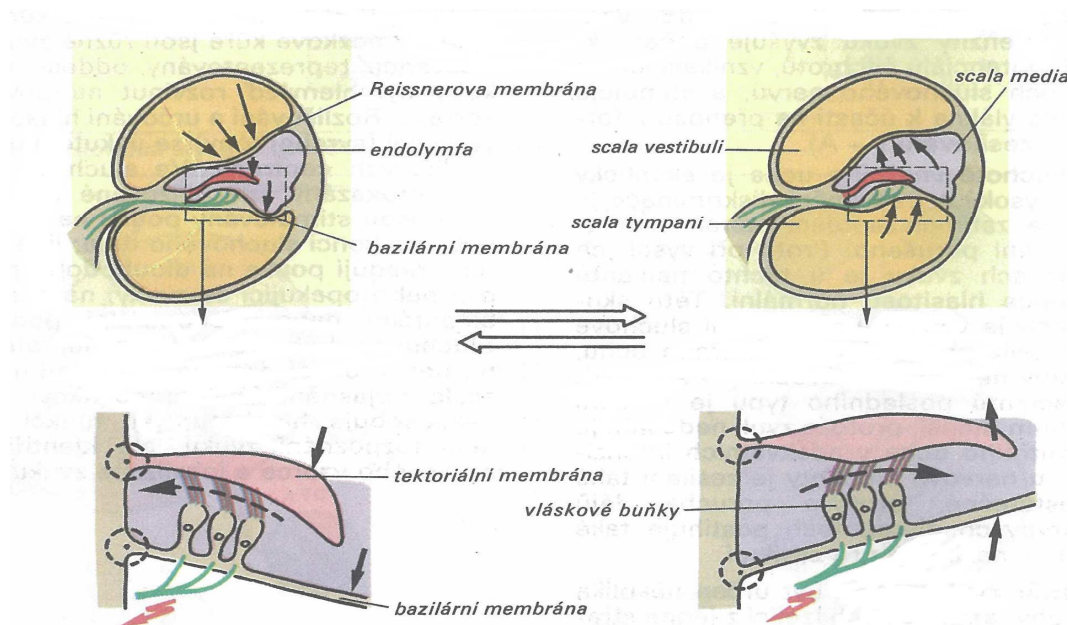
**Obrázek č. 2-6 Šíření vlnění endolymfatickou trubicí.** Na obrázku je na ose y znázorněno rozvlnění zvukového signálu od stěn endolymfatické trubice. Na ose x je vzdálenost v [cm]. (Převzato z [3].)



Postupující vlna se šíří vzhůru hlemýžděm, zvyšuje se postupně její amplituda do maxima, a pak rychle zaniká. Vlnění o vysokých frekvencích dosahují svého maxima v blízkosti oválného okénka, na základě principů popsanych výše. Naopak vlnění o nižších frekvencích dosahují svého maxima ve vzdálenějších oblastech od oválného okénka. Tímto způsobem vytváří každá zvuková frekvence postupující stojatou vlnu s maximem amplitudy v charakteristické vzdálenosti od oválného okénka. Tímto způsobem dochází i k podráždění smyslových buněk podél bazilární membrány v charakteristických místech výskytu amplitudového maxima takto šířící se vlny. [3]

Postupující vlna rozkmitává scala media včetně tektoriální membrány, do níž jsou zapuštěny vláskové buňky, jak je znázorněno na obrázku č. 2-5 Cochlea. Když je bazilární membrána stlačena, posune se tektoriální membrána přes konce vláskových buněk, jak je znázorněno na obrázku č. 2-7 Vznik potenciálu. [3]

**Obrázek č. 2-7 Vznik potenciálu.** Na tomto obrázku je schématicky znázorněn vznik receptorového potenciálu vláskových buněk deformací tektoriální membrány. V podobě šipek jsou zde naznačeny síly, jež jsou vyvolány akustickým vlněním šířícím se v cochle. (Převzato z [3].)



Vláskové buňky jsou tak citlivé, že mohou zachytit pohyb, který činí pouze  $10^{-10}$  až  $10^{-12}$  m, což je menší rozměr, než průměr atomu vodíku. Výsledkem mechanického podráždění vláskových buněk je akční potenciál šířící se vlákny sluchového nervu. [3]

## 2.4 Centrální zpracování zvukové informace

Zakódovaná akustická informace se ve vyšších částech mozku analyzuje podle frekvence, intenzity, vzdálenosti a směru. Podrobnější neurologické zpracování akustických informací převyšuje rozsah této práce, proto zde touto problematikou blíže neuvádím. Z fyzikálního hlediska jsou ale zajímavé způsoby kódování, které zde popisují.

Jednotlivé frekvence jsou detekovány v Cortiho orgánu hlemýždě, jak již bylo popsáno výše. Podněty jsou v podobě akčních potenciálů vedeny jednotlivými vlákny sluchové dráhy. Za normálních fyziologických podmínek lidský sluchový orgán dokáže rozeznat frekvenční rozdíl mezi 1000 a 1003 Hz, což představuje rozdíl pouhých 0,3 %.

Analýza intenzit zvukových signálů je oproti analýze frekvencí mnohem hrubší. Rozdíl v hlasitostech může být detekován při min. podílu 10% změněného zvukového tlaku. Tato hodnota odpovídá změně rovnající se přibližně 1 dB. Blíže byla tato problematika popsána v kapitole 2.1 a 2.2.

Vzdálenost zdroje zvuku je další parametr, který umí sluchový aparát člověka částečně detekovat. V takovém případě je časový, nebo intenzitní rozdíl nulový. K lokaci tedy dochází pomocí zastoupení vysokofrekvenčních složek zvuku. Se zvyšující se vzdáleností šíření od zdroje zvuk ztrácí na intenzitě. Tato ztráta (útlum) se projevuje zejména u vyšších frekvencí. Na základě tohoto principu dokáže sluchový aparát člověka detekovat vzdálenost zdroje zvuku. Mechanismus lokalizace v předozadní rovině využívá rovněž i směrového účinku ušního boltce. Boltce vytváří rozdílný akustický stín a odrazy pro zdroje zvuku lišící se polohou v předozadní rovině. Přesnost takovéto lokace je však přibližně 5x nižší, než v případě lokalizace v horizontální rovině. [2], [3]

Z hlediska rozsahu této práce je nejzajímavější směrová lokace zdroje zvuku, již zde věnuji samostatnou kapitolu 2.5 Směrová analýza zdroje zvuku, která následuje.

## 2.5 Směrová analýza zdroje zvuku

Směr zdroje zvuku může být určen více způsoby. V této kapitole uvádím různé principy lokalizace zdroje zvuku v prostoru. Jak již bylo podrobněji popsáno v kapitole 2.1, časový rozdíl v dopadu jednotlivých zvukových vln na ušní bubínky se uplatňuje do frekvence o velikosti 2 kHz, kdy perioda dosahuje hodnoty 500  $\mu$ s a délka vlny činí 17 cm. Z hlediska fyziky a anatomie je tato hranice u člověka 2 kHz, nicméně v literatuře

se uvádí jako mezní frekvence už 1,4 kHz. Jak je patrné, nelze tuto mezní frekvenci exaktně stanovit ve velikosti 2 kHz, avšak právě tato hodnota je z fyzikální podstaty a anatomické vzdálenosti rozteče obou ušních boltců nejvyšší možná a proto je i v textu této diplomové práce takto stanovena. Obecně lze tedy říci, že zdroje zvuku o frekvencích 500 Hz až 2 kHz jsou v prostoru lokalizovány principem časového rozdílu, oproti tomu zdroje zvuku o frekvencích 2 kHz až 20 kHz jsou v prostoru lokalizovány spíše principem intenzitního rozdílu. Principiálně je tato problematika znázorněna na obrázku č. 2-8.

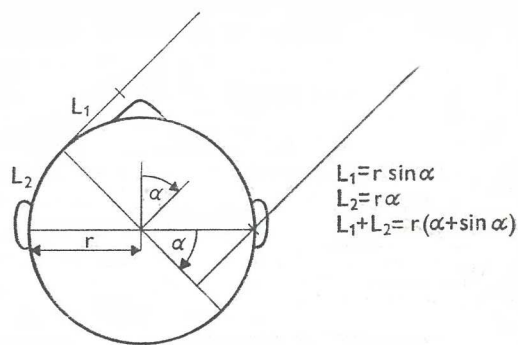
### **2.5.1 Časový klíč lokalizace zdroje zvuku**

Pro lokaci trvalých tónů se u frekvencí nižších než 2 kHz projevuje rozdíl časový, mezi jednotlivými zvukovými vlnami v porovnání obou uší. To se však uplatňuje pouze u frekvencí nižších než 2kHz, jak bylo popsáno v kapitole 2.1. Na obrázku č. 2-3 je rovněž znázorněno, jak relativně malou část z celkového rozsahu slyšitelných frekvencí zaujímá tento princip prostorové lokalizace zdroje zvuku. Je třeba si uvědomit, že frekvence do 500 Hz se na směrový účinek vůbec neprojevují (na obrázku č. 2-3 znázorněno vyšrafovanou částí), jelikož vlnová délka je velmi dlouhá vůči rozměrům boltce. Tato část ještě snižuje celkový rozsah lokalizace pomocí principu časového rozdílu u člověka. Na frekvenci 800 Hz činí minimální časový rozdíl 15 až 20  $\mu$ s. Podobná hodnota byla získána i při pokusech, kdy sluchový systém byl cestou sluchátek stimulován dvojicí akustických impulzů. Některé publikace v tomto případě uvádějí u trénovaných jedinců minimální hodnotu asi 10  $\mu$ s. [2] Při použití zvuku o frekvenci 1000 Hz již tento časový rozdíl nabýval hodnot nižších tedy 10 až 15  $\mu$ s. [4]

Zajímavé je, že byl při pokusech rovněž prokázán vztah, mezi minimální subjektivně detekovatelnou dobou zpoždění a frekvencí použitého akustického impulzu. Ten byl laboratorně vyvolán pravoúhlým elektrickým pulzem o trvání několika desítek mikrosekund. Jestliže byla provedena akustická filtrace tak, aby puls obsahoval pouze energii ve frekvencích nižších, než 1000 Hz, činil minimální rozlišený subjektivní rozdíl asi 20 – 30  $\mu$ s. Naopak, jestliže byla nízkofrekvenční složka potlačena vysokopásmovým filtrem a impulz obsahoval složky vyšší než 4000 Hz, stoupl minimální subjektivně rozlišitelný rozdíl v čase na 100 – 200  $\mu$ s. [2]

Blíže lze rovněž demonstrovat tuto problematiku také na následujícím obrázku č. 2-8 Výpočet časového rozdílu.

**Obrázek č. 2-8 Výpočet časového rozdílu.** Pro názorné vysvětlení výpočtu časového rozdílu zde uvádím tento schematický náčrt. (Převzato z [2].)



Pro výpočet časového rozdílu, s jakým zvuková vlna dorazí na vzdálenější ucho od zdroje, platí jednoduchá formule:

$$\Delta d = r_h (\alpha + \sin \alpha)$$

$\Delta d$  ... rozdíl v dráze, kterou proběhne zvuková vlna k bližšímu a vzdálenějšímu uchu [mm]

$r_h$  ... poloměr hlavy v [cm]

$\alpha$  ... úhel pod nímž dopadá zvuková vlna [Rad]

Za předpokladu, že poloměr hlavy je 71,5 mm a rychlost šíření zvuku odpovídá hodnotě 340 m/s, lze upravit vzorec do podoby:

$$\Delta t = 210 (\alpha + \sin \alpha)$$

$\Delta t$  je čas [μs], jež je vyjádřením časového rozdílu. Hodnota 210 vznikla vydělením 71,5 : 340 a násobením 1000 z důvodů převodu jednotek právě na mikrosekundy. Po dosazení lze získat pro  $\alpha = 0^\circ$ , kdy zdroj zvuku leží ve střední sagitální rovině, samozřejmě  $t = 0$ . Pro polohu zdroje zvuku na spojnici obou uší, tj. nejvíce laterálně uložený zdroj, je  $\alpha = 90^\circ$  ( $\alpha = 1,57$  Rad), kdy časový rozdíl činí  $\Delta t = 540$  μs, což je maximální časový rozdíl při dopadu zvukového signálu na oba ušní boltce. [2]

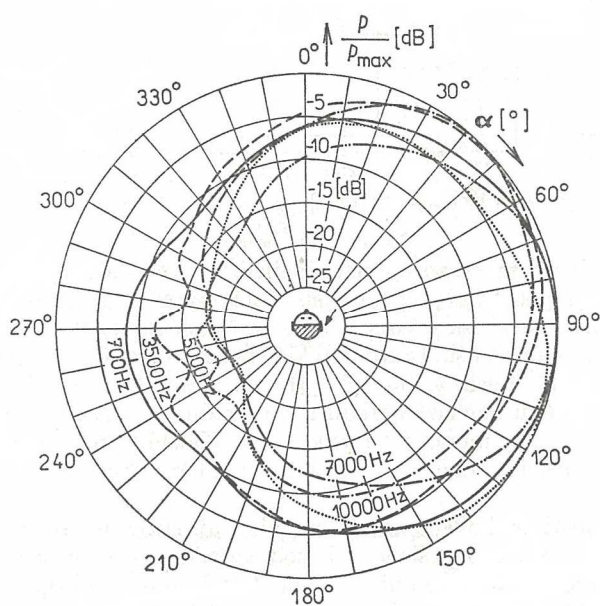
### 2.5.2 Intenzitní klíč lokalizace zdroje zvuku

Časové zpoždění signálů má význam při nízkých frekvencích, zatímco rozdíly v intenzitě jsou důležité při frekvencích vysokých, respektive v rozmezí 2kHz až 20 kHz. Jak je patrné i z obrázku č. 2-3, je tento rozsah podstatně širší, než rozsah

kódování dle časového klíče. S problematikou intenzitního principu lokalizace zdroje zvuku v prostoru souvisí i projev akustického stínu, který vytváří samotná hlava. Konečným projevem jsou různé velikosti intenzit zvukových signálů, které dopadají na levý a pravý zvukovod. Na ucho odvrácené od zdroje, může v optimálním případě dopadat akustický signál o intenzitě 20 dB nižší, než na ucho ke zdroji zvuku přivráceném. [2]

Velikost akustického stínu hlavy však závisí i na kmitočtu zvuku. Hlava tvoří u vyšších kmitočtů stínítko pro vzdálenější ucho, ale její vlastnosti nejsou jednoduchou funkcí ani směru dopadu, ani kmitočtu zvuku. Intenzitní rozdíly jsou zanedbatelné na nízkých kmitočtech, avšak na vysokých kmitočtech mohou být až 20 dB, jak je znázorněno na obrázku č. 2-9 Směrová charakteristika pravého ucha. Změna spektra zvuku se uplatňuje hlavně u zvuků, jejichž spektrální skladba je zkušeností známa. Lze tedy u lidí, kteří jsou již dlouho dobu odkázáni na poslech jen jedním uchem, pozorovat do jisté míry schopnost určovat směr zdroje zvuku.

**Obrázek č. 2-9 Směrová charakteristika pravého ucha.** Rozložení hranic pro různé frekvence v [Hz] slyšitelnosti pravého ucha v horizontální rovině je znázorněno na tomto obrázku ve [°]. Jsou z něj rovněž patrné i rozdílné tvary oblastí vnímání akustického signálu pro různé frekvence. (Převzato z [4].)



Minimální poslechový úhel je relativně malý (kolem 1°) pro nízké frekvence. Pro frekvence v rozmezí 1,5kHz až 2 kHz se zvyšuje na hodnoty 10° i více. Pro zdroj přímo vpředu je menší a pro zdroj nacházející se po straně hlavy je relativně velký. [4]

### 2.5.3 Vliv ušního boltce

V problematice směrové analýzy zdroje zvuku má svůj nezastupitelný význam i tvar ušního boltce. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4, ušní boltec se uplatňuje i při lokaci vzdálenosti zdroje zvuku, tedy v předozadní rovině. Tato lokalizace je však uplatňována přibližně s 5x menší citlivostí, než v rovině horizontální. Zde je význam tvarů ušního boltce největší. Význam tvaru ušního boltce pro lokalizaci potvrzují i výsledky pokusů, kdy ušní boltec byl deformován, zakrýván a plněn odrazivou hmotou. Z pokusů vyplývá skutečnost, že ve vertikální střední rovině jsou nepoměrně lépe lokalizovány zvuky o vysoké frekvenci (nad 8 kHz). Mnohem lépe je také lokalizována poloha zdroje zvuku, jestliže jde o řeč známého řečníka proti lokaci řeči neznámého řečníka. [2] Tato funkce směrování, díky tvaru ušního boltce se začíná uplatňovat zejména u zvyšujících se frekvencí, resp. u frekvencí nad 800 Hz. Tóny kolem 5 kHz ušní boltec velmi přesně směřuje. Naopak negativní vliv tvoří ušní boltec ze směrů zadních, tedy týlu, kdy tvoří akustický stín. Optimální citlivost je při poloze zdroje zvuku asi 15° vpředu od interaurální osy. [3] K přesnější lokalizaci, zejména k rozlišení, zda se zdroj zvuku nachází vpředu, nebo vzadu, přispívá pootáčení hlavou, které člověk při poslechu mimovolně vykonává. Boltec má také význam při slyšení signálu ve větru. Omezuje a transponuje rušivý šum a umožňuje lepší slyšení signálu ze strany u příslušného ucha. [4]

### 3. KONSTRUKCE MANEKÝNA

Celý konstrukční návrh a vyhotovení výkresové dokumentace bylo zcela podřízeno technologickým možnostem výroby. Právě tyto možnosti byly v mém případě velmi omezené, jelikož se celá výroba uskutečnila v neprofesionální dílně, za použití běžného nářadí kategorie hobby. Celá tato problematika je popsána v kapitole č. 5 Technologický postup výroby manekýna. Pro konstrukci z toho vyplývá, že celý manekýn je sestaven sendvičovou metodou z 10 segmentů, jak ukazuje obrázek č. 3-1 Segmenty manekýna, jež jsou slepeny. To je znázorněno na obrázku č. 3-3 Slepené segmenty. Na obrázku chybí 10. segment, jež tvoří špičku nosu a to kvůli svým malým rozměrům. Z těchto důvodů bylo nutné zhotovit výrobní výkresy jednotlivých segmentů. Jejich šíře je dána od výrobce materiálu RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25, jež byl zakoupen v podobě tabule o rozměrech 1500 x 500 x 25 mm, činí tedy 25 mm.

**Obrázek č. 3-1 Segmenty manekýna.** Na tomto obrázku jsou vyobrazeny všechny segmenty, jež po slepení a opracování tvoří hlavu manekýna. V levé části se jedná o segmenty přední, v pravé části pak o segmenty zadní.



Jak je z obrázku rovněž jasně patrné, po slepení a vytvoření 2 samostatných polovin manekýna vznikly na povrchu určité odskoky, jež jsou tvořeny jednotlivými segmenty. Zarovnání a celková povrchová úprava je rovněž popsána v kapitole č. 5

Technologický postup výroby. Z hlediska konstrukce je však důležité, že výrobní výkresy sice obsahují úpravu tvaru segmentů do finální podoby, avšak jejich tvar je rozkreslený a okótovaný pouze pro kontrolu a výrobu pomocných šablon. Ty byly použity při kontrole opracování povrchu manekýna. Prakticky byly jednotlivé segmenty vyfrézovány z původní tabule jako jednotlivé vrstvy s kolmými boky.

V konstrukční části výroby manekýna byl rovněž vytvořen pro každý segment zvlášť i technologický výkres, jež byl nezbytný pro jeho výrobu respektive vyfrézování ze základní desky a další operace s výrobou spojené. I této problematice se však podrobněji věnuji v kapitole č. 5 Technologický postup výroby.

Dalšími důležitými vlivy, které určovaly konstrukci manekýna jsou následující. Z hlediska měření je důležitá maximální snaha o homogenitu, jednodušnost a eliminaci cizích objektů vložených do torza manekýna. Některé objekty jsou z hlediska zadání a měření předepsané, jako například mikrofony, reproduktor atd. Jiné objekty jsou nezbytné z hlediska konstrukce a funkčnosti. Všechny tyto předměty však mají odlišné fyzikální vlastnosti, než okolní prostředí, jež tvoří takřka výhradně materiál RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25. Dalším vlivem je s předchozí problematikou spojená tvorba dutin pro uložení právě těchto objektů. I tyto dutiny mohou nepříznivě ovlivňovat šíření a distribuci zvuku materiálem. Z obojího vyplývá, že hlavní konstrukční tendencí při návrhu manekýna bylo co nejvíce eliminovat cizí tělesa vložená do manekýna a to jak v jejich počtu, tak i velikostech. Blíže se těmto objektům věnuji v kapitole č. 4 Konstrukční změny a odlišnosti oproti normě.

Výsledkem celé konstrukce manekýna jsou 2 samostatné poloviny tvořící hlavu a krk. Dále je to podstavec, jak je znázorněno na obrázku č. 3-2 Díly manekýna.

**Obrázek č. 3-2 Díly manekýna.** Manekýn se jako celek skládá ze dvou polovin hlavy a podstavce, jak je znázorněno na tomto obrázku.



**Obrázek č. 3-3 Spleené segmenty.** Zde je znázorněn manekýn po slepení všech segmentů, avšak před opracováním povrchu.



Celá výkresová dokumentace byla vytvořena ručně na rýsovací čtvrtky technikami použití obyčejné tužky a klasických kreslicích potřeb. K tomuto ne příliš modernímu způsobu vyhotovení jsem se uchýlil z důvodů absence příslušného kreslicího softwaru a hardwaru v podobě plotteru.

### 3.1 Výběr normy

Základní vnější konstrukční tvar mnou navrženého a zhotoveného manekýna vychází z normy ITU-T Recommendation P.58 určené pro mezinárodní telekomunikační unii. V oblasti návrhů, konstrukcí a výroby podobných tors hlav existuje norem více, jež definují vnější tvary věrohodněji dle fyziologických dispozic průměrné hlavy člověka. Pro mé účely testování však není vysoká zpracovanost

vnějších křivek tolik důležitá, proto norma ITU-T Recommendation P.58 zcela vyhovuje a postačuje mým požadavkům. Zároveň umožňuje snadnější výrobu, respektive výrobu jako takovou vzhledem ke značně omezeným technologickým postupům a možnostem, které jsem měl k dispozici. Součástí normy je zároveň i fyziologické rozpětí jednotlivých rozměrů, které i já v rámci zhotovení torsa hlavy splňuji. Norma ITU-T Recommendation P.58 mi byla při konstrukci celého manekýna předlohou zejména z hlediska vnějšího tvaru torsa hlavy.

### **3.2 Výkresová dokumentace manekýna**

Norma ITU-T Recommendation P.58 obsahuje kromě tabulkových hodnot jednotlivých rozměrů i výkresovou dokumentaci. Ta je však bohužel tvořena pouze 4 listy, respektive řezy a to ve zmenšeném měřítku na formátu A4. Pro mé potřeby konstrukce jsem byl tedy nucen zhotovit výkresovou dokumentaci zcela novou. Postupoval jsem tedy tak, že z výchozích údajů udávaných v normě jsem zhotovil sestavu celého torsa hlavy složenou z nárýsu, půdorysu a bokorysu. Na takto zhotovené sestavě jsem měl následně možnost odměřit si jednotlivé rozměry nutné pro zhotovení výrobních výkresů jednotlivých vrstev torsa hlavy a krku. Abych si ověřil správnost aproximace tvarů jednotlivých segmentů ještě před započítáním jejich samotné výroby, sestavil jsem si pomocný model z vlnité lepenky viz. obrázek č. 3-4 Lepenková maketa. Tuto maketu jsem sestavil v měřítku 1:1. Byl to velmi důležitý krok v konstrukční části přípravy výroby manekýna. Kromě kontroly tvarů jednotlivých segmentů mi lepenková maketa posloužila i k vizualizaci požadavků normy na rozměry hlavy a tvar ploch v obličejové části. Dále pak na tvar a průnik válcové části krku s tělesem hlavy v 3D prostoru.

**Obrázek č. 3-4 Lepenková maketa.** **Obrázek č. 3-5 Podstavec.** Na obrázku je vyobrazená lepenková maketa znázorněn kompletní podstavec vybaven posloužila zejména ke kontrole tvarů reproduktorem segmentů.



Kompletní výkresovou dokumentaci ke konstrukci manekýna předkládám v příloze. Skládá se ze sestavy, jež obsahuje 17 pozic, z nichž je 10 výrobních výkresů jednotlivých segmentů, dále 7 normalizovaných či upravených součástí a kusovníku.

### 3.3 Výkresová dokumentace podstavce

Celý podstavec manekýna má 2 funkce. První je vlastní zajištění stability manekýna a druhou je vhodné uložení reproduktoru jakožto zdroje zvuku důležitého pro vlastní funkci manekýna a jeho měření. Konstrukčně byla při návrhu podstavce řešena především otázka snadného a jednoduchého přístupu k reproduktoru uloženého uvnitř krční dutiny, avšak pokud možno bez rozebírání obou polovin manekýna. To je důležité zejména z důvodů časté výměny reproduktorů ať už kvůli jejich poruchovosti, či omezeném frekvenčním rozsahu. Tato problematika byla vyřešena nasouváním desky podstavce na stěnu krku axiálně. V desce podstavce byl vyfrézován do hloubky 18 mm

obrys krku, do kterého samotný půdorys krku zapadá s minimální vůlí viz. Obrázek č. 3-5 Podstavec. Tím je v kombinaci se značnou hmotností celého manekýna dosaženo poměrně velké stability. Takto sestavená soustava je pro běžné zacházení a přesun dostatečně stabilní i bez použití dalších zajišťovacích členů, jakými jsou např. šrouby, vruty apod., proto v konstrukci nebyly navrženy ani použity. Zároveň se při instalaci podstavce zasouvá i reproduktor do krční dutiny jelikož je k desce podstavce soustavou sloupků a držáku pevně připevněn. Reproduktor je sám o sobě umístěn v desce reproduktoru, jenž má rozměry 60 x 70 mm. Průřez krční dutiny má rozměry 70 x 80 mm. Deska reproduktoru je tedy navržena s dostatečnou vůlí, která umožňuje bezpečné nasazení i vysunutí manekýna vůči podstavci bez poškození soustavy uložení reproduktoru a reproduktoru samotného. Tato vůle zároveň slouží i k bezpečnému odstínění vibrací reproduktoru od stěn krku manekýna. Umístění reproduktoru bylo vytvořeno ve fyziologické výšce srovnatelné s lidskými hlasivkami. Celá délka krku byla úmyslně předimenzována z důvodů dostatečného místa pro případnou korekci výšky reproduktoru dle eventuelních potřeb měření. Tato korekce je velmi snadná výměnou sloupků, jež definují vzdálenost uložení desky reproduktoru od desky podstavce. Celé toto uložení reproduktoru je poměrně dobře zachyceno na Obrázku č. 3-5 Podstavec. Tak, jako u konstrukce manekýna vznikla i u konstrukce podstavce detailní výkresová dokumentace s výrobními výkresy všech nenormalizovaných dílů, jež je součástí přílohy. Skládá se ze sestavy, jež obsahuje 17 pozic, 5 výkresů a kusovníku.

I konstrukce podstavce se řídila pravidly pro maximální snahu homogenity a kompatibility viz předchozí text. Proto jsou všechny díly podstavce vyrobeny z materiálů majících fyzikálně podobné vlastnosti, jako výchozí materiál RAKU - TOOL<sup>®</sup> MB – 0670. Jedná se konkrétně o překližku, dýhu a texgumoid. Díly jako šroubky, podložky, matice a držáky reproduktoru jsou sice z oceli, avšak konstrukčně byla maximální snaha o eliminaci jak počtu, tak i velikosti.

### **3.4 Návrhy uložení mikrofonů**

V rámci této kapitoly bych rád ještě krátce rozepsal a vysvětlil problematiku uložení mikrofonů. Z konstrukčního hlediska se jednalo o poměrně velký problém. Ten nastává z důvodů jejich značných rozměrů. Mikrofony ECM 8000, jejichž použití jsem měl ve své konstrukci zadané, mají totiž tak dlouhá těla, že je není možné zabudovat do hlavy manekýna tak, aby nepřesahovala ven. Právě tyto přesahy by měly zcela jistě

negativní vlivy na šíření zvuku a jeho následné měření. Na právě tyto jejich konce se zároveň napojují kabely, jež celou situaci ještě zhoršují. Z tohoto důvodu bylo třeba konstrukčně navrhnout uložení mikrofonů tak, aby byly v optimální poloze pro snímání a zároveň aby byly jejich přesahující těla umístěna tak, aby nestínila zvukovým vlnám. Po nastínění několika návrhů jsem se nakonec rozhodl pro konstrukční řešení, které je znázorněno na obrázku č. 4-3 Detail zvukovodů a uložení mikrofonů. Jejich značné rozměry byly vyřešeny přesahem v týlní části hlavy manekýna, kde nestíní, ani nepřekáží. Tento způsob uložení mikrofonů vyhovuje požadavkům popsaných v předešlém textu a zároveň umožňuje snadný přístup k jejich uložení z hlediska polohy zvolené dělicí roviny. Má i další výhody v podobě možné regulace hloubky zasunutí mikrofonů bez nutnosti rozebírání celého manekýna. Uložení mikrofonů zasahuje pouze do 2 segmentů a to 1-01 a 1-07, mezi kterými se nalézá i dělicí rovina celé hlavy manekýna.

## **4. KONSTRUKČNÍ ZMĚNY A ODLIŠNOSTI OPROTI NORMĚ**

Vzhledem ke značně omezeným možnostem výroby byl manekýn vyroben v poměrně širokém rozmezí tolerancí. Norma ITU-T Recommendation P.58 však obsahuje i fyziologické rozmezí hodnot rozměrů hlavy, do kterých se vyrobený manekýn vejde až na níže uvedené konstrukční změny. V každém případě by tyto změny na funkci a naměřené hodnoty neměly mít žádný vliv.

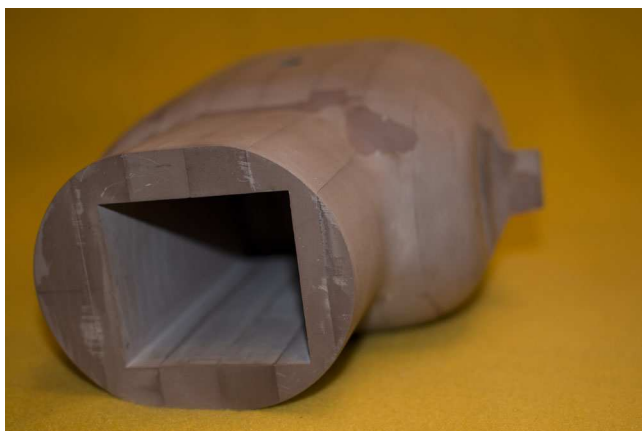
### **4.1 Vnitřní dutina**

Tvar vnitřní dutiny, u mnou zhotoveného manekýna, je oproti normě zcela odlišný a jedná se o nejrozsáhlejší změnu, kterou jsem při konstrukci učinil. Celá vnitřní dutina se skládá z 3 poddutin. Těmi jsou dutina nosní, ústní a krční.

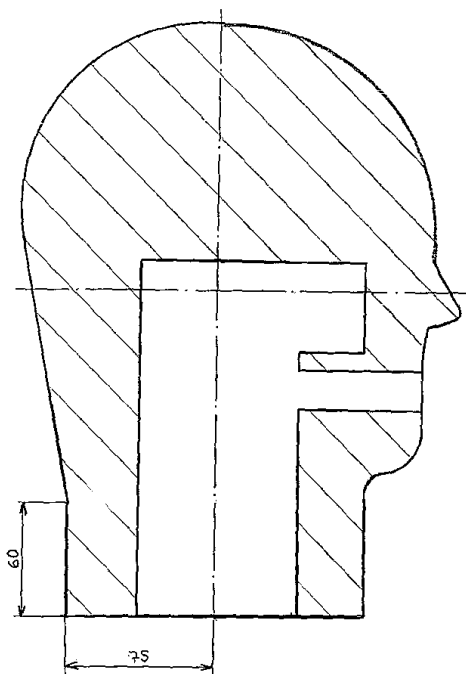
Dutině krční se budu věnovat v samostatné podkapitole. Nejnázorněji je systém vnitřních dutin vidět na obrázku č. 4-1 Boční řez. Zde je patrná zejména dutina ústní s vlastním ústním otvorem částečně kruhového tvaru. Tvar a velikost ústního otvoru jsem zvolil dle anatomické a fyziologické předlohy tak, aby co nejdříve odpovídal běžně pootevřeným ústům při normálním hovoru člověka. Dle anatomické předlohy jsem i já dutiny nosní a ústní oddělil přepážkou. Právě tato přepážka je z hlediska akustiky velmi významná, proto jsem měl při tvorbě a konstrukci systému vnitřních dutin maximální snahu o její zachování.

Část dutiny simulující nosohltan je oproti anatomické předloze podstatně širší a s absencí jazyka, který fyziologicky vyplňuje poměrně velkou část. Dutinu nosohltanu jsem zvolil tak, aby plynule navazoval na tvar dutiny v oblasti kru.

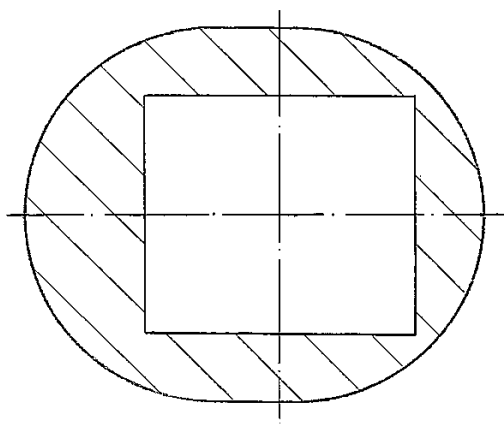
**Obrázek č. 4-1 Krční dutina.** Na tomto obrázku je znázorněn tvar krční dutiny vzhledem k poloze manekýna. Právě v této části dosedá na podstavec.



**Obrázek č. 4-2 Boční řez.** Jak je z tohoto obrázku patrné, vnitřní dutina tvoří propojení fyziologických dutin v oblastech nosu, nosohltanu, úst a krku.



**Obrázek č. 4-3 Příčný řez krkem.** Pro názornost zde uvádím i příčný řez krkem, ze kterého je patrný čtvercový tvar dutiny v této oblasti.



### 4.1.1 Krk

Z hlediska instalace reproduktoru simulujícího hlasivky jakožto zdroj zvuku jsem se rozhodl vytvořit v oblasti krku dutinu obdélníkového průřezu a to o rozměrech 70 x 80 mm, jak je názorně vidět na obrázku č. 4-1 a 4-3 Příčný řez krkem. K tomuto kroku mě vedl i výrobní postup respektive omezené technologické možnosti výroby. Z hlediska akustiky by však obdélníkový tvar dutiny krku neměl nijak dramaticky ovlivňovat přenos zvuku. Uvědomuji si, že fyziologický průřez lidského krku má podstatně menší plochu, než průřez krční dutiny mnou zhotovené, avšak pro zabudování dostatečně výkonného reproduktoru vhodného pro měření bylo zvětšení krční dutiny nevyhnutelné.

Vnější tvar krku jsem navrhl a zhotovil tak, aby plynule navazoval na křivky hlavy, která je popsána v normě ITU-T Recommendation P.58. Samotný krk touto normou není nijak definován. Jeho délku jsem zvolil 60 mm od „týlu“ torza hlavy, viz. obrázek č. 4-2 Boční řez. Úmyslně jsem tento rozměr předimenzoval z důvodů vytvoření dostatečného místa pro uložení reproduktoru a jeho příslušenství. Zároveň i pro vhodné ukotvení celého manekýna ve stojanu.

Drobnější změny vzhledem k normě doznal rozměr krku směrem k týlu hlavy, kdy byl z důvodů skládání 3 vrstev o tloušťce 25 mm vyroben o celkové šíři 75 mm od osy místo 74,5 mm, jak je definováno v normě. I tato úprava je znázorněna na obrázku č. 3-2 Boční řez. Změna tedy činí pouze 0,5 mm, což považuji za zanedbatelný rozdíl, který je navíc v toleranci dle fyziologického rozmezí, jež je součástí normy.

## 4.2 Nos

Základní rozměry nosu byly dle normy zachovány, až na koncový rádius. Vzhledem k technologickým možnostem jsem se nakonec rozhodl nezaoblovat tvary nosu, jelikož bych tak musel činit pouze ručním opracováním základního strojně vyrobeného tvaru, což by esteticky nemuselo přinést dobrý výsledek. Dále byla ponechána konstantní šíře nosu od kořene až ke špičce. Na funkci a výsledky měření to však nemají tyto změny vliv. Poslední vrstva, jež je nalepena lepidlem RAKU - TOOL<sup>®</sup> EP – 2306 / EH – 2904 na „špičku“ nosu má tloušťku pouhé 3 mm, nicméně rozměrově dle normy vyšla právě takto.

### 4.3 Zvukovody

Zvukovody byly vytvořeny půlkulatou frézou o průměru 12,7 mm viz Obrázek č. 4-4 Zvukovody a uložení mikrofonů. Tento rozměr jsem zvolil z disponibilní nabídky nástrojů pro frézování a hlavně dle průměru těla zabudovaného mikrofonu a to tak, aby napojení bylo stejného průměru, plynulé a bez odskoků, jež by mohly tvořit nežádoucí akustické jevy. Délka zvukovodů byla stanovena na 30 mm a jejich sklon pod úhlem 45°. Právě sklon zvukovodů je jednou z mála odchylek od fyziologie člověka na manekýnovi, avšak je nezbytný pro uložení mikrofonů. Jelikož mají mikrofony ECM 8000 kulovou charakteristiku snímání zvuku, úhel vedení zvukovodů 45° nemá na snímání zvuku mikrofony žádný vliv.

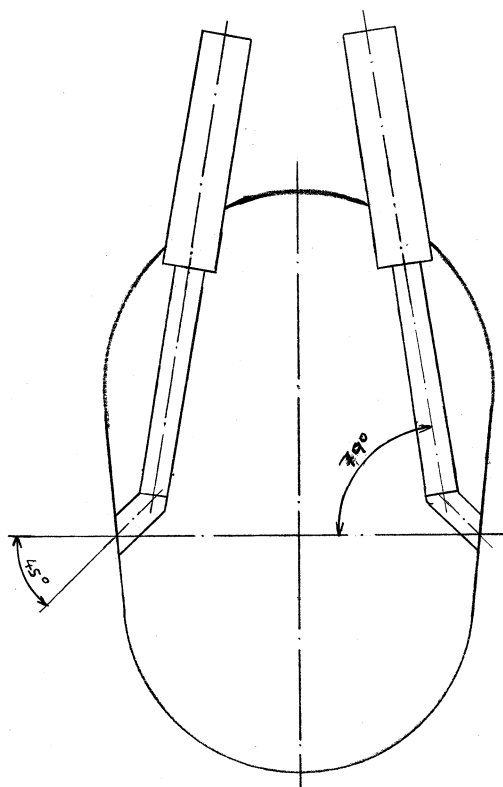
Důležité je zdůraznit, že samotné zvukovody jsou od vnitřní dutiny hlavy zcela odděleny a tvoří samostatné dutiny ústící ven ve fyziologické oblasti zvukovodů člověka. Tato poloha je popsána v normě a podle ní byla i vyhotovena na mnou vyrobeném manekýnovi.

V oblasti napojení mikrofonu na kabely, se tělo mikrofonu rozšiřuje na průměr 21 mm. I tato část zasahuje do těla hlavy manekýna, proto musela být dutina patřičně upravena. Oblast dutiny mikrofonu pro tuto část však nebyla vyrobena tvarově přesně (kruhově), jako oblast dutiny předešlé tedy o průměru 12,7 mm. Bylo tak učiněno v důsledku technologických limitů a s vědomím, že velikost a přesnost tvaru této dutiny nemá vliv na snímání zvuku mikrofonem. Navíc toto řešení umožňuje do místa rozšíření těla mikrofonu vložení případných podložek, jimiž je možné vymezit hloubku vložení mikrofonů do hlavy.

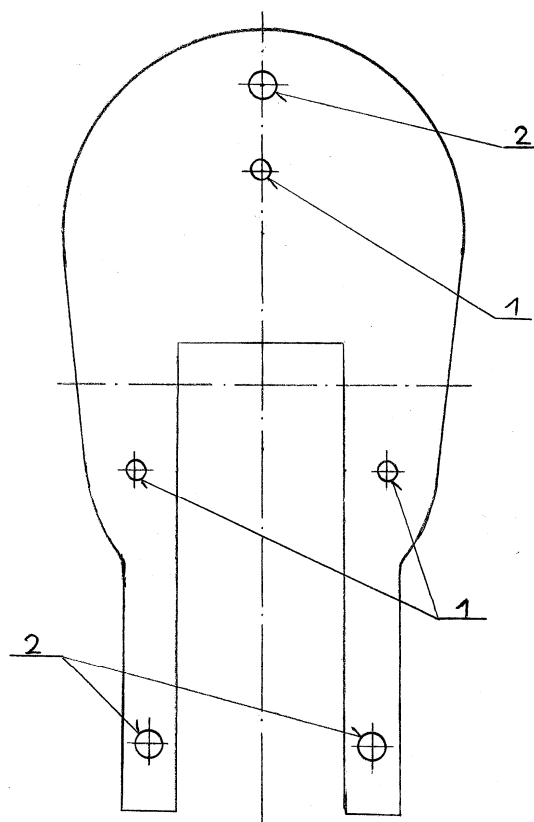
### 4.4 Uložení mikrofonů

Samotný způsob uložení mikrofonů se původně zdál kvůli jejich značným rozměrům těl poměrně problematický zejména z důvodů stínění při snímání prostorového slyšení. Tuto problematiku jsem detailněji popsal v kapitole č. 3 Konstrukce manekýna. Nakonec se jej však podařilo vyřešit viz. obrázek č. 4-4 Zvukovody a uložení mikrofonů. Mikrofony jsou umístěny vertikálně pod úhlem 79° tak, aby plynule napojovaly na zvukovody. Pro jejich uložení byly vytvořeny dutiny, ve kterých se nalézají.

**Obrázek č. 4-4 Zvukovody a uložení mikrofonů.** V podobě vyznačení základních úhlů jsou na tomto obrázku znázorněny zvukovody a uložení mikrofonů.



**Obrázek č. 4-5 Uložení kolíků a děr.** Pozicemi č.1 jsou na tomto obrázku znázorněny díky pro spojovací soustavu obou polovin, pozicemi č.2 pak kolíky pro vymezení polohy.



## 4.5 Dělicí rovina

Po konečném vyřešení optimální kombinaci uložení těl mikrofonů a struktury vnitřní dutiny byla zvolena jako nejvhodnější poloha dělicí roviny v koronárním řezu, tedy řez ležící v rovině zvukovodů a dutin, v nichž jsou uloženy mikrofony. Výhodou polohy této roviny je snadný přístup do všech dutin manekýna, zejména však právě do dutin zvukovodů a do dutin pro uložení mikrofonů, jež dělí na 2 symetrické poloviny. Z hlediska optimální instalace mikrofonů, jež je klíčová pro jejich správnou funkci a získání věrohodných naměřených hodnot při akustických měřeních je nezbytné, aby byl do dutin mikrofonů snadný a přehledný přístup. Zároveň volba polohy této roviny umožňuje i přístup do vnitřní dutiny a co je velmi důležité do dutiny krku. V této oblasti je důležitá poloha reproduktoru a snadný přístup k němu.

### 4.5.1 Kolíky pro vymezení polohy obou polovin manekýna

Vzhledem k potřebě přesného usazení obou polovin celého manekýna jsem se rozhodl do jedné z nich instalovat 3 vymežovací kolíky, jak je znázorněno na obrázku č.4-5 Uložení kolíků a děr. Vodící kolíky zde znázorňuje pozice č. 2. Nakonec jsem je nerozebíratelným způsobem zalepil lepidlem RAKU - TOOL<sup>®</sup> EP – 2306 / EH – 2904 do „obličejové“ poloviny a to tak, že do poloviny druhé zasahují v celkové délce 15 mm. Na všech třech kolících bylo pro snadnější vedení vytvořeno zkosení 1 x 45° a dále v délce 10 mm kuželový náběh viz. výkres 1-13. Abych vyloučil možné nežádoucí akustické vlivy nesourodého materiálu, byly kolíky vyrobeny z materiálu pokud možno hustotně co nejbližšímu umělému dřevu (RAKU - TOOL<sup>®</sup> MB - 0670 / 25), ze kterého je celý manekýn vyroben. Jako nejdostupnější materiál jsem využil polotovar (kulatiny) z bukového dřeva. Pro vyšší klouzavost, jež je důležitá zejména z důvodů snadné rozebíratelnosti, byly kolíky dodatečně potřeny mýdlem. To však bylo provedeno až po jejich pevném zalepení.

V opačné polovině hlavy manekýna byly vyvrtány díry o průměru 10 mm, do nichž kolíky zapadají a tím obě poloviny vymezují. Obě tyto úpravy se týkají segmentů s označením 1-01 a 1-07.

### 4.5.2 Spojovací soustava obou polovin manekýna

Obě poloviny manekýna je nezbytně nutné spojit a to s dostatečnou tuhostí a přesností. To je důležité zejména pro adekvátní zajištění mikrofonů a k minimalizaci mezery vzniklé v dělicí rovině obou polovin. Právě tato mezera by mohla mít značné negativní dopady na šíření zvuku a vibrací v hlavě manekýna. Po několika zvažovaných variantách byla vybrána možnost spojit obě poloviny svorníky se závitem M5, jež zajišťují po dotažení dostatečnou pevnost celé soustavy. Rozložení kanálů, pro tyto svorníky je znázorněno na obrázku č. 4-5 Uložení kolíků a děr a to pod pozicí č.1. Celková délka šroubů činí 100 mm a zasahuje tak do 4 segmentů manekýna a to konkrétně 1-01, 1-07, 1-08 a 1-09. Podobně, jako vymežovací kolíky byly použity 3 svorníky ČSN 021131 s hlavou opatřenou drážkou, jelikož právě takové svorníky je nejsnadnější demontovat. Stačí k tomu plochý šroubovák, jež je i v příslušenství manekýna. Celá soustava svorníků byla navržena tak, aby zasahovala do konstrukce hlavy manekýna co nejméně a to z důvodů možných negativních akustických jevů způsobených zejména odlišnými vlastnostmi materiálů, dutin pro uložení atd. Jde hlavně o minimální počet svorníků na právě 3 a zároveň jejich zmenšení rozměrů včetně matic.

Matice byly vyrobeny atypicky, ručně z oceli 11500, viz. výkresy 1-11 a 1-12. Byly vsazeny do předem vyfrézovaných dutin ve vrstvě 1-01 a zalepeny lepidlem RAKU - TOOL® EP – 2306 / EH – 2904. Uložení matic je konstruováno nerozebíratelným způsobem, avšak vzhledem k tomuto faktu byly vyrobeny s maximální přesností, aby bylo snadné vedení a dotažení svorníků. Rovněž jejich tloušťka byla úmyslně předimenzována ke snížení opotřebení materiálu i při opakovaných montážích a demontážích celé soustavy.

Ve vrstvách 1-09 a 1-10 byly vyvrtány díry o průměru 15 mm sloužící k uložení podložek svorníků a zároveň k snadnému přístupu k jejich hlavám.

## 5. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY MANEKÝNA

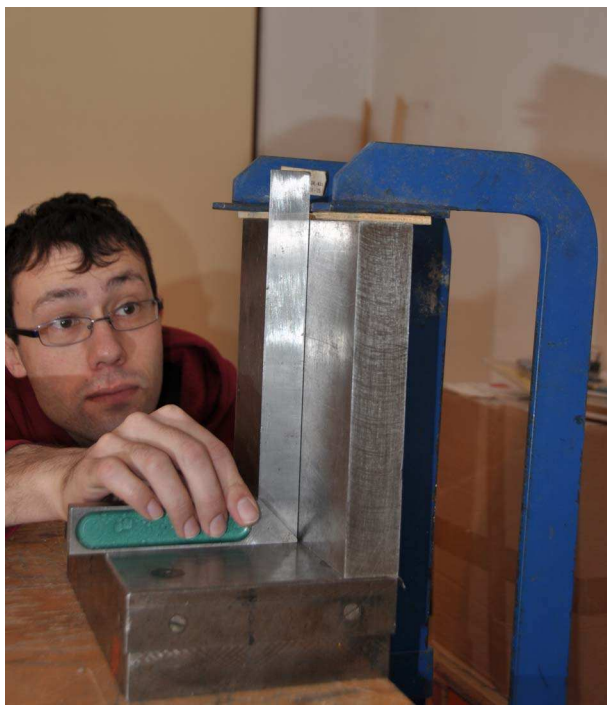
### 5.1 Technologie výroby

Výroba manekýna proběhla v podmínkách domácí, neprofesionální dílny, při použití běžného nářadí, strojní vybavení bylo kategorie „hobby“. Pro potřeby třírozměrného vytvarování hlavy jsem si vyrobil speciální šablony, a to jak pro vykroužení segmentů, tak i pro broušení slepeného celku. Pro zhotovení těchto šablon zde uvádím použité technologické postupy. Šablonu pro vykroužení segmentů jsem zde nazval jako VS šablonu a šablony pro tvarování oblých částí hlavy jako TS šablony.

Obdobně i měření bylo prováděno běžnými měřidly, tj. digitálním posuvným měřítkem, úhloměrem apod.

Vážení jednotlivých složek použitých chemických materiálů jsem prováděl na listovních vahách s rozsahem hmotnosti do 250 gr.

**Obrázek č. 5-1 Lepicí přípravek.** Nejdůležitějším parametrem lepicího přípravku bylo zachování kolmosti obou desek, z nichž se skládal.



Při samostatném lepení předního a následně zadního celku segmentů bylo třeba dodržet kolmost segmentů vůči základové rovině.

Z tohoto důvodu jsem si zhotovil z broušených ocelových desek Lepicí přípravek – viz obrázek č. 5-1. Kolmost těchto desek byla zkalibrována vkládáním proužků alobalové

fólie síly 0,2 mm a šíře cca 10 mm pod krajní část svislé ocelové desky. Toto nastavení kolmosti je znázorněno na obrázku č. 5-2 Lepicí přípravek- detail. Zkalibrované desky byly upnuty k desce stolu dvěma truhlářskými svěrkami.

Tvar segmentů jsem dle výkresů na desku materiálu kreslil při použití pravítka a úhelníku co nejpřesněji rýsovací jehlou, popř. tužkou s tvrdou tuhou síly 0,2mm; pro kreslení kruhových tvarů jsem použil kružítko.

**Obrázek č. 5-2 Lepicí přípravek – detail.** Vlivem tvarových nepřesností obou desek bylo nutné zajistit kolmost vložení alobalové fólie.



Při kreslení jsem vycházel z os a od těchto os jsem vynášel příslušné rozměry. Stejně tak při lepení segmentů a pak při jejich tvarování do oblých tvarů jsem co nejpřesněji vycházel z os.

Použitý materiál je dobře opracovatelný, je však značně nasákavý. V důsledku toho dochází velice snadno k znečištění povrchu potem z rukou, popř. nečistotami na rukou. Abych zmírnil tyto důsledky, provedl jsem v konečné fázi tvarování hlavy její obroušení brusnou deskou o zrnitosti 240 a některé plochy byly lapovány papírem se zrnitostí 1 000. Použitý tmel tmely UP-4310 / UH-4900 má větší tvrdost než základový materiál, takže nebude docházet k jeho obroušování, má však jinou barvu, takže tmelená místa se barevně liší.

Mimořádnou pozornost bylo třeba věnovat všem zapouzdřeným maticím, zejména maticím pro šrouby (svorníky) M5 x 100 viz. výkres 1-11 a 1-12. V podmínkách domácí dílny nelze ani při nejpečlivějším postupu zajistit kolmost závitů těchto matic vůči jejich povrchu. V důsledku toho je vzniklá nepřesnost v kolmosti vynásobena délkou šroubu a ta je zde značná – 100mm. To má za následek, že otvory, kterými šrouby v segmentech

prochází, by nebyly rovnoběžné. Proto jsem zvolil „plovoucí“ uložení matic. Toto uložení spočívá v tom, že do matic byly našroubovány technologické (pomocné) pevnostní šrouby s imbusovou hlavou, tyto šrouby byly protaženy vrtanými otvory v zadních segmentech hlavy, a matice byly ve vyfrézovaných „kapsách“ segmentu 1-01 v této poloze zalaty tmelem. Takto byly zapouzdřeny i matice M4 v podstavci.

**Tabulka č. 5-1 – Výpis z firemní návody ©RAMPF Tooling GmbH & Co. KG.**

Tato tabulka, jež byla přejata z firemní literatury výrobce výše zmíněného lepidla a tmele, znázorňuje podmínky nutné pro lepení a tmelení.

<b>Vlastnosti při zpracování - bloky s hustotou od 0,55 do 0,72 g/cm<sup>3</sup></b>		
	Lepení - EP- 2306 / EH- 2904	Opravy - UP-4310 / UH4900
Barva - opticky	hnědá	hnědá
Směšovací poměr - hmot. díly	100:30	100:1-3
Doba zpracovatelnosti při 25 <sup>0</sup> C - min./ 500 ml	35	4 – 6
Minimální doba vytvrzení - hod.	16	25 - 30

## 5.2 Soupis použitého materiálu

Vysvětlivky pojmů a zkratk:

Hlavní materiál – materiál, který byl použit na výrobu produktu a na tomto produktu i po zpracování zůstal

Pomocný materiál – materiál, který byl nutný pro výrobu, ale nezůstal na produktu

H - materiálová položka použitá na výrobě sestavy hlavy manekýna

P - materiálová položka použitá na výrobě sestavy podstavce manekýna

V - materiálová položka použitá na výrobě ochranného vaku

VS - materiálová položka použitá pro výrobu šablony pro vykroužení segmentů

TS - materiálová položka použitá pro výrobu tvarových šablon

### Hlavní materiál

Č. pol.	Název / specifikace	Množství	Použito
---------	---------------------	----------	---------

Č. pol.	Název / specifikace	Množství	Použito
01	Blok RAKU - TOOL <sup>®</sup> MB - 0670 / 25	1500x500mm	H,P
02	Lepidlo RAKU - TOOL <sup>®</sup> EP – 2306 / EH – 2904	0,5 / 0,15 kg	H
03	Tmel RAKU - TOOL <sup>®</sup> UP – 4310 RESIN / BPO – Paste	1460 / 40 gr	H,P
04	Šroub s válcovou hlavou M5 x 100	3 ks	H
05	Šroub s válcovou hlavou M3 x 22	2 ks	P
06	Šroub s válcovou hlavou M3 x 10	4 ks	P
07	Šroub se zapuštěnou hlavou M4 x 22	4 ks	P
08	Šroub se zapuštěnou hlavou M3 x 14	2 ks	P
09	Podložka plochá Ø 3,2 / Ø 7	6 ks	P
10	Podložka plochá Ø 5,3 / Ø 15	3 ks	H
11	Podložka vějířová Ø3,2 / Ø 6	4 ks	P
12	Ocel plochá 26 x 20 tl.6	2 ks	H
13	Ocel plochá 40 x 26 tl.6	1 ks	H
14	Matice M 4	4 ks	P
15	Matice M 3	4 ks	P
16	Lepidlo vteřinové SUPER ATAK / LOCTITE <sup>®</sup>	3 gr	P
17	Vrut Ø 2,6 x 20	1 ks	P
18	Svorkovnice dvojitá	1 ks	P
19	Dvojlinka bílá Cu 0,2 mm <sup>2</sup>	260 mm	P
20	Sloupek Ø 8 x 39	2 ks	P
21	Překližka 178 x 151 tl. 6,2	1 ks	P
22	Dyha 70 x 60 tl. 1,8	1 ks	P
23	Kulatina buk Ø 10	80 mm	H
24	Kulatina buk Ø 5	110 mm	H
25	Reproduktor KST – 50050	1 ks	P
26	Ocel plochá 7 x 16 tl. 0,9	4 ks	P
27	Lepenka 268 x 38 tl. 1	1 ks	P
28	Vata Hartmann 55% bavlna + 45% viskóza	8 gr	P
29	Lepící páska oboustranná ulith šíře 50	120 mm	P
30	Trubičkový cín Ø1mm s kalafunou	4 gr	P
31	Textilie bavlněná 1480 x 270	1 ks	V
32	Motouz čalounický Ø 5 x 1 000	2 ks	V
33	Nit brašnářská	cca 320 cm	V

Č. pol.	Název / specifikace	Množství	Použito
34	Šroubovák plochý 6,5 x 150	1 ks	H
35	Šroubovák plochý 4 x 25	1 ks	H
36	Pouzdro na PC kabely	1 ks	H
37	Stahovací pásy 100 x 2,5 x 1	2 ks	P
38	Šroub s imbusovou hlavou M5 x 120, závit délky 22 mm	3 ks	H
39	Podložka plochá Ø 5,3 / Ø 10	3 ks	H
40	Lepenka tl. 1,5	4 dm <sup>2</sup>	TS
41	Polystyrenová deska 185 x 155, tl. 3	2 ks	VS
42	Lepidlo BISON Hard Plastics adhesive	25 ml	VS
43	Alobal, tl. 0,2 mm	2 ks	H
44	Kulatina ocel Ø 12,7	2 ks	H
45	Flanelová textilie 1x1,5 m	1 ks	H,P

### Vedlejší materiál

#### **Tabulka č. 5-2 – Základní rozměry segmentů a vypočtené rozteče otvorů pro VS <sup>1)</sup>**

šablonu. Z výrobního hlediska bylo velmi důležité přesně určit polohu otvorů, jež sloužily jako středy otáčení pro šablonu při vykružování. V tabulce jsou dále zaznamenány základní hodnoty tvarů jednotlivých segmentů.

1 Číslo segmentu	2 Horní radius/ /temeno	3 Dolní radius/ /čelist	4 Šíře segmentu v řezu B-B 2)	5 Celková výška segmentu	6 Poloha středu kružnice horního radiusu <sup>3)</sup>	7 Rozteč otvorů VS šablony pro horní radius/temeno	8 Rozteč otvorů VS šablony pro dolní radius/čelist
1Z	77	70	143	300	136	80	73
1P	77	70	143	300	136	80	73
2Z	77	69	143	298	135	80	72
2P	77	70	143	298	135	80	73
3Z	71	63,5	134	289	126	74	66,5
3P	76,5	69,5	142	290	126,5	79,5	72,5
4Z	55	46	102	211	106,5	58	49
4P	65,5	59	124	206	110,5	68,5	62
5P	41	rovné	75	111	78	44	-

Poznámky:

- 1) VS šablona slouží pro vykroužení radiusového obvodu segmentu, tj. pro vykroužení horní a dolní části hlavy (brada, dolní čelist).  
Vypočtené rozteče otvorů zohledňují průměr použité frézky ( $\varnothing 6$ ) tak, aby bylo po vykroužení dosaženo normou předepsaného radiusu
- 2) Řezem B-B se zde rozumí půdorys, daný normou ITU – T Recommendation P.58 (03/93), obrázek FIGURE 5/P.58 .
- 3) Z nárýsu, daného normou ITU – T Recommendation P.58 (03/93), obrázek FIGURE 4/P.58, vyplývá, že v kolmých rovinách na nárýs ve vzdálenostech 25 mm (což je tloušťka segmentů) jsou různé průměry a polohy středů kružnic horních radiusů / temena. Průměry kružnic a polohy jejich středů na svislé ose bylo nutno najít graficky.

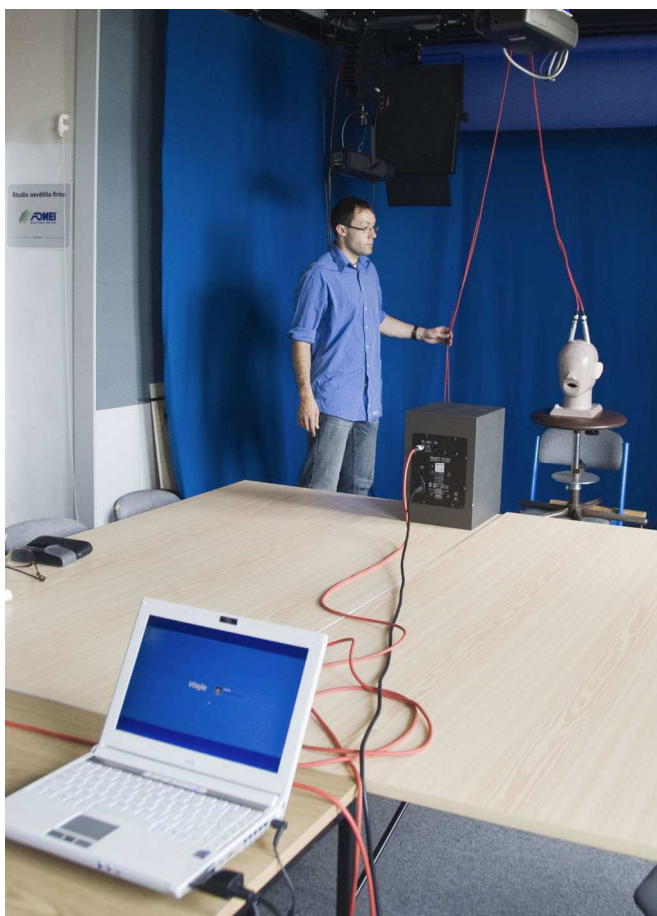
## 6. MĚŘENÍ

Cílem měření stanovených parametrů bylo docílit ověření akustických vlastností mnou zhotoveného manekýna. Stanovené parametry jsou definovány v následujících kapitolách, zejména však v úlohách č.1 až č.3.

### 6.1 Popis podmínek měření

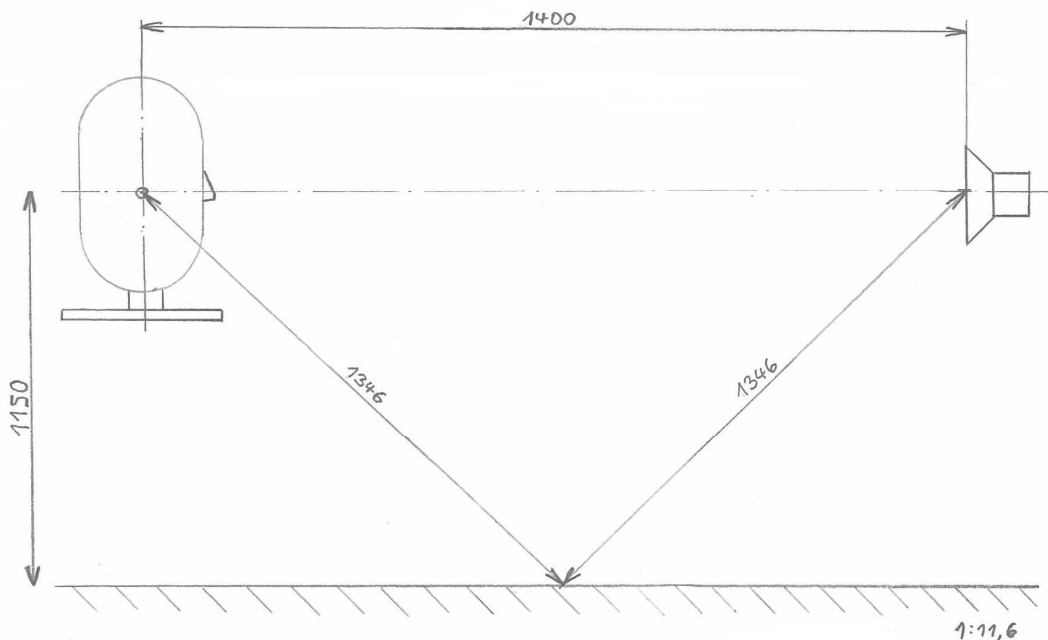
Všechna měření byla provedena za shodných podmínek, které bych zde rád uvedl. Měření probíhalo v rámci výpomoci v audio- video studiu Fakulty elektrotechnické ČVUT. Jedná se o prostředí, které je upravené pro práci s audio- video signálem, avšak nejedná se přímo o bezdozvukovou komoru. Pro snížení odražených zvuků byl manekýn umístěn ve studiu tak, že pozadí za ním bylo tvořeno zavěšeným závěsem ve tvaru U. Celou situaci znázorňuje obrázek č. 5-1 Měření.

**Obrázek č. 5-1 Měření.** Na tomto obrázku jsou znázorněny podmínky, v nichž bylo prováděno měření, včetně zapojené měřicí soustavy.



Schematicky je provedené měření znázorněno na následujícím obrázku č. 5-2 Nákres měření.

**Obrázek č. 5-2 Nákres měření.** Tento nákres detailněji znázorňuje situaci při měření. Vzdálenosti, jež jsou zde zakótovány, posloužily zejména pro výpočty zpoždění.



Tento nákres je důležitý mimo jiné i z důvodů výpočtu předpokládaného odraženého akustického signálu od podlahy, který bohužel nebylo možné nijak efektivně eliminovat. Podlaha místnosti byla pokryta kobercem, který tvoří značně hrubou povrchovou strukturu. Ze zkušeností vyplývajících z předchozích měření je však patrné, že bohužel i takovýto povrch má určité odrazivé vlastnosti zvukových signálů. Z hlediska minimalizace vzniku těchto nežádoucích akustických odrazů byl manekýn umístěn do maximální vzdálenosti od reproduktorové soustavy, která tvořila 1400 mm. Uvádím zde modelový výpočet minimálního mezního zpoždění odraženého akustického signálu, který vychází ze vzdáleností při měření zobrazených na obrázku č. 5-2 Nákres měření.

zpoždění u zvukového signálu při úhlu natočení manekýna 0°:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_z} \Rightarrow t = \frac{1,4}{346,3} = 4,118 \times 10^{-3} \text{ s}$$

zvukový signál odražený od podlahy:

$$t_2 = \frac{l_2}{v_z} \Rightarrow t = \frac{2,7}{346,3} = 7,941 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$v_z = 346,3 \text{ m/s}$$

$$\Delta t_1 = t_2 \cdot t_1 \Rightarrow \Delta t_1 = 3,823 \times 10^{-3} \text{ s} = 3,823 \text{ ms}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_1 + t_1 \Rightarrow \Delta t_2 = 7,941 \times 10^{-3} \text{ s} = 7,941 \text{ ms}$$

$l_1$  ... délka v přímém směru [m]

$l_2$  ... délka po odrazu ( $l_2 = 2 \times 1,346$ ) [m]

$v_z$  ... rychlost zvuku pro suchý vzduch o teplotě 25°C

$t_1$  ... čas potřebný k uražení vzdálenosti v přímém směru [s]

$t_2$  ... čas potřebný k uražení vzdálenosti při odrazu od podlahy [s]

$\Delta t_1$  ... výsledný časový rozdíl [s]

$\Delta t_2$ ... výsledný časový úsek vhodný k měření od počátku [s]

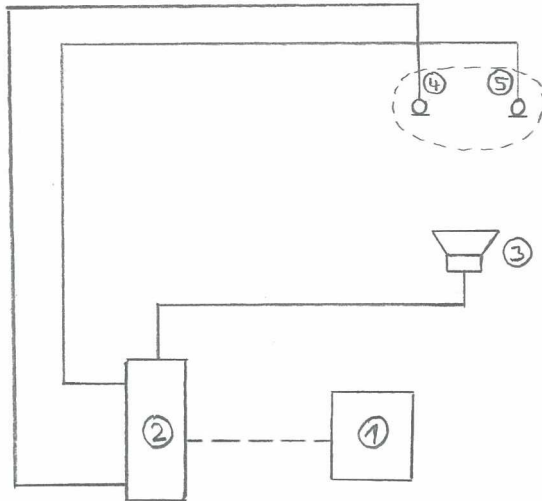
Z výpočtu vyplývá, že zvukovému signálu, který se šířil přímou cestou k mikrofonům, trvalo překonání této vzdálenosti  $t_{1=} = 4,118 \times 10^{-3}$  s. Tento výpočet platí pro úhel natočení manekýna 0°, tedy pro úhel, při kterém byla stejná vzdálenost mezi oběma mikrofony a reproduktorovou soustavou, tedy  $l_1 = 1,4$  m. Zároveň to byl úhel, při němž byl manekýn otočen k reproduktorové soustavě obličejovou částí. Oproti tomu zvukovému signálu, který byl odražen od podlahy studia, trvalo překonání této vzdálenosti  $t_2 = 7,941 \times 10^{-3}$  s. Rozdíl těchto časů tedy tvoří časové okno, v němž lze provést měření, které není ovlivněno odrazy zvukového signálu od podlahy, tj.  $\Delta t_1 = 3,823$  ms.

Měření probíhalo při teplotě 27 °C, atmosférickém tlaku 1014 mb a relativní vlhkosti vzduchu 63 %. Rychlost zvuku, která byla ve výpočtech definována hodnotou 346,3 [m/s] platí pro suchý vzduch o teplotě 25 °C. V podmínkách, v nichž probíhalo měření, byla tato hodnota vzhledem k vyšší teplotě patrně mírně vyšší, avšak zkreslení ve výpočtech dosahuje zanedbatelných hodnot. Z tohoto důvodu jsem nepře počítával rychlost zvuku na podmínky, v nichž měření probíhalo.

### 6.1.1 Soupis použitých technických prostředků

Blokové schéma znázorňující měřicí soustavu námi vyrobeného manekýna je znázorněno na obrázku č. 5-3 Blokové schéma.

**Obrázek č. 5-3 Blokové schéma měření námi vyrobeného manekýna.** Tento obrázek znázorňuje blokové schéma soustavy, v níž byl zapojen námi vyrobený manekýn (znázorněn čárkovanou čarou).



1 ... počítač

2 ... zvuková karta

3 ... reproduktorová soustava

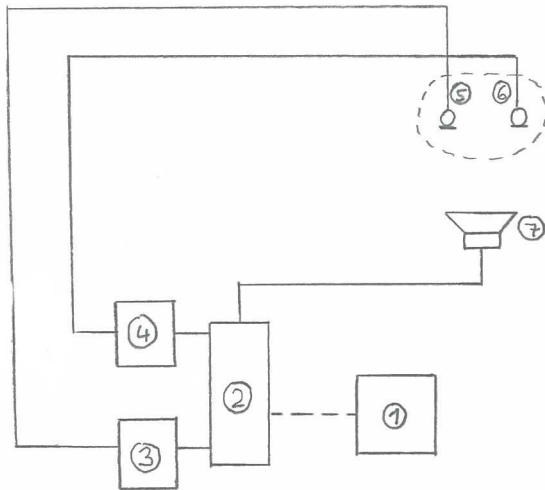
4 ... anatomicky pravý mikrofon

5 ... anatomicky levý mikrofon

Čárkovaně je znázorněno rozhraní Firewire. Ostatní komponenty byly propojeny přes audiokabely.

Účelem měření č.1 však bylo porovnat námi vyrobeného manekýna s manekýnem vyrobeným na ČVUT. Měřicí soustava, která byla sestavena pro toto měření je znázorněna na obrázku č. 5-4 Blokové schéma měření manekýna ČVUT.

**Obrázek č. 5-4 Blokové schéma měření manekýna FEL ČVUT.** Podobně, jako předešlý obrázek i tento znázorňuje blokové schéma soustavy, v níž byl zapojen manekýn FEL ČVUT.



1 ... počítač

2 ... zvuková karta

3 ... měřicí zesilovač pro pravý mikrofon

4 ... měřicí zesilovač pro levý mikrofon

5 ... anatomicky pravý mikrofon

6 ... anatomicky levý mikrofon

7 ... reproduktorová soustava

Čárkovaně je znázorněno rozhraní Firewire. Ostatní komponenty byly propojeny přes audiokabely.

V případě měřicí soustavy s manekýnem FEL ČVUT se měřicí soustava lišila pouze přidáním měřicích zesilovačů (znázorněných pozicemi 3 a 4). To je nutné vzhledem k použitým typům mikrofonů. Dále se pochopitelně u obou soustav zaměnili manekýni. Byli však vždy postaveni do stejných vzdáleností i výšek, jak je znázorněno na obrázku č. 5-2 Nákres měření, z důvodů zachování identických podmínek měření.

**SOFTWARE:** Easera 1.1.3 + kompatibilní počítač

**ZVUKOVÁ KARTA:** RME; FIREFACE 400

**REPRODUKTOROVÁ SOUSTAVA:** dvoupásmová, EVENT; PS6; 45Hz – 20kHz, ±3dB, Ref 500Hz; dělicí kmitočet: 2,6kHz

**MIKROFONY** použité v našem manekýnovi: Measurement Microphone ECM 8000, průměr 1/2 inch, frekvenční rozsah 15 - 20000 Hz, citlivost 60 mV/Pa

**MIKROFONY** použité u manekýna FEL ČVUT: Brüel & Kjaer 4188, průměr 1/2 inch, frekvenční rozsah 8 - 12500 Hz, citlivost 31.6 mV/Pa

MĚŘÍCÍ ZESILOVAČE použité při zapojení manekýna ČVUT: výrobce- Brüel & Kjaer; 2525

Při měření byl dále snímán akustický smog z vnějšího prostředí zvukoměrem Lutron SL-4001.

Měření a vyhodnocení výsledků bylo provedeno v programu Easera 1.1.3. K eliminaci odražených zvukových signálů byl pro vyhodnocení vybrán detekovaný signál v časovém okně 0 až 7 ms, jak je patrné z výpočtu v předešlém textu. Vyhlazení křivek bylo z důvodů větší přehlednosti pro frekvenční charakteristiky provedeno v úrovni 1/3 oktávy. V případě ostatních měření nebylo vyhlazení provedeno vůbec.

### **6.1.2 Výběr aktivačního signálu**

Software Easera 1.1.3 nabízí na výběr pro uživatele celkem 7 různých aktivačních signálů o různých tvarech. Signály SWEEP, LOG- SWEEP a SINE jsou harmonického charakteru. Oproti tomu signály PINK NOISE a WHITE NOISE jsou charakteru šumového. Dále je v nabídce MLS (Maximum Length Sequences) signál. Pro záznam časové odezvy na impuls, a pak získání frekvenčního průběhu z této odezvy nelze použít sinusového signálu.

Pro měření byl použit vážený MLS signál o vzorkovací frekvenci 96 kHz s délkou trvání 2,7 s o řádu 18. Relativně vysoký řád 18 byl zvolen s ohledem na značnou velikost místnosti, v níž měření probíhala. Pro měření bylo rovněž možné použít i signál Sweep. Ten však není tolik odolný vůči nekorelovanému šumu, jako je tomu u signálu MLS. Dále je z hlediska subjektivních pocitů při měření pro obsluhu značně nepříjemný. Signál MLS je běžně užívaný pro testování akustické techniky. Jak vyplývá z více studií, se kterými jsem se mohl seznámit, byl využit i pro testování podobných manekýnů. Každý použitý měřicí signál obsahoval celkem 6 MLS sekvencí, z nichž první sloužila k vybuzení prostoru. Ze zbývajících 5 MLS sekvencí byl proveden průměr, který se dále použil pro vyhodnocování. Tímto způsobem se eliminovaly nežádoucí akustické jevy z vnějšího prostředí vstupující do měření.

Pseudonáhodné signály maximální délky (Maximum Length Sequences) jsou binární signály, které se obvykle generují jako řada bitů s logickou úrovní „0“ a „1“. Takto generovaný signál je periodický s délkou periody

$$L = 2^N - 1$$

kde  $N$  je počet buněk posuvného registru. [8]

V průběhu celého měření byl kontrolován i akustický smog, přicházející do pracovního prostoru, z vnějšího prostředí. Tento smog byl zaznamenáván v průběhu měření zvukoměrem. Intenzita akustického smogu dosáhla po dobu měření v průměru hodnoty 38,8 dB. Zvukoměr byl umístěn v těsné blízkosti celé měřicí soustavy z důvodů maximální objektivity. Měření akustického smogu byla vždy prováděna při vypnutém buzení MLS signálu a při maximální eliminaci hluku spojeného s činností obsluhy. Jedná se tedy o hodnotu z prostředí s nejmenší možnou hlukovou zátěží, jež bylo možné za daných podmínek vytvořit. V místnosti se nacházeli 3 lidé. Stejným zvukoměrem byla snímána i intenzita zvukového signálu v těsné blízkosti manekýna v průběhu buzení MLS signálem. Tato hodnota dosahovala úrovně přibližně 73,3 dB. Z těchto naměřených údajů lze tedy odvodit, že odstup signálu od hlukového pozadí, jemuž byl vystaven manekýn při měřeních dosahovala přibližně 34,5 dB. Tento rozdíl je dostatečně velký pro korektní použití a hlavně vyhodnocení frekvenčních charakteristik pomocí MLS signálu. Jedná se tedy o použitelnou metodu měření z hlediska rušení vnějšími akustickými signály.

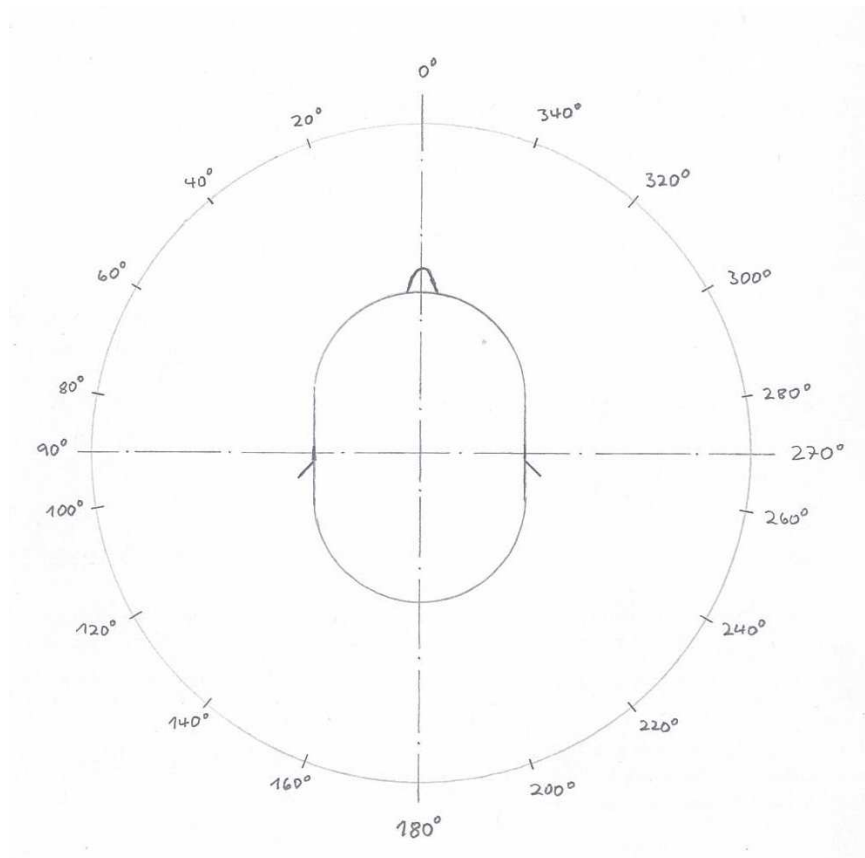
## 6.2 Metodika měření

Základní soubor dat, sloužící k vyhodnocení pro všechny 3 úlohy, byl získán najednou v průběhu jednoho dne, při němž probíhala všechna potřebná měření. Učinil jsem tak mimo jiné i z důvodů zajištění neoptimálnějších podmínek pro měření, jakými byla např. velikost akustického smogu z vnějšího prostředí, teplota, tlak, relativní vlhkost vzduchu atd.

Oba manekýni byli v průběhu měření umístěni na otočnou soustavu, jež byla vybavena kruhovou stupnicí, znázorňující úhly otáčení v horizontální rovině. Všechna měření probíhala pouze v horizontální rovině, jež procházela zvukovody. Podle této stupnice byli oba manekýni otáčení proti směru hodinových ručiček do poloh po  $20^\circ$ , případně i po  $10^\circ$ , jak je znázorněno na obrázku č. 5-5 Úhly natočení. Dle standardních fyziologických podmínek by se měl zdroj zvuku při měření otáčet kolem manekýna, jež by měl být upevněn v neměnné poloze. Z praktických důvodů, byla však při měření, do jedné polohy umístěna reproduktorová soustava a natáčení bylo provedeno u manekýna, výše popsaným způsobem. Princip obou metod je shodný, proto bylo možné tímto způsobem měření vykonat.

Anatomicky pravý mikrofon byl označen jako M1, anatomicky levý pak jako M2.

**Obrázek č. 5-5 Úhly natočení.** Na tomto obrázku jsou znázorněny úhly ve [°], podle nichž byli oba manekýni v průběhu měření natáčení. Tyto úhly jsou rovněž zaneseny v následujících tabulkách a grafech.

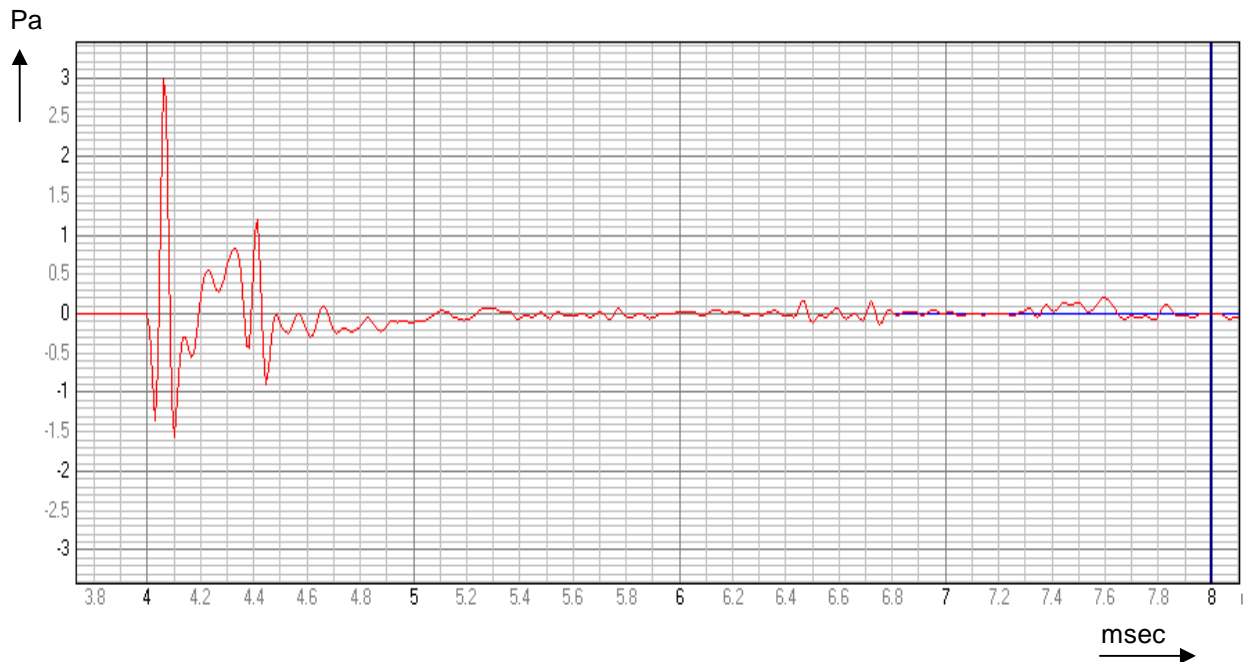


Poloh, v nichž byli manekýni vystaveni akustickému signálu, který byl následně snímán, je 20 a jsou to úhly natočení: 0°; 20°; 40°; 60°; 80°; 90°; 100°; 120°; 140°; 160°; 180°; 200°; 220°; 240°; 260°; 270°; 280°; 300°; 320°; 340°. Těchto 20 poloh odpovídá krokům natočení po 20°, jak bylo popsáno výše, avšak z důvodů zvýšené důležitosti byly přidány ještě úhly 90° a 270°.

V každé této poloze byla provedena tři měření se třemi velikostmi boltců. U každé velikosti se měnily úhly naklopení boltců, viz. níže. Kromě těchto měření bylo nutné provést rovněž i kalibrační měření. To bylo prakticky realizováno tak, že byla zachována celá používaná měřící soustava včetně poloh mikrofonů, avšak bez vlastního manekýna. Při odstraňování vlastního manekýna byl kladen zvláštní důraz na umístění obou mikrofonů do totožných poloh, jako tomu bylo v případě umístění uvnitř manekýna při měřeních. Bylo tak učiněno z důvodů zachování identických podmínek měření. Výsledkem kalibračního měření jsou kalibrační křivky pro oba mikrofony. Každý mikrofon byl kalibrován jeho příslušnou kalibrační křivkou. Pro názornost zde

uvádím kalibrační křivku pro mikrofon M1, viz obrázek č.5-6 Kalibrační křivka pro mikrofon M1.

**Obrázek č. 5-6 Kalibrační křivka pro mikrofon M1.** Tato křivka znázorňuje odezvu mikrofonu M1 na budící signál v časové oblasti. Posloužila při vyhodnocování výsledků pro jeho kalibraci. Na ose x je čas v [ms], na ose y je hladina akustického tlaku v [Pa].



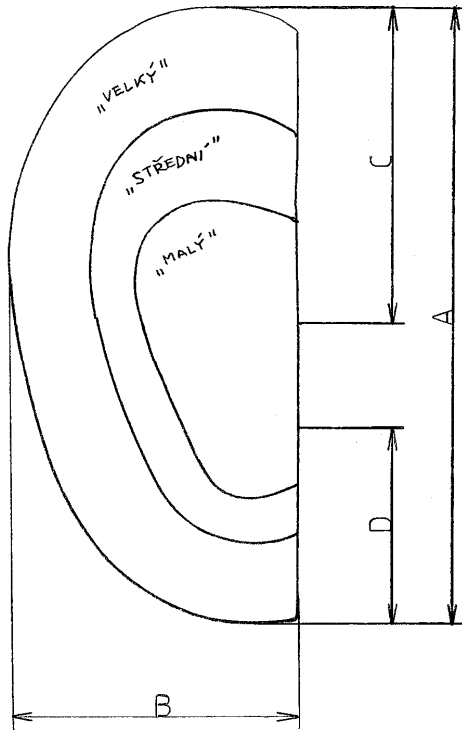
Na námi vyrobeném manekýnovi bylo tedy provedeno 181 měření. U manekýna FEL ČVUT byl počet měření nižší, pouze 20 pro výše popsané úhly natočení. Celkově bylo tedy na obou manekýnech provedeno 201 měření.

U manekýna FEL ČVUT nebylo bohužel možné vyjmout samotné mikrofony. Celá skořepina, je totiž nejen sešroubována, ale zároveň i slepena z důvodů minimalizací nežádoucích akustických jevů v mezeře, jíž prochází dělicí rovinou. Z těchto důvodů nebylo možné provést ani kalibrační měření samotných mikrofonů, na rozdíl od námi vyrobeného manekýna. Mikrofony, zabudované do manekýna našeho i manekýna FEL ČVUT jsou však identické z hlediska principu funkce a rozměrů membrány. Jsou elektretové (elektrostatické) s charakteristikou „koule“. Z těchto technických parametrů lze tedy usoudit značnou podobnost vlastností obou sad mikrofonů v oblasti provedeného měření a lze tudíž i aplikovat naměřenou kalibrační křivku, která je v podstatě kmitočtovou charakteristikou použitých mikrofonů. Byla získána při měřeních našimi mikrofony, jak již bylo popsáno výše. Tato kalibrační křivka byla

aplikována i na naměřené hodnoty manekýna FEL ČVUT. Jsem si vědom, že nejpřesnější a tudíž i nejvhodnější by bylo provést vlastní kalibrační měření pro konkrétní mikrofony, jež byly použity u manekýna FEL ČVUT stejně, jako na námi vyrobeném manekýnovi. Z technických důvodů však bohužel nebylo možné mikrofony vyjmout a toto kalibrační měření provést. Zároveň jsem celou problematiku konzultoval s odborníky na FEL ČVUT, kteří mi potvrdili, že vzhledem k identickým parametrům obou sad mikrofonů lze provést kalibraci tak, jak jsem ji popsal výše, tedy aplikovat kalibrační křivku získanou z našich mikrofonů i pro měření na manekýnovi FEL ČVUT. Kalibrací se eliminuje zejména vliv nelinearity kmitočtové charakteristiky použitého reproduktoru a případně i mikrofonů. Z tohoto důvodu byla provedena korekce naměřených dat.

Velikosti vyrobených ušních boltců byly navrženy dle následujících požadavků. Střední velikost odpovídá velikostem použitých ušních boltců u manekýna FEL ČVUT. Zároveň odpovídá průměrné velikosti ušního boltce u dospělého člověka. Z důvodů zesílení projevů předpokládaného akustického stínu u ušních boltců „velkých“, byly jejich velikosti navrženy tak, že jsou výrazně větší, než ušní boltce „střední“, tedy pokládáné za průměrně velké a pro měření referenční. Ze stejného důvodu byly navrženy i velikosti ušních boltců „malých“, tedy ve velikostech výrazně menších, než jakým odpovídají ušní boltce „střední“. Bylo tak učiněno, aby se minimalizoval případný projev předpokládaného akustického stínu, způsobeného ušními boltci. Zároveň je lze svou velikostí pokládat za „dětské“. Ušní boltce použité u manekýna FEL ČVUT mají mnohem propracovanější tvary, než ušní boltce použité na našem manekýnovi. Při měřeních mi bylo ústně sděleno, že se v případě manekýna FEL ČVUT jedná se o odlitky skutečných ušních boltců konkrétního člověka. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.5.3 Vliv ušního boltce, tvary ušních boltců mají výrazný vliv na prostorovou lokaci zdroje zvuku. Tvarově velmi jednoduché ušní boltce použité při měřeních na našem manekýnovi, které byly vyříznuty z rovné desky překližky o tloušťce 4 mm, nemohou simulovat tuto funkci. K tomuto účelu ale ani nebyly navrženy. Boltce posloužily k prověření hypotézy, zda má velikost ušních boltců vliv na velikost akustického stínu, jež vytvářejí. Pro ověření či vyvrácení této hypotézy se při měřeních předpokládá, že jejich jednoduchý tvar, který znázorňuje obrázek č. 5-7 Obrisy ušních boltců, je pro účely měření postačující a vyvolává dostatečně zřetelný akustický stín. Následující tabulka č. 5-1 popisuje rozměry vyrobených ušních boltců použitých při měřeních.

**Obrázek č. 5-7 Obrisy ušních boltců.** Na tomto obrázku jsou znázorněny tvary vyrobených ušních boltců, jež byly použity pro měření, v měřítku 1:1. Zároveň jsou jejich velikosti slovně označeny.



1:1

**Tabulka č. 5-1 Rozměry ušních boltců.** Tato tabulka vychází z obrázku č. 5-7. Jsou v ní zaneseny základní rozměry ušních boltců společně s jejich označením.

OZNAČENÍ UŠNÍHO BOLTCE	ROZMĚRY [mm]			
	A	B	C	D
„malý“	49	26	20	12
„střední“	70	33	35	18
„velký“	100	46	51	32

Vymezení úhlů naklonění boltců, potřebné pro všechna měření, zejména pro měření č. 3, bylo provedeno vsunutím vložek. Vložky byly umístěny mezi boltec a hlavu, takže vymezovaly zvolené úhly boltců. Jednalo se o 3 úhly ve velikostech zanesených v následující tabulce č. 5-2 Úhly naklonění ušního boltce.

**Tabulka č. 5-2 Úhly naklonění ušního boltce.** Pro všechna měření (zejména pak pro úlohu č.3) bylo důležité dodržovat i konkrétní velikost úhlů naklonění mezi boltci a hlavou. Velikosti úhlů naklonění jsou znázorněny v této tabulce.

OZNAČENÍ ÚHLU	VELIKOST [°]
$\alpha_1$	32
$\alpha_2$	47
$\alpha_3$	66

Z fyziologického hlediska byl zvolen jako nejvhodnější úhel o velikosti 32°. Tento úhel byl označen jako  $\alpha_1$ , který je ze všech nejmenší. Tento úhel přibližně odpovídá i úhlu naklonění ušních boltců použitých u manekýna FEL ČVUT. Úhel  $\alpha_2$ , tedy úhel střední velikosti, odpovídá 47° a úhel  $\alpha_3$ , tedy úhel největší, odpovídá 66°. Rozdílné úhly naklonění ušních boltců slouží pro ověření hypotézy, týkající se závislosti úhlů naklonění ušních boltců na velikosti akustického stínu, který tyto boltce vytvářejí.

Návrh obecného tvaru a velikostí ušních boltců je velmi obtížný, jelikož se jedná o parametry specifické pro každého člověka. Měl jsem proto snahu vycházet ze studie, která by se touto problematikou zabývala. Oslovil jsem tedy Anatomický ústav 1.LF, zda podobnou studii nevládní. Bylo mi však bohužel sděleno, že o podobné práci nic nevědí. Oslovil jsem tedy Katedru antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty UK. I přes maximální snahu mou, pracovníci v knihovně i v archivu se však bohužel ani zde nepodařilo najít jakoukoli publikaci, která by se touto problematikou zabývala. Zároveň jsem ve spolupráci s tamními pracovníky hledal podobný informační zdroj v katalozích na Internetu, rovněž neúspěšně.

Rozhodl jsem se tedy přeměřit ušní boltce 30 lidem ve věku od 20 do 50 let, kdy 15 vzorků patřilo osobám ženského pohlaví a 15 vzorků osobám mužského pohlaví. Z naměřených hodnot jsem pak vypočítal průměrné rozměry, jež odpovídají ušnímu boltci ve velikosti „střední“. Rovněž tvar pro tuto velikost jsem přejal z ušního boltce, který této velikosti odpovídá. Velikosti ušních boltců „malý“ a „velký“ jsem z tohoto měření odvodil také, avšak tak, aby „velký“ ušní boltce měl výrazně větší rozměry, než jaký byl naměřený průměr. Stejným způsobem jsem volil i velikost ušního boltce „malý“, tedy s rozměry výrazně podprůměrnými. Učinil jsem tak z důvodů zvětšení předpokládaného rozdílu hodnot při měření. Tvar byl odvozen dle fyziologické předlohy. Zajímavé je, že ušní boltce, jež odpovídají velikosti „střední“ jsou srovnatelné s velikostí ušních boltců použitých u manekýna FEL ČVUT. To může poukazovat na

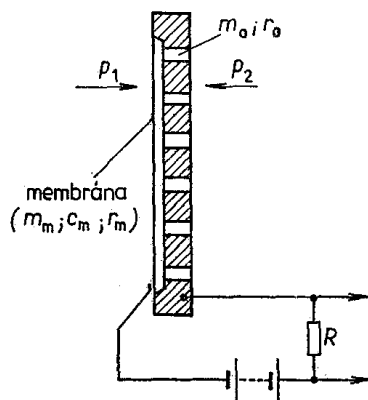
skutečnost, že mnou vyrobené ušní boltce, jež jsou vyhodnocené jako průměrně velké, lze opravdu za průměrně velké pokládat. Zároveň je to i nezbytný předpoklad pro srovnávací měření, mezi manekýnem mnou vyrobeným a manekýnem FEL ČVUT.

Srovnatelný problém byl i při volbě úhlů naklonění ušních boltců. Tyto úhly jsem rovněž odvodil srovnatelným způsobem, jako velikosti a tvar ušních boltců, jež je popsán výše.

### 6.3 Elektretové mikrofony

K zaznamenání odezvy na zvukový signál byly v manekýnu použity elektretové mikrofony. Tento mikrofon se skládá z pohyblivé membrány, z pevné elektrody a ze vzduchového dielektrika. Principiálně připomíná tento mikrofon svými vlastnostmi kondenzátor. Schematicky je znázorněn na obrázku č. 5-8 elektretový mikrofon.

**Obrázek č. 5-8 Elektretový mikrofon.** Na tomto obrázku je schématicky znázorněn řez elektretovým mikrofonem včetně jeho elektrického zapojení. (Převzato z [4].)



Jsou-li v klidovém stavu elektrody trvale pod napětím  $U$ , vzniká v důsledku tohoto napětí mezi elektrodami elektrostatické pole a na elektrodách se hromadí elektrický náboj  $Q$ , kde  $C$  je kapacita mezi elektrodami [F].

$$Q = C \cdot U \quad [C; F, V] \quad (1)$$

Kapacita elektrod je obecně dána vztahem:

$$C_0 = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad [F; Fm^{-1}, m^2, m] \quad (2)$$

kde  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m je permitivita vakua (přibližně i suchého vzduchu),  $S$  je aktivní plocha elektrod [ $m^2$ ] a  $d$  je klidová vzdálenost elektrod [m].

Jestliže na membránu (pohyblivá elektroda) mikrofonu dopadá zvukové vlnění, pak v důsledku proměnlivého akustického tlaku dojde k uvedení membrány do pohybu a tudíž i ke změně vzdálenosti elektrod na  $d \pm y$ , kde  $y$  je výchylka elektrody. Ze vztahu (2) plyne, že vychylování elektrody způsobí změnu kapacity. Je-li mikrofon zapojen do napájecího obvodu s tak velkým odporem  $R$ , že zabrání “odtékání” náboje  $Q$  z elektrod, pak z výrazu (1) plyne, že změna kapacity  $\Delta C$  vyvolá vznik proměnlivého napětí, které bude odezvou na akustický signál. [4]

## 6.4 Zvukovod

Konstrukce zvukovodů, jejich poloha a rozměry byly podřízeny k předpokládanému experimentálnímu využití manekýna. Proto byl zvolen zvukovod válcového tvaru. Obecnou vlastností zvukovodu je přizpůsobení akustické impedance např. membrány (v našem případě membrány mikrofonu), na prostředí, kterým se ve vlnoplochách šíří zvukový signál.

Z anatomického hlediska je zvukovod člověka součástí zevního ucha. Jednou z funkcí zvukovodu člověka je vést zvuk z vnějšího prostředí na bubínek, kterým je zvukovod ukončen, jak bylo popsáno v kapitole 2. Fyziologický úvod slyšení. Jeho tvarové provedení je značně složité a individuální, a proto bylo třeba u našeho manekýna provést podstatná zjednodušení. Zvukovod manekýna odpovídá fyziologickému zvukovodu svoji délkou 21mm (dle [4] je fyziologická délka asi 23 až 24mm), avšak jeho umístění a kruhový průměr byl proveden dle zadání zadavatele. Svým tvarem se nejvíce přibližuje cylindrickému zvukovodu konečné délky s tím, že zvukovod je v našem případě na svém výstupu zatížen membránou elektrostatického mikrofonu. [7] Tento mikrofon je umístěn v samostatné drážce, která vyúsťuje do zvukovodu.

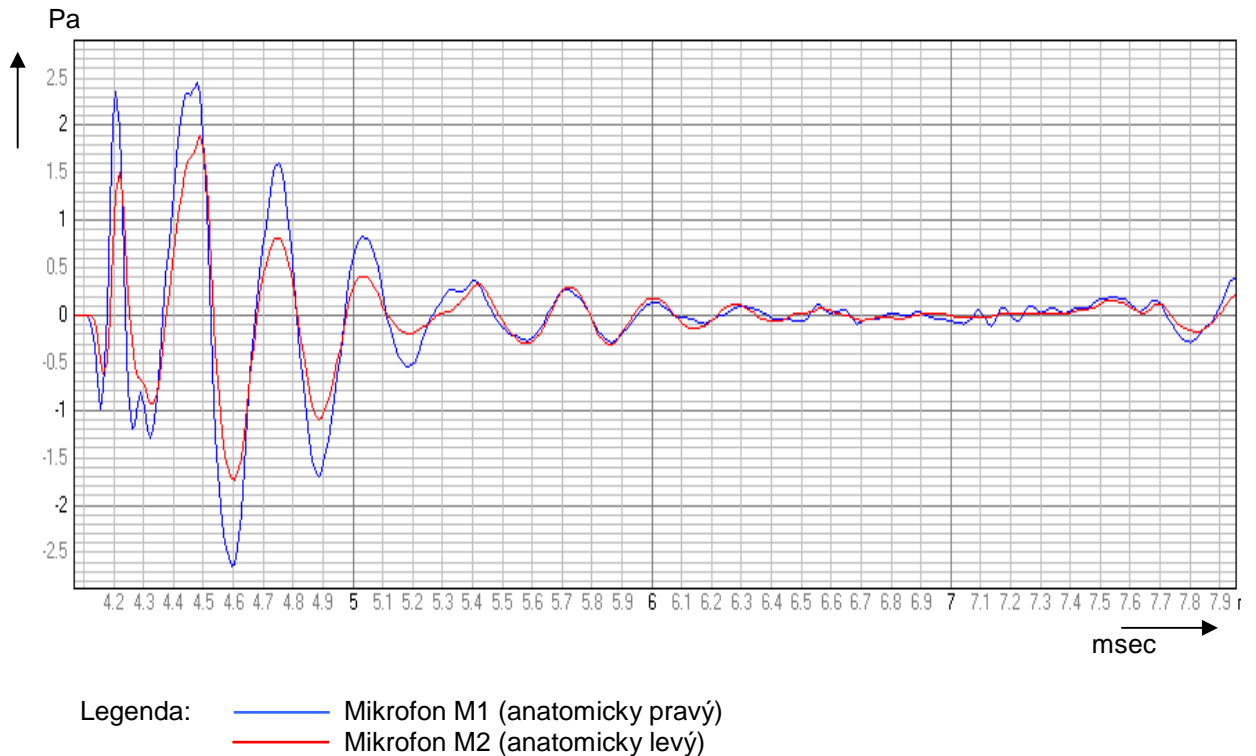
Vzhledem k tomu, že rozměry a poloha zvukovodu byly zvoleny pro potřeby dalšího výzkumu, nebyl proveden výpočet pro převod akustických impedancí zvukovodem a tudíž průměr zvukovodu (průřez  $S$  zvukovodu při dané délce  $l$ ) nebyl určen výpočtem.

Rozměry a umístění zvukovodů u manekýna jsou uvedené v konstrukční dokumentaci, která je součástí této diplomové práce.

## 6.5 Odezvy na budící signál v časové oblasti

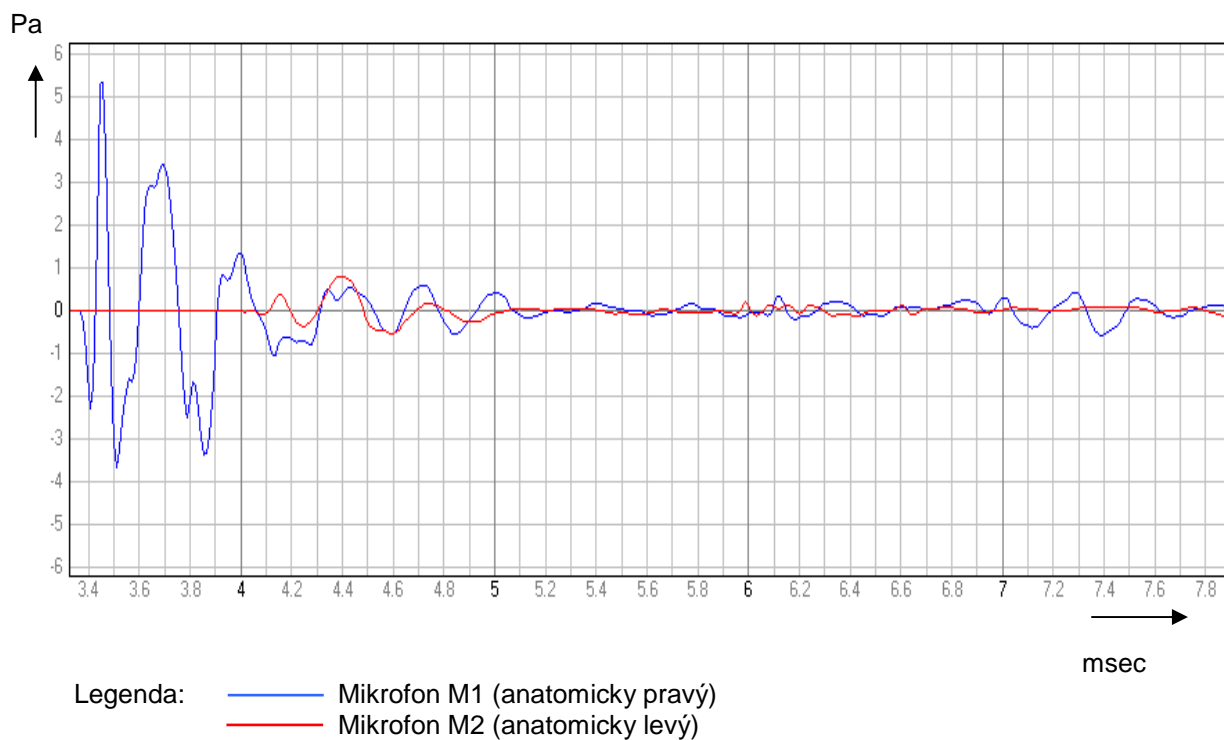
K přesnějšímu posouzení námi vyrobeného manekýna byl rovněž vyhodnocen i časový průběh odezvy na budící signál. K celkovému vyhodnocení (viz. obrázek č. 5-13) byly změřeny velikosti zpoždění pro pozice po 20°, tedy pro úhly 0°; 20°; 40°; 60°; 90°; 100°; 120°; 140°; 160°; 180°; 200°; 220°; 240°; 260°; 270°; 280°; 300°; 320°; 340°, jak je uvedeno v tabulce č. 5-3 Vzájemné zpoždění signálů M1 a M2. Z časových průběhů odezev mikrofonů na měnící se signál je patrné mimo jiné i zpoždění signálu pro oba mikrofony. Z vyhodnocovaných směrových úhlů jsou nejvýznamnější výsledky pro úhly natočení manekýna 0°, 90°, 180° a 270°, které jsou znázorněny na obrázcích č. 5-9 až 5-12. Pro vyšší přehlednost grafického vyjádření křivek byl počátek časového okna posunut na počátek záznamu měřícího signálu mikrofony, proto na obrázcích grafické vyjádření zpoždění chybí, avšak je patrné na stupnici osy x. Modrá křivka znázorňuje mikrofon M1 (anatomicky pravý), červená pak mikrofon M2 (anatomicky levý). Z velikostí zpoždění signálu pro oba mikrofony byl spočítán rozdíl, který je vyjádřen v následujících tabulkách. Z těchto hodnot byl rovněž sestaven obrázek č. 5-13 Směrové vyjádření zpoždění. Měření bylo prováděno v horizontální rovině dle podmínek popsanych výše, s ušními boltci „střední“ velikosti, které byly naklopeny vůči hlavě pod úhlem 32°.

**Obrázek č. 5-9 Odezva na signál v časové oblasti – úhel  $0^{\circ}$ .** Za ideálních podmínek by časové zpoždění obou mikrofonů mělo při úhlu natočení manekýna  $0^{\circ}$  dosahovat nulové hodnoty. Na ose x je čas v [ms], na ose y je hladina akustického tlaku v [Pa].



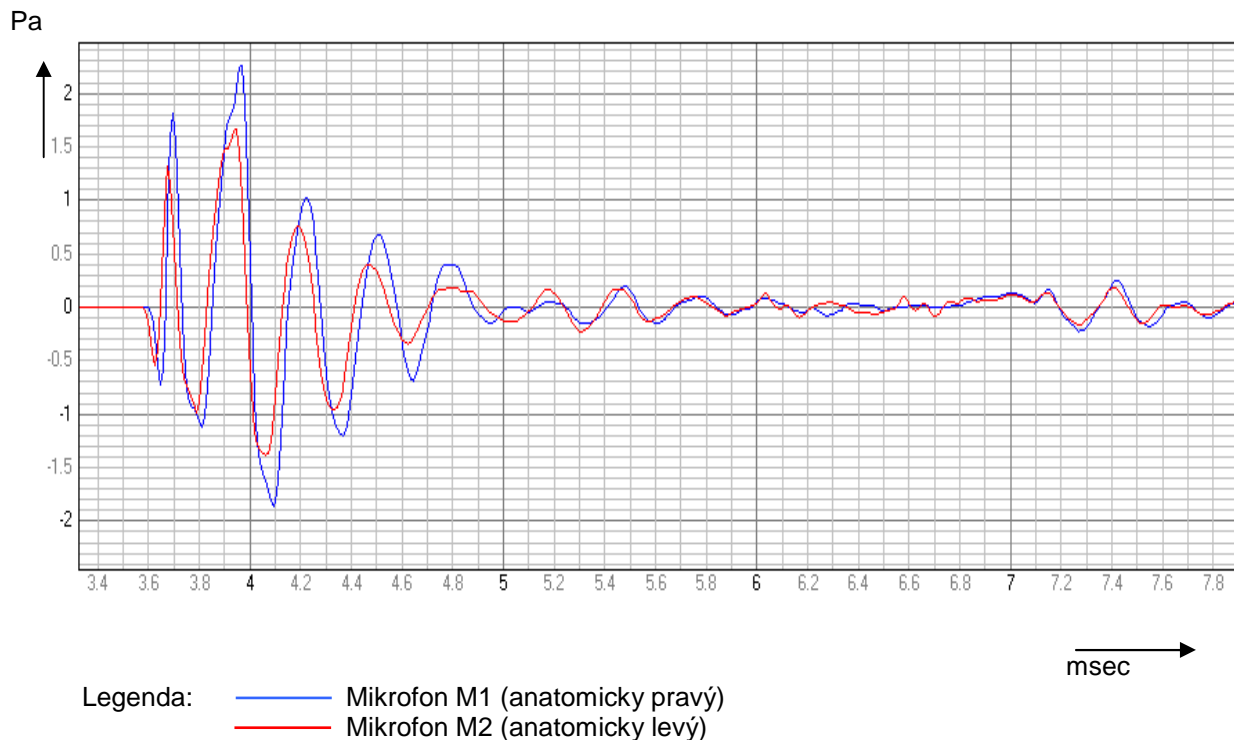
Pro úhel natočení  $0^{\circ}$  by měly mít teoreticky obě křivky znázorňující odezvu na akustický signál počátek ve stejném bodě časové osy. Tento čas potřebný k uražení vzdálenosti mezi reproduktorovou soustavou a mikrofony je vypočítán v kapitole 5.1 Popis podmínek měření, a jeho hodnota teoreticky činí  $t_1 = 4,118$  ms. Prakticky naměřený čas počátku obou křivek vypočtenému času opravdu odpovídá. Na obrázku č. 5-9 je však vidět, že počátek obou křivek neodpovídá jednomu časovému okamžiku, jak by tomu teoreticky mělo být. Červená křivka, jež znázorňuje odezvu signálu pro mikrofon M2 (levý) má počátek oproti modré křivce znázorňující odezvu signálu pro mikrofon M1 (pravý) o 0,01 ms posunut později. Tento rozdíl je způsoben nepřesností natočení manekýna při měřeních. Z hlediska měření však tato nepřesnost natočení lze zanedbat.

**Obrázek č. 5-10 Odezva na signál v časové oblasti – úhel  $90^{\circ}$ .** Na obrázku je patrné maximální zpoždění detekovaného akustického signálu pro mikrofon M2. Na ose x je čas v [ms], na ose y je hladina akustického tlaku v [Pa].



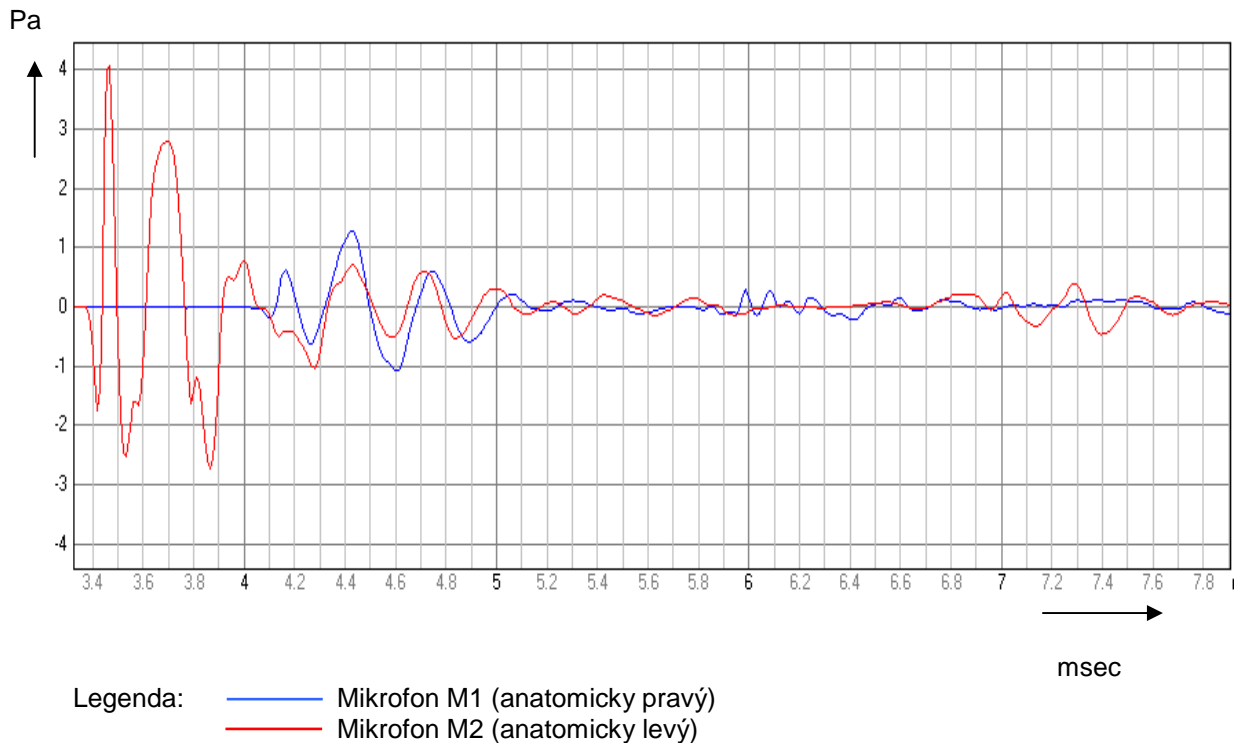
Úhel natočení manekýna  $90^{\circ}$  je důležitý z hlediska maximální hodnoty zpoždění signálu M2, tedy červené křivky, jež odpovídá anatomicky levému mikrofonu. Jak je z obrázku č. 5-10 patrné, velikost tohoto zpoždění činí 0,63 ms.

**Obrázek č. 5-11 Odezva na signál v časové oblasti – úhel  $180^{\circ}$ .** Podobně, jako na obrázku č. 5-9, by za ideálních podmínek i pro tento úhel natočení měl platit nulový časový rozdíl počátků detekce zvukového signálu. Na ose x je čas v [ms], na ose y je hladina akustického tlaku v [Pa].



Pro úhel natočení manekýna  $180^{\circ}$  by teoreticky měly platit z časového hlediska tytéž hodnoty, jako pro úhel natočení  $0^{\circ}$ . Rovněž zde by měly mít teoreticky počátky obou křivek jeden časový okamžik. Prakticky se však i zde projevuje patrně nepřesnost natočení manekýna a tudíž i mírný rozdíl zpoždění obou křivek. Tato hodnota dosahuje stejně, jako pro úhel natočení  $0^{\circ}$ , velikosti  $-0,01$  ms, avšak záporné hodnoty. Logicky pro úhel  $180^{\circ}$  platí následující pořadí počátků detekce obou mikrofonů - nejdříve byl zaznamenán počátek odpovídající mikrofonu M2, tedy červené křivky a o  $0,01$  ms později počátek mikrofonu M1, tedy modré křivky. Je tomu naopak, jako pro úhel natočení  $0^{\circ}$ .

**Obrázek č. 5-12 Odezva na signál v časové oblasti – úhel  $270^{\circ}$ .** Rovněž zde je podobně jako na obrázku č. 5- 10 znázorněno maximální zpoždění, tentokrát však mikrofonu M1. Na ose x je čas v [ms], na ose y je hladina akustického tlaku v [Pa].



Podobně jako platí obrácený vztah pro úhly natočení  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ , měl by teoreticky platit obdobný, avšak obrácený vztah i mezi úhly natočení  $90^{\circ}$  a  $270^{\circ}$ . Oba úhly jsou mezní z hlediska maximálního rozdílu zpoždění. Z naměřených hodnot vyplývá, že tento obrácený vztah skutečně platí, jelikož rozdílná hodnota zpoždění byla i pro úhel natočení  $270^{\circ}$  vyjádřena maximální hodnotou, která však dosahuje velikosti  $-0,68$  ms. V případě úhlu natočení  $90^{\circ}$  činila tato hodnota „pouze“  $0,63$  ms. Rozdíl  $0,05$  ms, který byl prakticky naměřen, přikládám nepřesnosti měření popř. úhlu natočení manekýna. Tato hodnota by sice teoreticky měla dosahovat nulových hodnot, avšak rozdíl  $0,05$  ms lze jakožto chybu měření zanedbat.

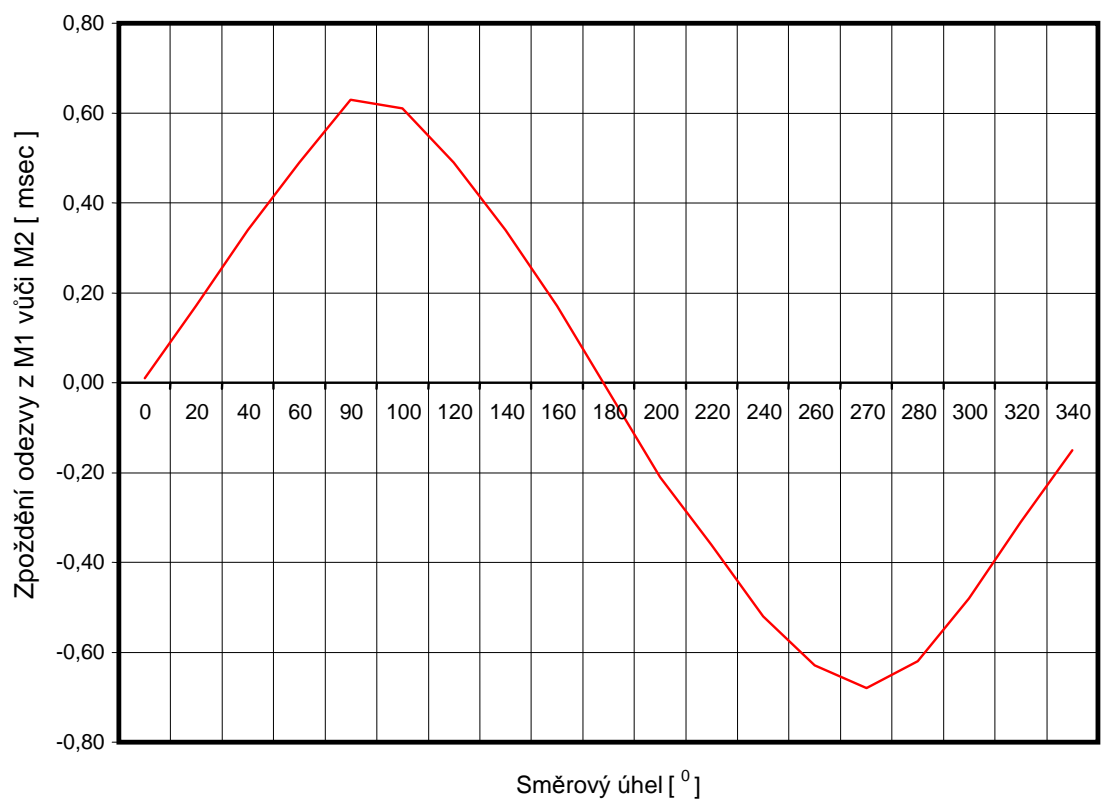
Celkové vyjádření všech velikostí zpoždění je znázorněno v tabulce č. 5-3 Vzájemné zpoždění signálů M1 a M2. Grafické znázornění pak na obrázku č. 5-13 Směrové vyjádření zpoždění.

**Tabulka č. 5-3 Vzájemné zpoždění signálů M1 a M2.** V této tabulce jsou zaznamenány výsledky zpoždění signálů mezi mikrofony M1 a M2 pro všechny měřené úhly natočení manekýna.

Úhel [°]	0	20	40	60	90	100	120	140	160
Zpoždění [ms]	0,01	0,17	0,34	0,49	0,63	0,61	0,49	0,34	0,17

Úhel [°]	180	200	220	240	260	270	280	300	320	340
Zpoždění [ms]	0,01	0,21	0,36	0,52	0,63	0,68	0,62	0,48	0,31	0,15

**Obrázek č. 5-13 Směrové vyjádření zpoždění.** Grafický průběh všech naměřených výsledků je znázorněn na tomto obrázku. Tvarově jednodušší znázornění vrcholů křivky je dáno malým počtem měření provedeného právě v této oblasti. Na ose x je směrový úhel ve [°], na ose y je zpoždění odezvy v [ms].



## **Celkové zhodnocení**

Z tabulky č. 5-3 i z obrázku č. 5-13 vyplývá, že velikosti zpoždění obou signálů dosahují pro všechny pozice měření v rámci tolerancí vypočítaných fyziologických hodnot. Právě velikost vzájemného zpoždění signálů je z hlediska prostorové lokace zdroje zvuku rovněž velmi důležitá. Z tohoto hlediska lze tedy námi vyrobeného manekýna pokládat za vhodný model pro další studium prostorového slyšení.

## **6.6 Měření akustického stínu manekýna**

Z hlediska fyziologie je důležité ověřit, jaký má mnou vyrobený manekýn rozsah akustického stínu, jež vytváří samotná hlava. Tato oblast je důležitá i pro posouzení vhodnosti mnou vyrobeného manekýna z hlediska dalšího studia prostorového slyšení. Důležitým parametrem je i velikost útlumu budícího signálu, který se v této předpokládané oblasti nachází. Z obrázku č. 5-5 Úhly natočení, je patrné, že předpokládanou oblast akustického stínu hlavy lze stanovit zejména v rozmezí úhlů natočení hlavy od  $40^\circ$  do  $140^\circ$  pro M1 a v rozmezí od  $220^\circ$  do  $320^\circ$  pro M2.

Mnou vyrobený manekýn byl v rámci měření porovnán s manekýnem FEL ČVUT. Z tohoto důvodu byl manekýn vybaven ušními boltci o velikosti „střední“, které byly naklopeny pod úhlem  $32^\circ$ . Oba tyto parametry nejméně odpovídají parametrům ušních boltců, jimiž je vybaven manekýn FEL ČVUT viz výše.

Naměřené hodnoty intenzit snímaného budícího signálu pro mikrofony M1 jsou zaznamenány v tabulce č. 5-4, ve které je rovněž z důvodů vyšší přehlednosti barevně vyznačen úhel  $90^\circ$ , který by měl tvořit střed předpokládaných akustického stínů obou hlav. Graficky jsou pak tyto naměřené hodnoty znázorněny na obrázku č. 5-14 Akustický stín hlav pro mikrofony M1.

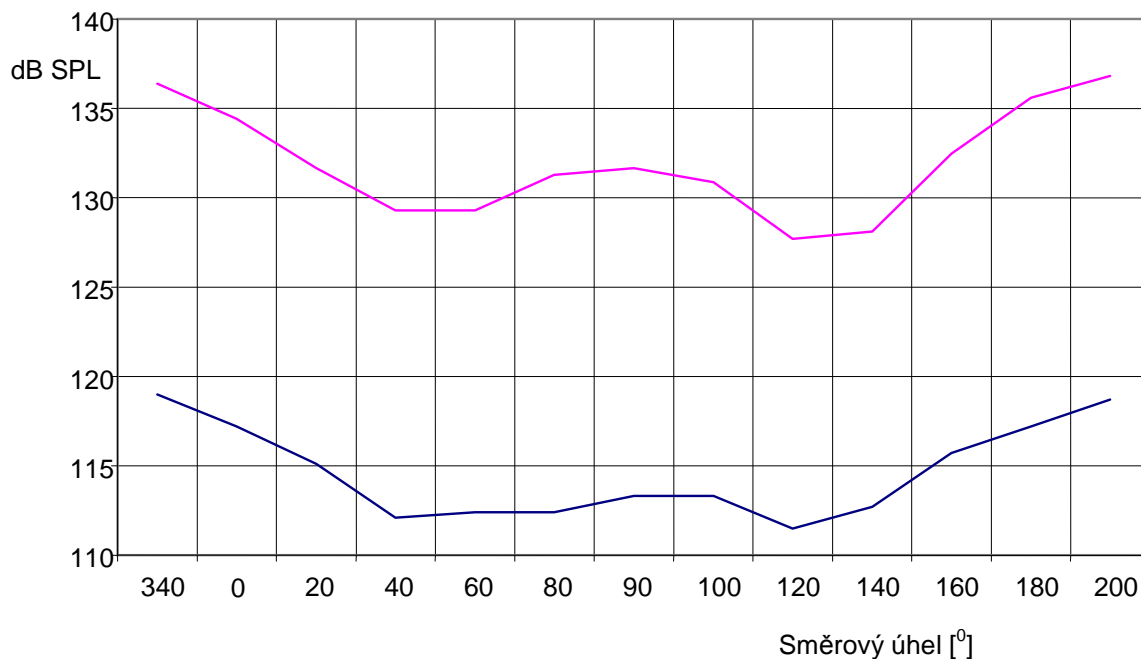
### Tabulka č. 5-4 Hodnoty naměřených intenzit budícího signálu hlav pro mikrofony

**M1.** V této tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty intenzit budícího signálu pouze pro mikrofony M1 obou manekýnů. Barevně je zde vyznačen úhel předpokládaného největšího rozdílu.

Směrový úhel [°]	340	0	20	40	60	80	90
Mikrofon M1/střední [dB SPL]	119	117,2	115,1	112,1	112,4	112,4	113,3
ČVUT - M1 [dB SPL]	136,4	134,44	131,67	129,3	129,3	131,27	131,67

Směrový úhel [°]	100	120	140	160	180	200
Mikrofon M1/střední [dB SPL]	113,3	111,5	112,7	115,7	117,2	118,7
ČVUT - M1 [dB SPL]	130,88	127,71	128,11	132,46	135,62	136,81

**Obrázek č. 5-14 Akustický stín hlav pro mikrofony M1.** Tento graf znázorňuje celkovou velikost naměřeného akustického stínu obou hlav pro mikrofony M1. Na ose x je směrový úhel ve [°], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Legenda: — manekýn M1      — model ČVUT M1

Z naměřených hodnot pro mikrofony M1, které jsou znázorněny na obrázku č. 5-14 je jasně patrné, že předpokládaná oblast akustického stínu mnou vyrobeného manekýna skutečně existuje a to v rozsahu, který byl rovněž předpokládán, tedy zejména od 40° do 140°. Z porovnání obou křivek, které znázorňují rozsahy a intenzity akustických stínů mnou vyrobeného manekýna a manekýna FEL ČVUT rovněž vyplývá, že rozsahy

výskytu i intenzity obou akustických stínů jsou přibližně srovnatelné. Znázorněná intenzitní úroveň (hladina) obou křivek byla ovlivněna rozdílnou citlivostí obou mikrofonů. Korekce této úrovně by sice byla možná, avšak neprovedl jsem ji z důvodů přehlednosti grafického znázornění.

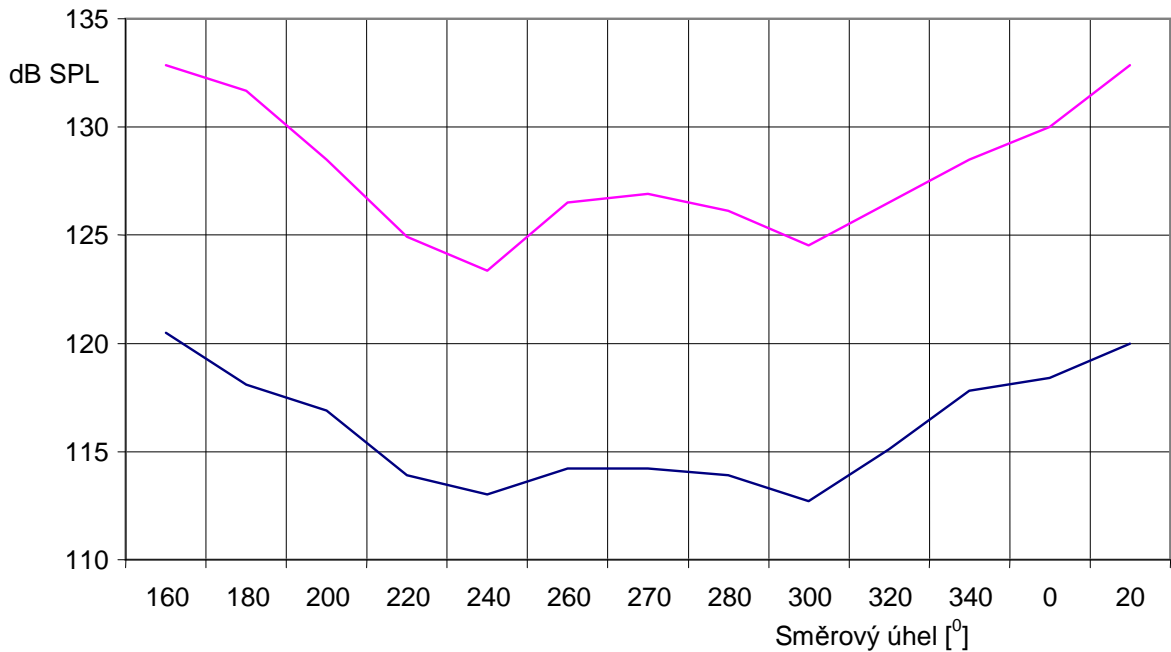
Uvádím zde rovněž i výsledky měření pro mikrofony M2 znázorněné na obrázku č. 5-15 a zaznamenané v tabulce č. 5-5. I u této tabulky je pro vyšší přehlednost rovněž znázorněn střed předpokládaných akustických stínů odpovídající úhlu natočení manekýna o velikosti 270°.

**Tabulka č. 5-5 Hodnoty naměřených intenzit budícího signálu hlav pro mikrofony M2.** V této tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty intenzit budícího signálu pouze pro mikrofony M2 obou manekýnů. Barevně je zde vyznačen úhel předpokládaného největšího rozdílu.

Směrový úhel [°]	160	180	200	220	240	260	270
Mikrofon M2/střední [dB SPL]	120,5	118,1	116,9	113,9	113	114,2	114,2
ČVUT - M2 [dB SPL]	132,85	131,67	128,5	124,94	123,36	126,52	126,92

Směrový úhel [°]	280	300	320	340	0	20
Mikrofon M2/střední [dB SPL]	113,9	112,7	115,1	117,8	118,4	120
ČVUT - M2 [dB SPL]	126,13	124,54	126,52	128,5	130	132,85

**Obrázek č. 5-15 Akustický stín hlav pro mikrofony M2.** Na tomto obrázku je podobně, jako na obrázku č. 5-14 znázorněna celková velikost naměřeného akustického stínu obou hlav pro mikrofony M2. Na ose x je směrový úhel ve [°], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Legenda: — manekýn M2 — model ČVUT M2

Rovněž zde je jasně patrné, že předpokládaná oblast akustického stínu mnou vyrobeného manekýna skutečně existuje a to v rozsahu, který byl rovněž předpokládán, tedy zejména od 220° do 320°. Oproti znázorněným křivkám pro mikrofony M1 vykazují křivky pro mikrofony M2 mírně užší oblast výskytu akustických stínů, avšak vzhledem ke stále značné intenzitě akustických útlumů budícího signálu v těchto krajních úhlech rozsahů se nejedná o významný rozdíl.

### Celkové zhodnocení

Porovnávací měření akustických stínů obou manekýnů prokázalo, že akustický stín mnou zhotoveného manekýna naplňuje obecná očekávání, zejména z hlediska jeho polohy a šíře. Dále bylo prokázáno, že má vlastnosti srovnatelné s vlastnostmi akustického stínu manekýna FEL ČVUT. Manekýn je tudíž vhodným modelem pro další studium prostorového slyšení.

## 6.7 ÚLOHA Č. 1

### **POROVNÁNÍ MNOU VYROBENÉHO MANEKÝNA S MANEKÝNEM FEL ČVUT DLE FREKVENČNÍCH CHARAKTERISTIK**

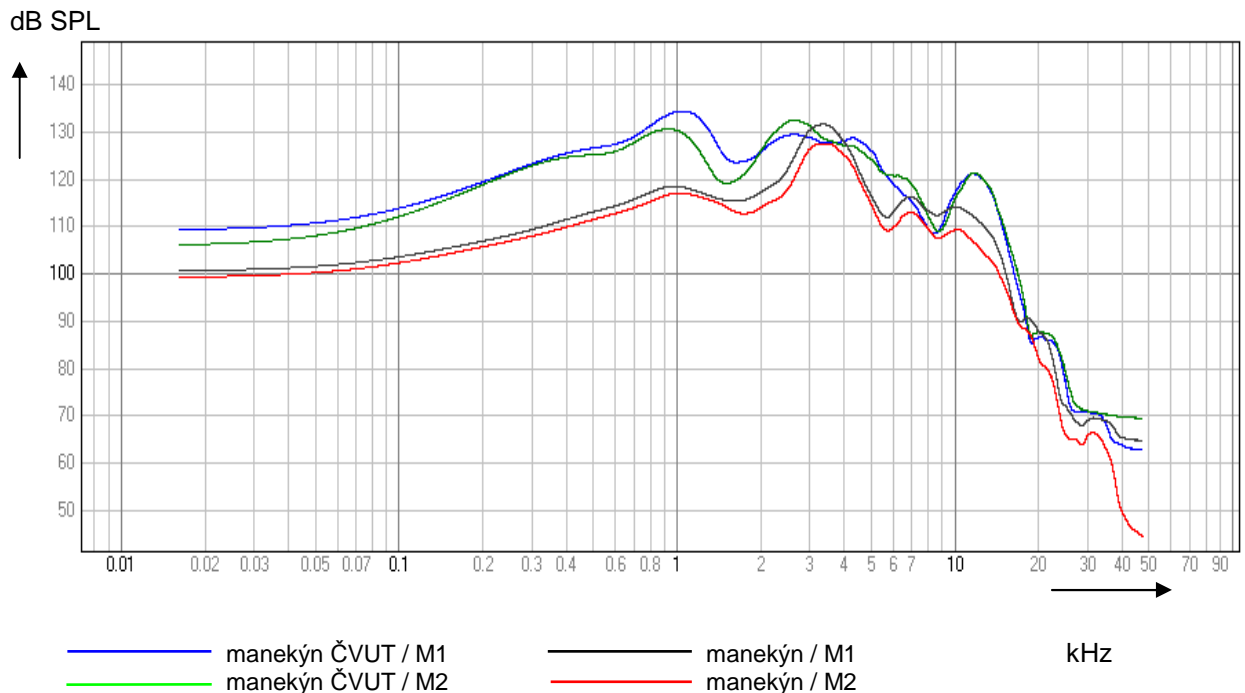
**HYPOTÉZA:** Předpokládám úzkou podobnost frekvenční charakteristiky vyrobeného manekýna s manekýnem na FEL ČVUT. Tuto hypotézu ověřím měřením.

Cílem této diplomové práce je vyrobit dle zadání a ověřit funkčnost manekýna, který má dále sloužit pro studium prostorového slyšení. Manekýn na FEL ČVUT je navržen velmi podobně a je rovněž využíván i k podobným akustickým měřením. Jedná se tedy o nejbližší model vhodný k porovnání s námi vyrobeným manekýnem. Tímto porovnáním lze i dokázat, zda je mnou vyrobený manekýn vhodný pro další studium prostorového slyšení, či nikoli.

Předmětem této úlohy je získat a porovnat frekvenční charakteristiky obou manekýnů, které by bylo možné porovnat a vyhodnotit. Aby bylo možné vyhovět tomuto základnímu požadavku, muselo být měření prováděno pro oba manekýny za shodných podmínek. Jelikož má manekýn FEL ČVUT ušní boltce připevněné ke skořepině hlavy nerozebíratelným způsobem, musela být u našeho manekýna zvolena taková velikost ušních boltců, která by se co nejvíce shodovala s parametry ušních boltců u manekýna FEL ČVUT. Tato velikost odpovídá velikosti „střední“ viz obrázek č. 5-7 a úhlu naklopení vůči hlavě 32°.

Všechna měření byla provedena dle podmínek popsanych v předešlém textu, tedy v horizontální rovině pod úhly natočení: 0°; 20°; 40°; 60°; 80°; 90°; 100°; 120°; 140°; 160°; 180°; 200°; 220°; 240°; 260°; 270°; 280°; 300°; 320°; 340°. Z těchto měření jsou však z hlediska funkčnosti nejzajímavější frekvenční charakteristiky odpovídající úhlům 0°, 90°, 180°, a 270°, které zde uvádím. V každé z frekvenčních charakteristik je znázorněn každý mikrofon zvlášť pro oba manekýny. Odstup každé dvojice mikrofonů ve svislém směru je dán jejich rozdílnými citlivostmi, což však z hlediska měření není podstatné. Úmyslně jsem neprováděl jejich korekci (posun) do jedné výchozí hladiny z důvodů větší přehlednosti grafického znázornění jejich frekvenčních charakteristik.

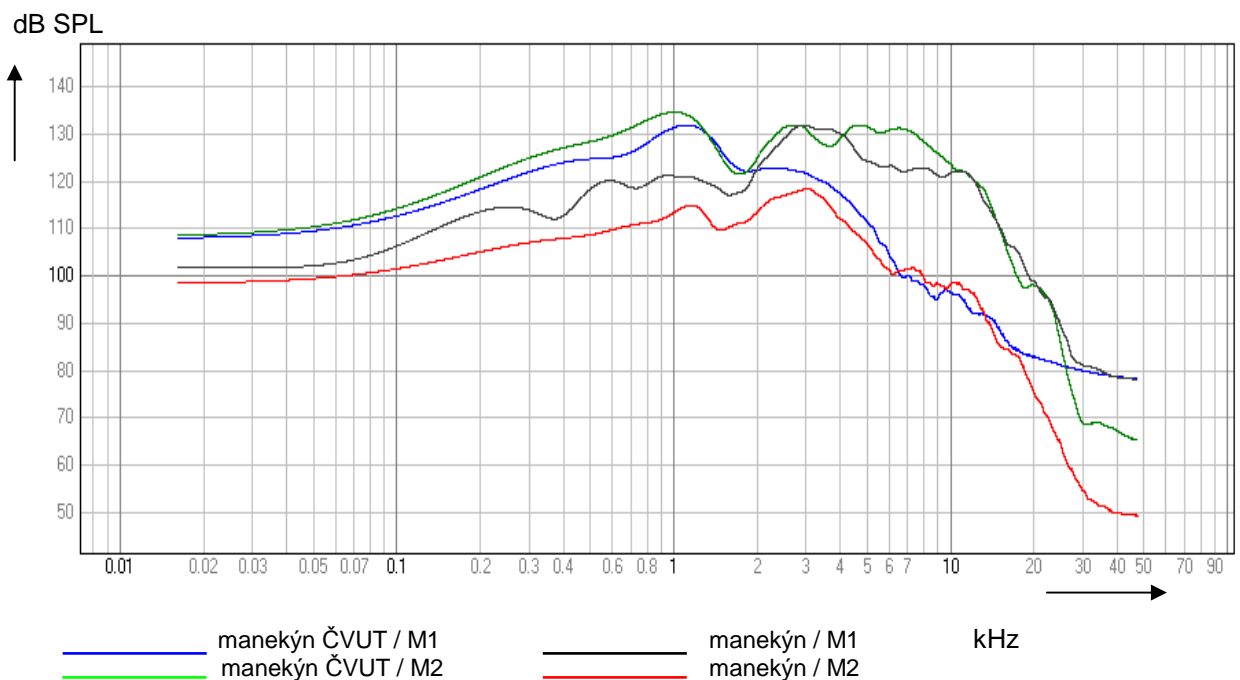
**Obrázek č. 5-16 Frekvenční charakteristika – úhel 0°.** Na tomto obrázku jsou z důvodů porovnání zaneseny křivky pro mikrofony M1 i M2 obou manekýnů pro úhel natočení 0°. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Na tomto obrázku je patrné, jak spolu frekvenční charakteristiky jednotlivých dvojic mikrofonů korelují, nicméně se rozdíly mezi dvojicemi křivek nacházejí. Rozdíly jsou způsobené charakteristickými vlastnostmi konkrétních mikrofonů, i přesto, že jsou totožného typu a od stejného výrobce. Počátky obou křivek, tedy v rozmezí zhruba od 0,015 kHz až do 1 kHz, mají pozvolný, postupně narůstající průběh takřka bez jakýchkoli výkyvů. K většímu propadu dochází v pásmu od 1 do 2 kHz, který je výraznější u mikrofonů FEL ČVUT, kde dosahuje hodnot přibližně 10 dB. Nabízí se vysvětlení, že propad je způsoben vlivem dělicího kmitočtu dvoupásmové reproduktorové soustavy. Dle technických údajů této soustavy je dělicí kmitočet 2,6 kHz. Ve skutečnosti však může být nižší. Důležité však je, že na tento propad reagovaly i mikrofony naše, i když v menší míře. Opačná situace nastává v pásmu od 2 do 5,5 kHz, kdy naše mikrofony zaznamenaly výraznější vzestup oproti mikrofonům FEL ČVUT, i když i u nich je určitý vzestup patrný, avšak posunutý k nižším frekvencím. Tento nárůst dosahuje přibližně hodnot 10 dB pro naše mikrofony. Podobná situace se opakuje i při vzestupu v pásmu od 8 do 20 kHz, avšak zde detekovaly vyšší nárůst mikrofony ČVUT.

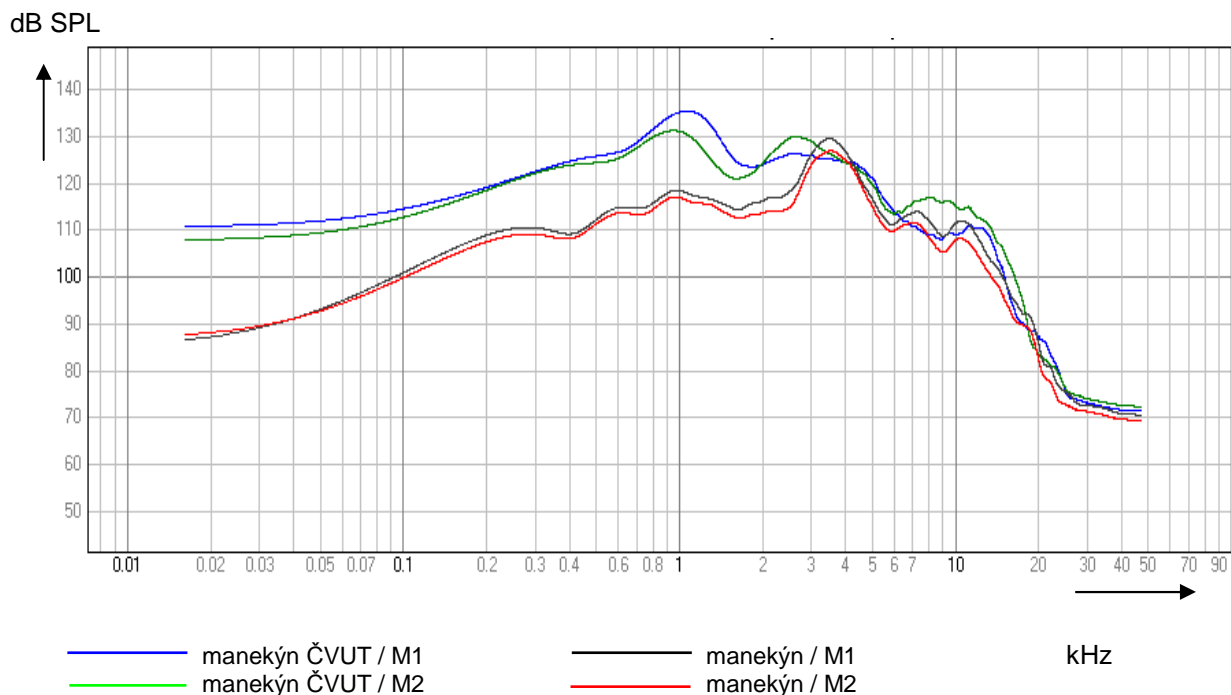
Celkově lze říci, že pro úhel natočení  $0^\circ$ , by měly vzhledem k osové symetrii obou manekýnů křivky frekvenčních charakteristik maximálně korelovat. Z obrázku č. 5-16 je patrné, že obzvláště v rozmezí od 1 do 20 kHz k výkyvům dochází, trend lokálních extrémů je takový, že spolu korespondují, ať už se jedná o nárůst, či propad. To jednoznačně poukazuje na značnou míru shody všech čtyř křivek frekvenční charakteristiky.

**Obrázek č. 5-17 Frekvenční charakteristika – úhel  $90^\circ$ .** Na tomto obrázku jsou z důvodů porovnání zaneseny křivky pro mikrofony M1 i M2 obou manekýnů pro úhel natočení  $90^\circ$ . Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



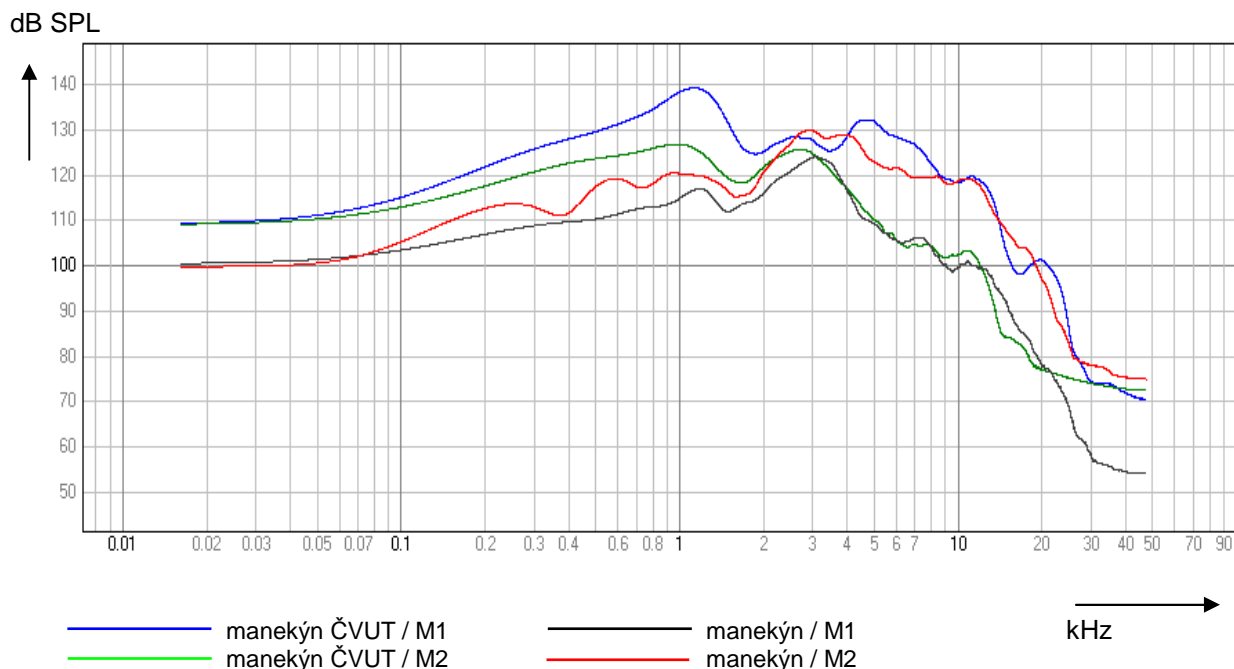
Na obrázku č. 5-17 jsou již patrnější výraznější rozdíly oproti obrázku č. 5-16. Celkově se dá říci, že jednotlivé dvojice mikrofonů mají navzájem vzdálenější frekvenční charakteristiky. To je logicky způsobeno jejich maximální vzdáleností danou pro úhel natočení  $90^\circ$ . Další rozdíly se nacházejí zejména v pásmu od 1 kHz do 20 kHz. Většina těchto zaznamenaných výkyvů mají však v menší či větší míře shodný trend pro všechny 4 křivky. Je zde detekován výraznější propad v pásmu 1 kHz až 3 kHz podobně, jako o obrázku č. 5-8 pro všechny 4 mikrofony. K individuálním rozdílům dochází u mikrofonu č.1 našeho manekýna v pásmu od 0,1 do 1 kHz a mikrofonu č.2 v pásmu od 4 kHz do 10 kHz u manekýna ČVUT.

**Obrázek č. 5-18 Frekvenční charakteristika – úhel 180°.** Na tomto obrázku jsou z důvodů porovnání zaneseny křivky pro mikrofony M1 i M2 obou manekýnů pro úhel natočení 180°. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Křivky na obrázku č. 5-18 spolu korespondují v téměř ideální míře. Dá se dokonce i říci, že věrněji, než tomu bylo u obrázku č. 5-16, který odpovídal úhlu natočení 0°. Principiálně bychom měli detekovat pro úhly natočení 0° a 180° velmi podobné hodnoty, což se i stalo a grafické znázornění frekvenčních charakteristik pro oba tyto úhly to potvrzují. Vyplyvá to z osové symetrie obou manekýnů a ze shodné vzdálenosti mezi mikrofony a reproduktorovou soustavou pro tyto úhly natočení. Celkově se dá říci, že oproti obrázku č. 5-16 křivky nabývají menších zvlnění. Typické propady v pásmu od 1 do 3 kHz detekujeme i zde, avšak v menší míře. Rovněž i na tomto obrázku detekujeme výraznější vzestup křivek našich mikrofonů v pásmu od 2,5 do 5,5 kHz, jež nabývá hodnoty přibližně 15 dB, což je hodnota vyšší, než u obrázku č. 5-16. K individuálním odchylkám dochází pouze u mikrofonů ČVUT v pásmu od 6 do 15 kHz. Tyto výkyvy dosahují maximální hodnoty přibližně 9 dB.

**Obrázek č. 5-19 Frekvenční charakteristika – úhel 270°.** Na tomto obrázku jsou z důvodů porovnání zaneseny křivky pro mikrofony M1 i M2 obou manekýnů pro úhel natočení 270°. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Obrázek č. 5-19 odpovídající úhlu natočení 270° by měl korespondovat s obrázkem č. 5-17, který byl vytvořen pro úhel natočení 90°. Na první pohled je u našeho manekýna patrné charakteristické zvlnění mikrofonu č.2, které je velmi podobné zvlnění mikrofonu č. 1 rovněž na našem manekýnovi. Odpovídá to opačné straně, která byla vystavena akustickému signálu. Tato shoda je velmi zajímavá. Dále jsou zde viditelné charakteristické propady v pásmu od 1 kHz do 3 kHz, jak již bylo popsáno výše. Rovněž i zde je patrný zvětšený odstup křivek dvojic mikrofonů v pásmu od 4 do 10 kHz, jako u obrázku č. 5-17. Zároveň je i zde patrný kladný trend průběhu křivky mikrofonu č.1 ČVUT v tomto pásmu, i když ostatní křivky mají trend průběhu křivek záporný. I to odpovídá obrázku č. 5-17, kde však byl tento průběh detekován u mikrofonu č. 2 ČVUT.

Při úhlech natočení manekýna 90° a 270° je zřejmé, že hlava tvoří akustický stín. Projevuje se to poklesem křivek (o zhruba 20 dB) od frekvence zhruba 4 kHz. Z těchto hodnot se dá usoudit, že hlava působí částečně jako filtr pro vyšší kmitočty.

## Zhodnocení výsledků úlohy č.1

Frekvenční charakteristiky obou modelů jsou srovnatelné. V tomto ohledu je mnou zhotovený manekýn srovnatelný s modelem ČVUT a je tedy vhodný pro další studium prostorového slyšení.

## 6.8 ÚLOHA Č. 2

### MĚŘENÍ ÚTLUMŮ INTENZITY ZVUKOVÉHO SIGNÁLU PŘI POUŽITÍ UŠNÍCH BOLTCŮ RŮZNÝCH VELIKOSTÍ

**HYPOTÉZA:** Lze očekávat, že ušní boltce způsobí ze zadního směru vznik akustického stínu. Předpokládám, že tento akustický stín bude závislý na velikosti ušních boltců.

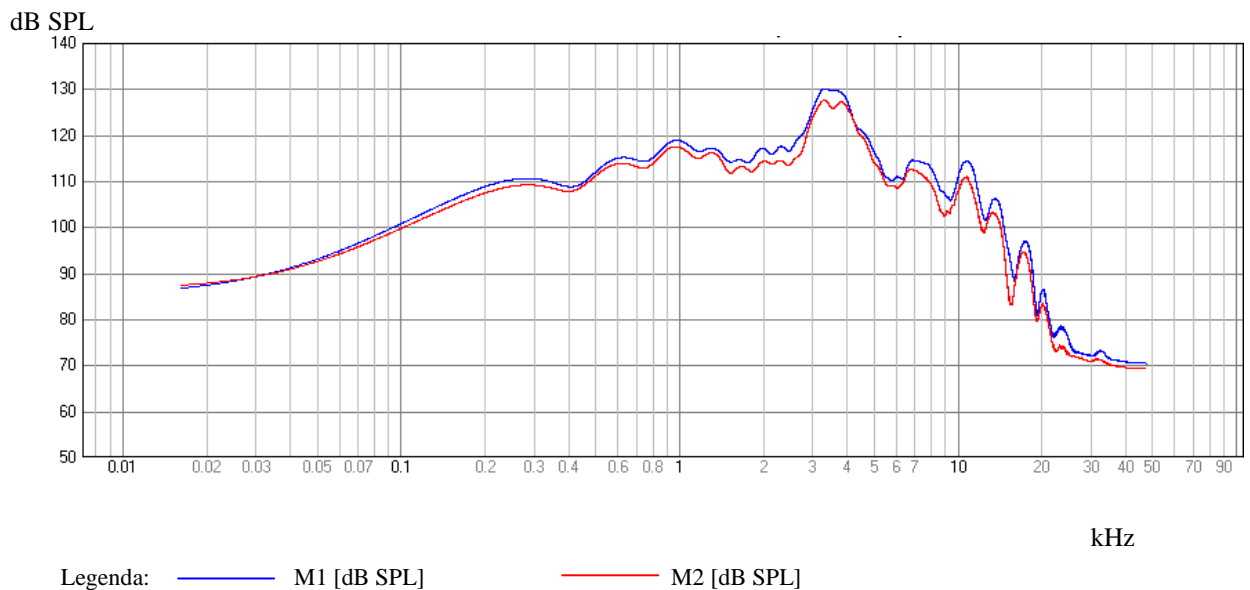
Jak jsem již dříve uvedl, zhotovil jsem tři páry ušních boltců o různých velikostech. Pro účel měření byl manekýn osazen vždy příslušným párem boltců. Předmětem úlohy č. 2 je potvrdit či vyvrátit hypotézu, zda-li má velikost ušních boltců vliv na velikost akustického stínu, který je těmito boltci vytvářen. Pro zjištění velikosti předpokládaného akustického stínu, který boltce vytvářejí, je jejich jednoduchý tvar postačující. Fyziologicky problémem existence akustického stínu dokáže člověk částečně odstranit tím způsobem, že podvědomě kývá hlavou ze strany na stranu, aby překryl právě tuto oblast, jak bylo popsáno v kapitole 2.5.3 Vliv ušního boltce.

Jak již bylo zmíněno, měření bylo provedeno se třemi páry různě velkých ušních boltců (viz. obrázek č. 5-7 a tabulka č. 5-1), které byly k tělu hlavy připevněny pod konstantním úhlem  $32^\circ$ . Tento úhel byl zvolen z fyziologického hlediska jako nejvhodnější. Díky velikosti úhlu naklonění ušních boltců  $32^\circ$  je oblast, v níž by se měl vyskytovat akustický stín obou ušních boltců v úhlech od  $146^\circ$  do  $214^\circ$ , jak je znázorněno na obrázku č. 5-25 a zaznamenáno v tabulce č. 5-7. Z této tabulky rovněž vyplývá, že předpokládaná oblast výskytu akustického stínu pro mikrofon M1 se nachází v oblasti od  $180^\circ$  do  $214^\circ$  a pro M2 od  $146^\circ$  do  $180^\circ$ . Anatomicky pravý mikrofon byl označen M1, anatomicky levý pak M2, jak již bylo uvedeno výše. Z hlediska analýzy naměřených výsledků je obtížné odlišit akustický stín vytvářený ušními boltci od akustického stínu hlavy, který je navíc mnohem větší (viz kapitola 6.6). Jak je však z nákresu i tabulky patrné, právě pro úhel natočení manekýna ve velikosti  $180^\circ$  nezasahuje akustický stín hlavy do předpokládaného akustického stínu ušních

boltců. Zároveň lze pro tento úhel očekávat maximální velikost předpokládaného akustického stínu. Srovnávací měření bylo tedy provedeno právě pro úhel natočení manekýna ve velikosti 180°.

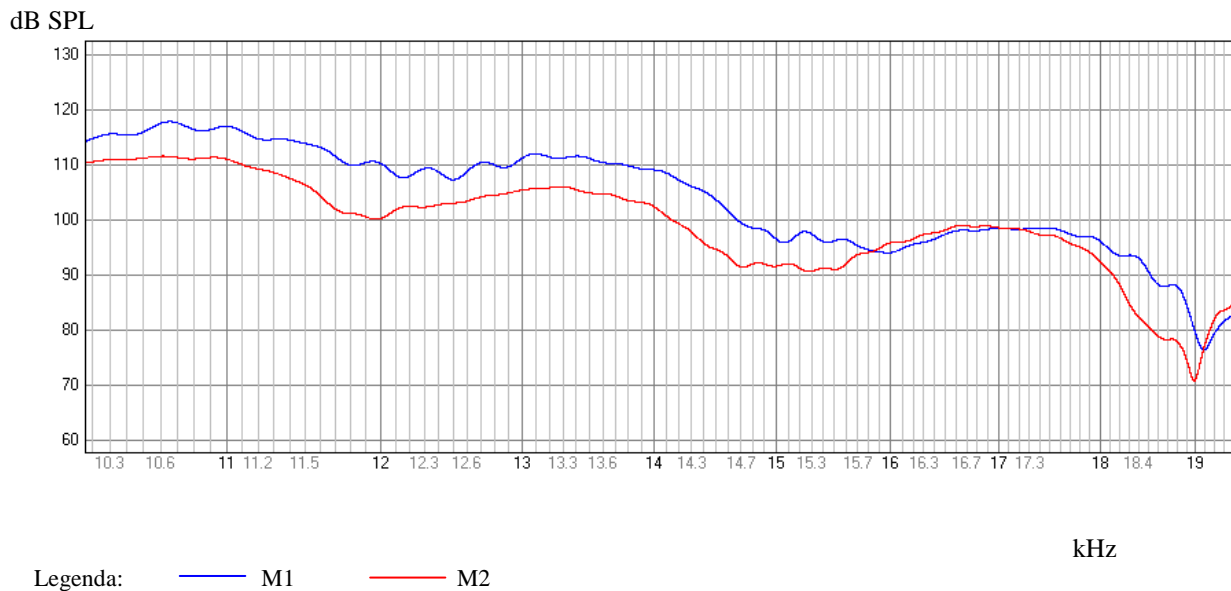
Všechny hodnoty byly při měření snímány pro jednu frekvenci o velikosti 15 kHz. Při této frekvenci má budící signál vlnovou délku 22 mm, takže boltce všech tří velikostí jsou překážkou pro jeho šíření. Lze tedy očekávat stínící účinek boltců. Zaznamenané časové průběhy měřicí soupravou byly Fourierovou transformací převedeny na průběhy frekvenční. S každým párem ušních boltců bylo tedy provedeno měření s cílem získat frekvenční charakteristiku. Pro názornost zde uvádím pouze jednu kompletní naměřenou frekvenční charakteristiku pro úhel naklonění ušních boltců o velikosti 32°.

**Obrázek č. 5-20 Frekvenční charakteristika pro úhel naklonění boltců o velikosti 32°.** Na obrázku je zaznamenána celková naměřená frekvenční charakteristika. Její průběh nebyl nijak vyhlazen. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



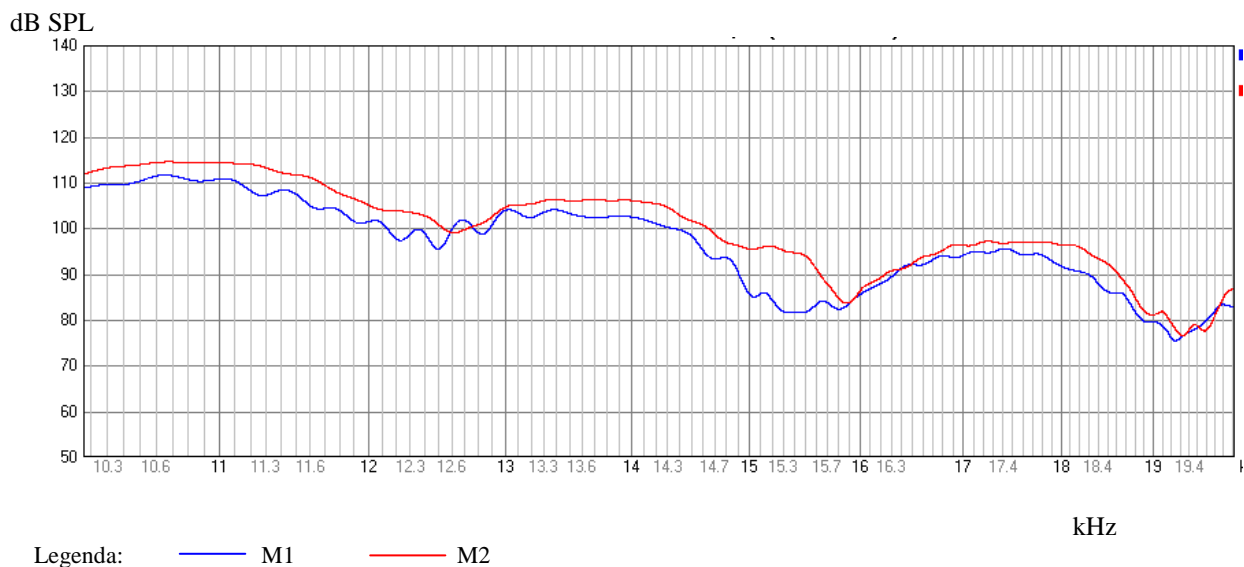
Odečítání hodnot pro zvolenou frekvenci by bylo z celkové frekvenční charakteristiky značně nepřesné. Z tohoto důvodu jsem pro příslušnou velikost ušních boltců vybral takové frekvenční pásmo, jež obsahuje nejen zvolenou frekvenci 15 kHz, ale je i dostatečně široké ke sledování průběhů křivek M1 a M2. Tyto dílčí frekvenční charakteristiky zde uvádím na následujících obrázcích č. 5-21, č. 5-22 a č. 5-23.

**Obrázek č. 5-21 Vybrané frekvenční pásmo pro „malý“ boltec.** V tomto frekvenčním pásmu lze provést přesnější odečet hodnot odezvy pro 15kHz. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].

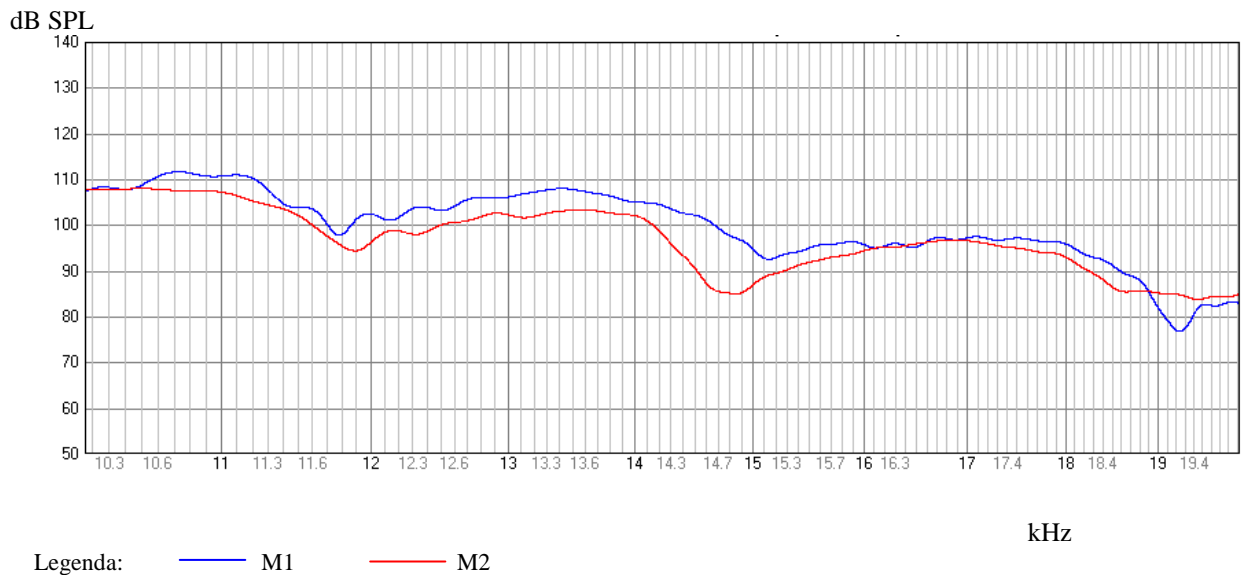


Pro úhel natočení manekýna 180° by za ideálních podmínek vzhledem k symetrii měla platit shoda obou křivek. Zaznamenaná neshoda může být způsobena nesymetrií natočení manekýna při měření.

**Obrázek č. 5-22 Vybrané frekvenční pásmo pro „střední“ boltec.** V tomto frekvenčním pásmu lze provést přesnější odečet hodnot odezvy pro 15kHz. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



**Obrázek č. 5-23 Vybrané frekvenční pásmo pro „velký“ boltec.** V tomto frekvenčním pásmu lze provést přesnější odečet hodnot odezvy pro 15kHz. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Křivky, které zde uvádím nebyly v softwaru Easera 1.1.3 nijak vyhlazeny z důvodů zachování přesnosti při měření. Z výše uvedených průběhů byly odečteny hodnoty úrovní odezvy v místě 15 kHz pro příslušnou velikost ušního boltce. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce č. 5-6.

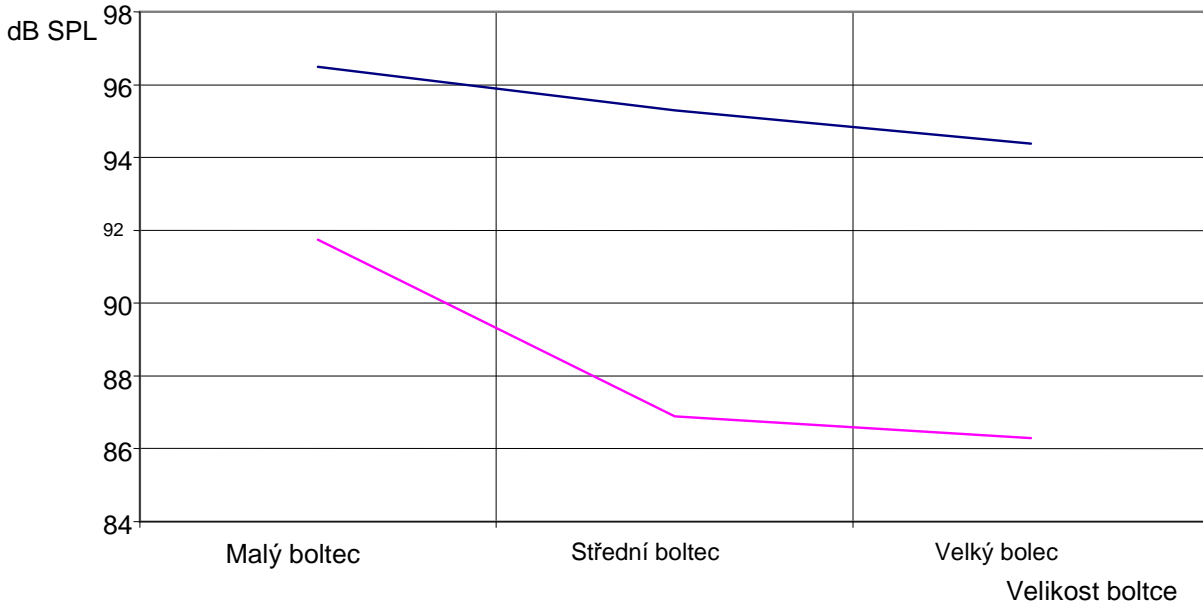
**Tabulka č. 5-6 Naměřené hodnoty intenzit pro frekvenci 15 kHz.**

V této tabulce jsou zaznamenány naměřené a vypočtené hodnoty pro akustický stín vyvolaný rozdílnou velikostí boltců.

Velikost ušních boltců	Mikrofon M1 – pravý		Mikrofon M2 - levý	
	Úroveň [dB SPL]	Akustický stín [dB]	Úroveň [dB SPL]	Akustický stín [dB]
Malé	96,49	-	91,75	-
Střední	95,3	1,19	86,89	4,86
Velké	94,39	2,1	86,29	5,46

Graficky jsou naměřené hodnoty znázorněny v následujícím obrázku č. 5-24.

**Obrázek č. 5-24 Průběh akustických stínů pro mikrofony M1 a M2.** Tento obrázek graficky vyjadřuje údaje z tabulky č. 5-6. Jedná se o průběhy snímaných zvukových intenzit pro rozdílné velikosti ušních boltců. Na ose x je označení boltce, na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Legenda: — Mikrofon M1 — Mikrofon M2

Z hodnot zaznamenaných v tabulce č. 5-6 a z obrázku č. 5-24, který je grafickým vyjádřením těchto hodnot je patrné, že existence akustického stínu, byla prokázána a to pro všechny tři velikosti ušních boltců.

### Zhodnocení výsledků úlohy č. 2

Naměřenými výsledky byla potvrzena existence akustického stínu způsobeného ušními boltci. Byla potvrzena i přímá závislost mezi velikostí ušních boltců a velikostí akustického stínu. Rozdíly v hodnotách akustického stínu, vyvolaného boltcem na pravé a levé straně manekýna, jsou způsobeny pravděpodobně odchýlením manekýna z osy *reproduktorová skříň - střed manekýna* a dále nedodržením kolmosti příčné osy manekýna vůči směru šíření zvuku (budícího signálu). Na zkreslení při měření mohl mít vliv i akustický smog z vnějšího prostředí.

## 6.9 ÚLOHA Č. 3

### MĚŘENÍ ÚTLUMŮ INTENZITY ZVUKOVÉHO SIGNÁLU PŘI POUŽITÍ UŠNÍCH BOLTCŮ V ZÁVISLOSTI NA RŮZNÝCH ÚHLECH JEJICH NAKLOPENÍ

**HYPOTÉZA:** Akustický stín, vzniklý ze zadního směru stínícím účinkem boltců, bude závislý i na úhlu jejich naklopení vůči hlavě. Tuto hypotézu ověřím měřením.

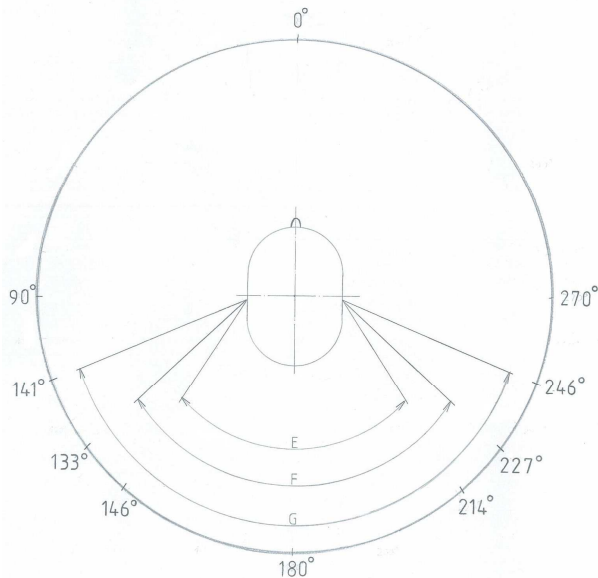
Tato úloha principiálně vychází z úlohy č. 2, kdy byla předmětem měření hypotéza, zda má velikost ušních boltců vliv na předpokládanou velikost akustického stínu, který tyto boltce vytvářejí. V úloze č. 3 je předmětem měření závislost velikosti předpokládaného akustického stínu při různých úhlech naklopení ušních boltců. Inspirací pro zadání této úlohy je skutečnost, že se poměrně běžně provádí, zejména u malých dětí, relativně jednoduchý chirurgický zákrok, při kterém se z estetických důvodů zmenší úhel naklopení jejich ušních boltců. Vystává však otázka, zda se tím nezmění jejich schopnost slyšení. Rovněž v této úloze můžeme vzhledem ke značně jednoduchému tvaru vyrobených ušních boltců detekovat „pouze“ předpokládanou oblast akustického stínu. Ani tento parametr však z hlediska fyziologie není zanedbatelný.

Měření bylo prováděno obdobně, jako u úlohy č. 2 s použitím jedné velikosti ušních boltců a to „středních“. Vybrané frekvence, ve kterých došlo k odečítání hodnot, jsou 200 Hz, 2 kHz a 15 kHz. Tyto frekvence představují signály s délkou vlny 1,7 m – 0,17 m – 0,022 m. Použité ušní boltce střední velikosti mohou být překážkou pro šíření zvukové vlny pouze pro signály s délkou vlny 22 mm, t.j. signály s kmitočtem 15 kHz. Frekvence 400 Hz a 2 kHz byly záměrně použity pro srovnání účinku s účinkem signálu s touto frekvencí. Zaznamenané časové průběhy měřící soupravou byly Fourierovou transformací převedeny na průběhy frekvenční.

Boltce byly v rámci měření postupně naklápěny pod úhly 32°, 47° a 66°. Schematicky je princip znázorněn na obrázku č. 5-25 Schéma předpokládané velikosti akustického stínu boltců. Anatomicky pravý mikrofon byl označen M1, anatomicky levý pak M2, jak již bylo uvedeno výše. V tabulce č. 5-8 jsou následně zaznamenány úhly oblastí, v nichž by se měly akustické stíny pro jednotlivé ušní boltce vyskytovat. Ze

stejných důvodů, jako u předešlé úlohy č. 2, byl pro měření zvolen úhel  $180^\circ$ . V této poloze je vyloučen vliv hlavy na vznik akustického stínu.

**Obrázek č. 5-25 Zobrazení polohy a velikosti akustických stínů v závislosti na úhlu naklonění boltců.** Výpočtem byla určena šíře předpokládaného akustického stínu boltců, která je znázorněna na tomto obrázku ve  $[\circ]$ .



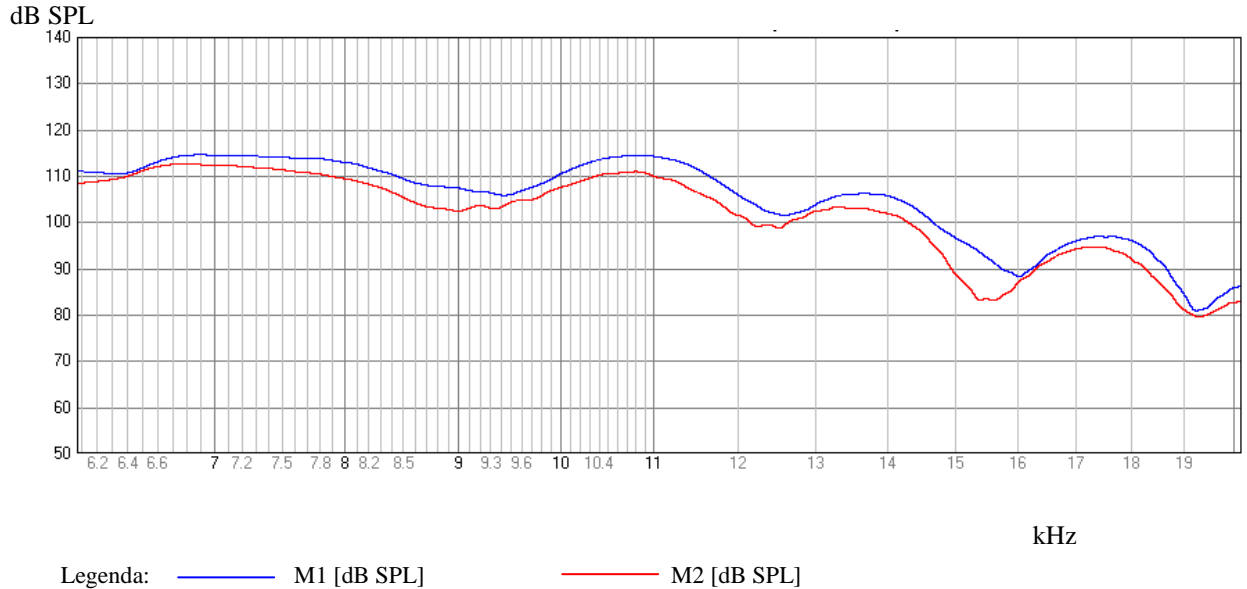
**Tabulka č. 5-7 Velikosti oblastí předpokládaných akustických stínů pro M1 a M2.**

V této tabulce jsou zaneseny úhlové hodnoty rozsahů akustického stínu pro různé úhly naklonění boltců.

NÁZEV OBLASTI	ZAČÁTEK PRO M2 $[\circ]$	KONEC PRO M2 $[\circ]$	ZAČÁTEK PRO M1 $[\circ]$	KONEC PRO M1 $[\circ]$
E ( $32^\circ$ )	146	180	180	214
F ( $47^\circ$ )	133	180	180	227
G ( $66^\circ$ )	114	180	180	246

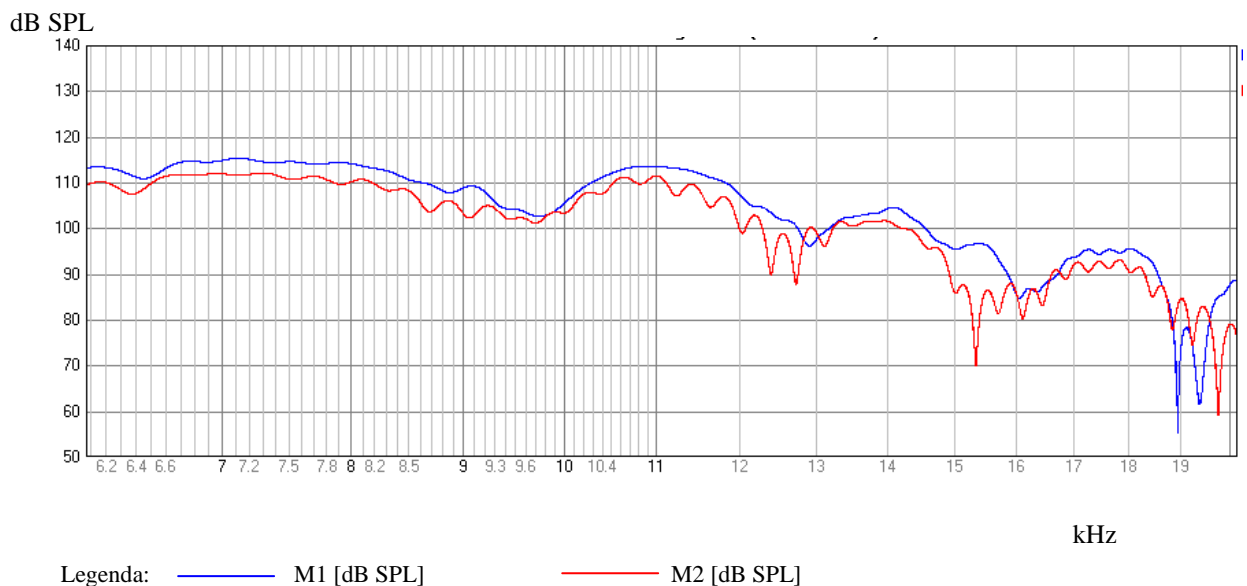
Pro názornost je uvedena jedna kompletní naměřená frekvenční charakteristika pro úhel naklonění ušních boltců o velikosti  $32^\circ$  na obrázku č. 5-20. Odečítání hodnot pro zvolené frekvence by bylo z celkových frekvenčních charakteristik značně nepřesné. Z tohoto důvodu jsem vybral z celkových frekvenčních charakteristik pro úhly naklonění boltců o velikostech  $32^\circ$ ,  $47^\circ$  a  $66^\circ$  pouze takové frekvenční pásmo, které lépe znázorňuje naměřené hodnoty pro zvolenou frekvenci podobně, jako v úloze č. 2. Tyto dílčí frekvenční charakteristiky zde i uvádím na následujících obrázcích č. 5-26, č. 5-27 a č. 5-28 s ohledem na jednu vybranou frekvenci a to o velikosti 15 kHz.

**Obrázek č. 5-26 Vybrané frekvenční pásmo pro úhel naklonění boltců o velikosti 32°.** Frekvenční pásmo znázorněné na tomto obrázku bylo vybráno s ohledem na odečet hodnoty pro frekvenci 15 kHz. Získané hodnoty pak byly dále analyzovány. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



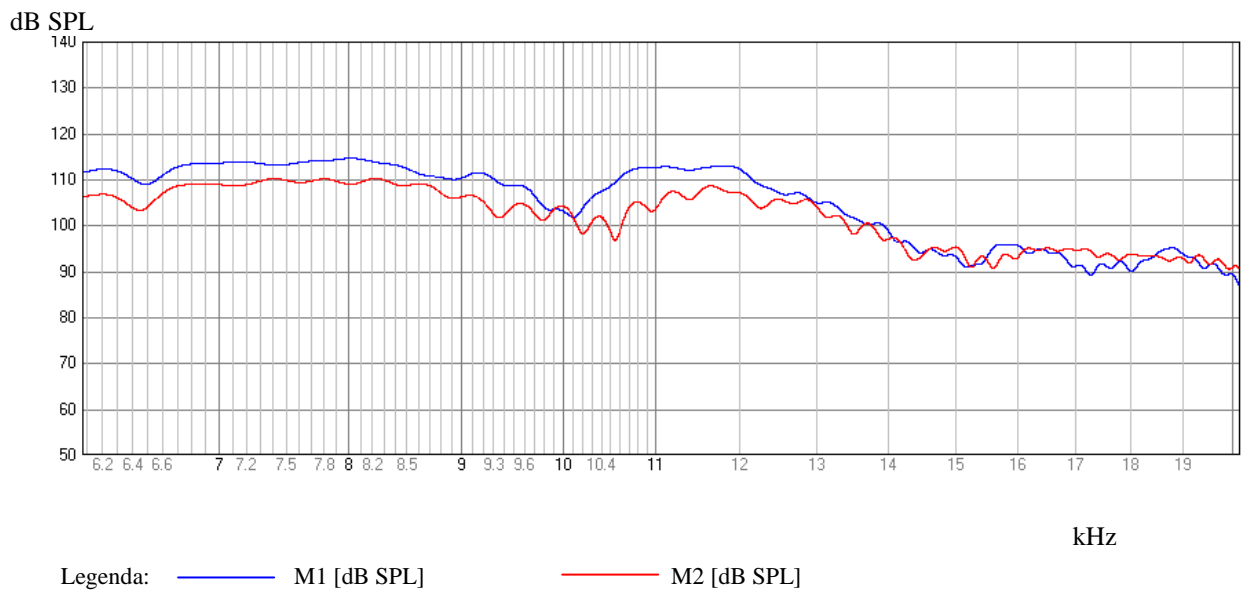
Pro tento úhel naklonění ušních boltců je z frekvenční charakteristiky patrné, že spolu obě křivky souvisí ve značné míře. Menší rozdíly v průběhu křivky pro mikrofon M2 byly zaznamenány, avšak jejich velikost není z hlediska výsledků měření významná.

**Obrázek č. 5-27 Vybrané frekvenční pásmo pro úhel naklonění boltců o velikosti 47°.** Frekvenční pásmo znázorněné na tomto obrázku bylo vybráno s ohledem na odečet hodnoty pro frekvenci 15 kHz. Získané hodnoty pak byly dále analyzovány. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Při úhlu naklonění ušních boltců o velikosti  $47^\circ$  jsou z frekvenční charakteristiky patrné významnější odchylky v průběhu M2 křivky ve srovnání s křivkou M1. Celkový trend obou průběhů je však zachován.

**Obrázek č. 5-28 Vybrané frekvenční pásmo pro úhel naklonění boltců o velikosti  $66^\circ$ .** Frekvenční pásmo znázorněné na tomto obrázku bylo vybráno s ohledem na odečet hodnoty pro frekvenci 15 kHz. Získané hodnoty pak byly dále analyzovány. Na ose x je frekvence v [kHz], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Pro tento úhel naklonění ušních boltců je z frekvenční charakteristiky jasně patrné, že průběh křivky pro M2 vykazuje značné výkyvy v naměřených hodnotách a nerespektuje ani celkový trend průběhu. Při zvolené frekvenci 15 kHz je naměřená hodnota intenzity zvuku pro křivku M2 dokonce nižší, než pro M1.

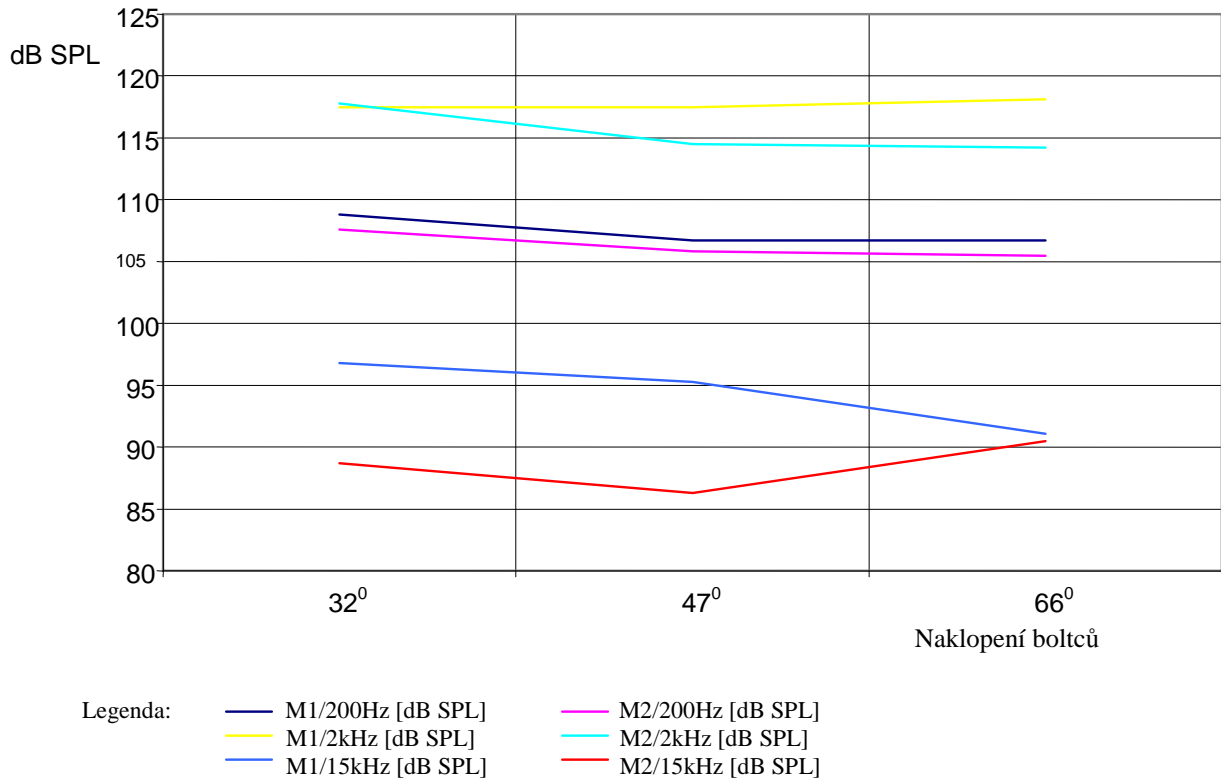
Křivky, které zde uvádím, nebyly v softwaru Easera 1.1.3 nijak vyhlazeny z důvodů zachování přesnosti při měření. Hodnoty intenzit měřeného zvukového signálu jsou zaznamenány v následující tabulce č. 5-8.

**Tabulka č. 5-8 Velikosti naměřených intenzit.** V levé části této tabulky je rozdělení naměřených hodnot podle zvolených frekvencí. U každé frekvence jsou dále zaznamenány zvlášť hodnoty pro mikrofony M1 a M2 s ohledem na úhel natočení manekýna.

Naklopení boltců		32 <sup>0</sup>	47 <sup>0</sup>	66 <sup>0</sup>
200 Hz	M1 [dB SPL]	108,8	106,7	106,7
	M2 [dB SPL]	107,6	105,8	105,5
2kHz	M1 [dB SPL]	117,5	117,5	118,1
	M2 [dB SPL]	117,8	114,5	114,2
15kHz	M1 [dB SPL]	96,8	95,3	91,09
	M2 [dB SPL]	88,7	86,29	90,49

Z této tabulky byl sestaven následující graf, který znázorňuje celkové útlumy zvukového signálu pro různé úhly naklopení ušních boltců při různých frekvencích měření.

**Obrázek č. 5-29 Velikosti předpokládaných akustických stínů pro M1 a M2.** Tento obrázek graficky vyjadřuje údaje zaznamenané v tabulce č. 5-8. Jedná se o průběhy snímaných zvukových intenzit pro rozdílné frekvence, mikrofony a úhly natočení manekýna. Na ose x je velikost naklonění boltců ve [°], na ose y je hladina akustického tlaku v [dB SPL].



Jak je z obrázku č. 5-27 patrné, akustický stín boltců se při frekvencích 200 Hz a 2 kHz neprojevil. Je to způsobeno tím, že signál s vlnovou délkou delší, než jsou rozměry překážky, akustický stín nezpůsobí. Toto je potvrzeno i průběhem křivek pro tyto kmitočty. Při frekvenci 15 kHz byl již útlum zaznamenán i mezi úhly 47° a 66°. K detekci tohoto útlumu však došlo pouze pro mikrofon M1. Velikost tohoto útlumu při naklonění boltců 32° a 47° činila 1,5 dB. Při naklonění boltců 47° a 66° činila velikost útlumu 4,21 dB. Z těchto hodnot je i patrný zvyšující se útlum v souvislosti se zvyšujícím se úhlem naklonění boltců. Jak je patrné z obrázků 5-26 až 5-28 naměřené hodnoty pro mikrofon M2 oproti hodnotám pro mikrofon M1 značně kolísají. Z těchto průběhů tedy usuzují, že se zde uplatnily rušivé vlivy okolí, takže výsledky pro mikrofon M2 nejsou zcela korektní.

### **Zhodnocení výsledků úlohy č. 3**

Měřením byla prokázána souvislost, mezi úhly naklopení ušních boltců a předpokládaným útlumem, který tyto boltce vytvářejí. Dále byl i potvrzen předpoklad, že u nižších frekvencí o velikostech 200 Hz a 2 kHz se existence akustického stínu boltců vůbec neprokáže.

Dle předpokladu se akustický stín potvrdil až u signálů o frekvenci 15 kHz. Tato úloha, obdobně jako úloha č. 2, prokázala funkceschopnost zvukovodů, zakončených membránami mikrofonů. Podobně, jako u předešlé úlohy, však byly v průběhu měření zaznamenány značně zkreslené výsledky pro mikrofon č. 2. Přisuzuji tuto skutečnost pravděpodobně odchýlení manekýna z osy *reproduktorová skříň - střed manekýna* a dále nedodržením kolmosti příčné osy manekýna vůči směru šíření zvuku (budícího signálu). Na zkreslení při měření mohl mít vliv i akustický smog z vnějšího prostředí.

## **7. DISKUZE**

### **7.1 Prostorové slyšení**

V současných multimédiích, v kině, televizi i v reklamě a podobně probíhá vývoj zobrazovací technologie směrem k 3D, tedy k standardům prostorového zobrazení. Mimo mediální pozornost stojí řada faktů o zvuku, například, že stereofonní zvuk v běžném rozhlasovém vysílání byl zaveden před více, než padesáti lety, že zvukový doprovod v kinosále je podmíněn řadou norem a standardů pro prostorový zvuk a že standardy pro reprodukci prostorového zvuku jsou v současné době obnovovány a zdokonalovány, a podobně. Vnímání zvukového prostoru a směru zdroje zvuku je podmíněno slyšením pomocí dvou uší a spektrálními charakteristikami sluchového orgánu, které umožňují prostorové rozlišování v dalších směrech kromě pravolevého. Vlastní fyziologické mechanismy prostorového slyšení jsou poměrně složité a jejich diskuse je mimo rámec této práce [6].

### **7.2 Měření**

Účelem elektro-akustických měření, která jsou popsána v kapitole Měření, bylo především ukázat, že zástavba hlavy mikrofony je funkční. Dále bylo snahou prokázat či vyvrátit, zda je námi zkonstruovaný manekýn vhodným modelem pro další studium prostorového slyšení. Z funkčního hlediska se však námi vyrobený manekýn s normou shoduje pouze ve vnějších tvarech. Vnitřní uspořádání je zcela jedinečné a je navrženo s ohledem pro další studium prostorového slyšení. Z tohoto pohledu nelze akustické vlastnosti námi zhotoveného manekýna porovnávat s normou, jelikož vnitřní konstrukce byla zcela přepracována. Lze však námi vyrobeného manekýna porovnat s jiným, pokud možno s co nejvíce podobným modelem, který je navržen pro podobné účely. Takovýmto srovnatelným manekýnem byl zvolen manekýn, který je majetkem FEL ČVUT. Z hlediska provedených měření bylo prokázáno, že námi navržený manekýn má velmi podobné vlastnosti, jako manekýn FEL ČVUT. Z tohoto hlediska je tedy vhodným modelem, pro další studium prostorového slyšení. Předmětem dalších měření, která byla v rámci této diplomové práce provedena, bylo ověření možné závislosti, mezi velikostmi ušních boltců, úhlu jejich naklopení a velikostí útlumu, který je projevem akustického stínu. Tato závislost byla měřeními prokázána.

Vlastní měření, ke kterým je hlava určena, budou součástí dlouhodobějšího výzkumného projektu. Metody, které při tomto projektu mají být použity, například měření v bezdozvukové komoře, srovnání dat u manekýna a u normálních subjektů a u subjektů s poruchou sluchu, statistický popis interindividuální variability u pokusných subjektů a další postupy, jsou také mimo zadání a rámec této práce. Protože těžištěm této práce jsou konstrukční otázky, nebylo měření vícekrát opakováno. Proto nemělo smysl stanovovat výběrové statistické ukazatele jako například průměr a směrodatnou odchylku. Jediný statistický postup, který byl při měření využit, je průměrování signálu, tento postup však patří mezi obecné metody zpracování signálu.

### **7.3 Porovnání norem**

Jak už jsem zmínil v předchozím textu, mnou zhotovený manekýn vychází z normy ITU-T Recommendation P.58 určené pro mezinárodní telekomunikační unii. Této normě odpovídá vnější vyhotovení manekýna tak, jak jsem ho provedl i já. Odchylny od normy jsem popsal v samostatné kapitole, včetně umístění dělicí roviny. Manekýn je rovněž zkonstruován rozebíratelným způsobem. Vyhotovení torza těla jsem neprovedl, jelikož nebylo potřebné. Tato norma představuje relativně jednodušší vyhotovení zejména hlavy manekýna, které je však plnohodnotně funkční a používá se pro testování v telekomunikaci. Norma však mimo jiné neobsahuje dokumentaci pro zhotovení ušního boltce. Námi navržený manekýn je pro účely měření a porovnání s manekýnem FEL ČVUT ušními boltci vybaven, avšak jedná se o ušní boltce mnohem jednoduššího tvaru. Tento jednodušší tvar však byl v rámci měření zohledněn. Firmy, které se zabývají komerční výrobou manekýnů, dle této normy ušní boltce simulují. Jedná se například o firmu Bruel and Kjaer [5]. I tyto modely však nesou drobné odlišnosti oproti normě v podobě například jinak vyhotoveného nosu apod.

Problematiku vyhotovení manekýnů, kteří slouží pro testování a simulace v telekomunikaci ošetřuje rovněž norma ANSI S3.36-1985. Tato norma se od normy ITU-T Recommendation P.58 liší v zásadě tím, že definuje manekýna daleko propracovaněji, respektive jeho tvar koresponduje blíže s fyziologickým tvarem člověka, včetně popisu ušního boltce. Vyhotovení takto propracovaného tvaru zejména hlavy však bezpodmínečně vyžaduje CNC frézku, jež by takto složité křivky vyfrézovala z jediného kusu materiálu. Toto přístrojové vybavení jsem však bohužel neměl k dispozici, proto jsem se rozhodl vyrobit manekýna dle normy ITU-T Recommendation P.58. Pro účely, k nimž je manekýn určen však tato norma, respektive

tvár manekýna plně vyhovuje. Norma ANSI S3.36-1985 byla vyhotovena v New Yorku a je určena převážně pro americký trh a použití.

Rovněž, jako norma ITU-T Recommendation P.58 i norma ANSI S3.36-1985 obsahuje podrobný popis směrů sloužících pro akustické testování včetně úhlů a vzdáleností zdrojů zvukových signálů. Dále základní rozměry zejména hlavy a vzdálenosti specifických útvarů na ní. Výkresová dokumentace je vzhledem k vyšší náročnosti oproti normě ITU-T Recommendation P.58 znázorněna po několika vrstvách a tvoří ji křivky.

Je zajímavé a z hlediska celosvětového testování logické, že obě normy mají společné základní roviny, jejichž průsečíky leží uprostřed dutin simulujících zvukovody při pohledu z boku, dále v nejvyšším bodě temena hlavy při pohledu shora a v oblasti špičky nosu při pohledu zepředu. Rovněž umístění externích zdrojů zvukových signálů je totožné. Obě normy také obsahují soupis norem, které s těmito normami korespondují, doplňují je nebo z nich vychází.

## 8. ZÁVĚR

Cílem práce bylo zkonstruovat manekýna hlavy pro studium prostorového slyšení. Základem pro určení jeho tvarů a rozměrů byly převážně telekomunikační normy, určené původně pro testování náhlavních souprav. Odchytky konstrukce od norem jsou dány určením manekýna a díky nim je tento manekýn jedinečný. Manekýn byl navržen pro účely simulace akustického prostředí uvnitř a vně hlavy. Tyto simulace budou sloužit při dalším studiu prostorového slyšení. Manekýn byl vyroben z kompozitního materiálu. Dutiny uvnitř konstrukce byly osazeny mikrofony a reproduktorem. Elektroakustická sestava manekýna bude sloužit pro měření šíření zvuku uvnitř a vně hlavy. V předložené práci je popsán zejména postup konstrukce, měření základních akustických vlastností a v příloze je detailní popis výrobního postupu. Ke konstrukci byla takto podána kompletní dokumentace s výrobním postupem, která je zároveň návodem pro výrobu. Vnějšími rozměry manekýn odpovídá normě a akustické vlastnosti byly měřením prokázány.

Zadání práce bylo splněno.

## 9. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Head and Torso Simulator for Telephonometry P.58 (Previously CCITT recommendation P.58), *International Telecommunication Union*, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 1993.
- [2] J. Syka, L. Vondřich, F. Vrabec (1981), *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*, Aviacenum, Praha
- [3] S. Silbernagl, A. Despopoulos (1984), *Atlas fyziologie člověk*, Aviacenum, Praha
- [4] Ctirad Smetana a kolektiv (1981), *Praktická elektroakustik*, SNTL, Praha
- [5] Bruel Kjaer Head and Torso 4128, Bruel and Kjaer home: [www.bksv.com](http://www.bksv.com)  
Product specification: [www.bksv.com/pdf/Bp0521.pdf](http://www.bksv.com/pdf/Bp0521.pdf), navštíveno 2009.
- [6] Maršálek P. *Simulace v neurověděch, příklad modelu prostorového slyšení.* , Kvasnička V., Pospíchal J., (eds.), STU, Bratislava, Slovakia, str. 281-298, 2009  
*Umelá inteligencia a kognitívna veda I*
- [7] J. Merhaut (1985), *Teoretické základy elektroakustik*, čtvrté vydání Academia Praha
- [8] Doc. Ing. František Kadlec CSc. (2002), *Zpracování akustických signál*, Vydavatelství ČVUT, Praha
- [9] F. Rund, A. Novák, [dsp.vscht.cz/konference\\_matlab/MATLAB06/prispevky](http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB06/prispevky), navštíveno 2010 , *Problém špatné synchronizace vzorkovacích kmitočtů u MLS signálů*

# **PŘÍLOHY**

## **Příloha č. 1**

**POPIS TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY ŠABLON A  
MANEKÝNA**

## **Příloha č. 2**

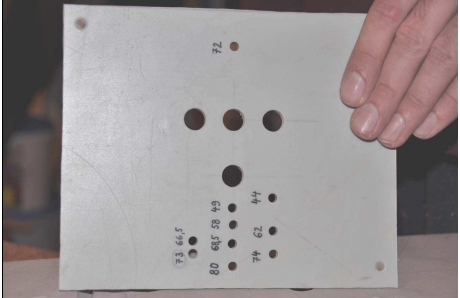
**VYBRANÉ A ZMENŠENÉ VÝKRESY Z VÝKRESOVÉ  
DOKUMENTACE**

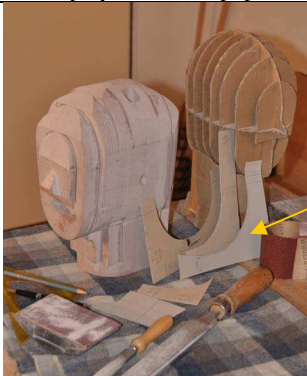
## **Příloha č. 3**

**datový nosič (CD) s textem práce, s obrazovou dokumentací a  
kompletní sadou výkresové dokumentace ve formátu TIF**

# PŘÍLOHA č. 1

## P1.1 Technologické postupy výroby šablon

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Šablona pro vykroužení segmentů – VS šablona				
Materiál: Polystyrenová deska tl. 3 mm Kulatina buk Ø 5 mm Lepidlo BISON Hard Plastics adhesive Kulatina ocel Ø 5 mm				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozí polystyrenovou desku tl. 3mm nakreslit dvakrát obdélník s rozměry 185 x 155 mm.	Ruční pilka na železo Stolní vrtačka B13 - - Quantum Sada vrtáků Kladívko Rýsovací jehla Důlčák	1.  Nástrojařské svěrky	Digitální posuvné měřidlo
2.	Z výchozí desky vyříznout oba nakreslené obdélníky			
3.	Obdélníkové desky položit na sebe tak, aby obvod obou desek byl v zákrytu, tj. bez přesazení			
4.	Polohu desek fixovat nástrojařskou svěrkou			
5.	Desky ve dvou protilehlých rozích svrtat - Ø 4,9 mm			
6.	Z kulatiny / buk Ø 5 mm odříznout 2 ks kolíčky, délky 5,5 mm			
7.	Desky oddálit a na styčné plochy nanést lepidlo BISON. Desky přiložit lepenou stranou k sobě a nalisovat do vyvrtaných otvorů bukové kolíčky. Po zalisování nesmí kolíčky z desek vyčnívat. Kolíčky musí zamezit posunu desek při jejich zatížení.			
8.	Desky zatížit a nechat lepidlo vytvrdit.			
9.	Lepenou desku vrtat otvory Ø 4,9 a Ø 12 s roztečemi dle sloupce 7 a 8 Tabulka č. 4-2.			
10.	Šablonu osadit ocelovým kolíčkem Ø 5 mm, délky 15 mm (slouží jako osa otáčení šablony) Otvory Ø 4,9 opatřit popisem příslušných roztečí lihovým fixem. Konečný vzhled šablony je zřejmý z obr. P1 č. 1-2.			
		2.	Obrázek P1 č. 1-1 Šablona pro vykroužení segmentů	

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Tvarové šablony – TS šablony				
Materiál: Lepenka tl. 1,5				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozí lepenkovou desku tl. 1,5 mm nakreslit do přiměřeně velkých obdélníků profil hlavy manekýna, odpovídající normě ITU – T Recommendation P.58 – a to v rovině FRONT na FIGURE 4/P.58, FRONT na FIGURE 5/P.58 a v rovině TOP na FIGURE 7/P.58 – viz. obr. P1 č. 1-1 Šablona pro bykroužení segmentů. Tyto profily rozdělit na levou a pravou polovinu a každou z nich pak dále na horní a dolní polovinu nebo část. Do šablon nakreslit i příslušné osy, vyznačené v normě. Délku obou rovných stran šablony zvolit tak dlouhou, aby bylo možno šablony dobře držet a se správnou orientací os je přikládat k tělesu hlavy při jeho opracovávání. Takto vznikne 8 ks tvarových šablon.	Kreslicí potřeby Kružítka Nůžky	Žádné	Pravítko
2.	Šablony vystříhnout a popsat			
	 <p>Obrázek P1 č. 1-2 Tvarové šablony</p>			

## P1.2 Technologické postupy výroby manekýna

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Segmenty 1-01 a 1-07				
Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Kulatina buk Ø 5 mm				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozím bloku RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 nakreslit dva obdélníky s rozměry 355 x 300 mm a tyto z bloku vyříznout. Kratší stranu umístit na okraj bloku.	Kreslicí potřeby Stolní vrtačka B13	Šablona VS Nástrojařské svěrky	Digitální posuvné měřidlo
2.	Na obě desky narýsovat podélnou a příčnou osu dle výkresu pro tyto segmenty. Od těchto os rozkreslit co nejpřesněji tvar segmentů - na jednu desku kreslit segment 1-01, na druhou desku segment 1-07. Obraz segmentu situovat na bloku tak, aby okraj bloku tvořil zároveň spodní okraj krku	- - Quantum Sada vrtáků Kladívko Důlčák Rýsovací jehla	Vodící pravítko pro frézu Kulatina ocel Ø12,7 –	Svinovací metr Vlasové pravítko

3.	Postupně připevnit na desky vodící pravítko pro objížděcí frézu a vyfrézovat drážky pro mikrofon a zvukovod. Přitom použít nástroj/frézku Ø 12,7mm, hloubka 6,4 mm. Drážku pro větší průměr mikrofonu frézovat na Ø 16 do hloubky 12 mm	Ruční objížděcí el. fréza BOSCH POF600 ACE s příslušenstvím Sada frézek Elektrická pila okružní BOSCH PKS54 CE electronic Váhy listovní 250 gr. Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240	délka 130 mm	
4.	Obě desky položit na sebe a do delších vyfrézovaných drážek vložit technologické trny - kulatinu ocel Ø 12,7 mm. Desky stáhnout nástrojařskými svěrkami. Poznámka: Technologické trny zajistí přesnou polohu všech drážek, otvorů, sousost otvorů a vzájemnou shodnost obvodů obou segmentů vůči drážkám.			
5.	Ve vzdálenostech, určených výkresem / Tabulkou č. 4-2, sloupce 2 a 3 vrtat pomocné otvory Ø 5 mm - viz obr. P1 č. 2-1.			
6.	Ve vzdálenostech, určených výkresem vrtat otvory Ø 6 pro stahovací šrouby M5 x 100			
7.	Ve vzdálenostech, určených výkresem vrtat otvory Ø 10 pro vodící kolíky. Vrtání provádět ze strany segmentu 1-07, do hloubky 40 mm			
8.	Uvolnit svěrky a desky od sebe oddělit, vyjmout technologické trny Ø 12,7mm			
9.	Dále opracovávat každou desku samostatně – do otvorů Ø 5 mm vložit šablonu VS a objížděcí frézou vykroužit rádius temene a čelisti. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 6 mm. Postup je znázorněn na obr. P1 č. 2-2.			
10.	Objížděcí frézou frézovat rovné části dutiny krční. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 6 mm. Poznámka: Toto pořadí úkonů umožní upevnění vodícího pravítka k desce.			
11.	Objížděcí frézou frézovat rovné části mezi rádiusem temene a čelisti. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
12.	Do segmentu 1-01 frézovat symetricky okolo otvorů Ø 6 mm vybrání pro matice. Rozměry jsou dány výkresem. Frézování provést z opačné strany od dělící roviny; použít nástroj / frézky Ø 16 mm			
13.	Zaslepit otvor Ø5 kolíkem z kulatiny buk Ø5 mm, otvor zatmelit a z obou stran vybrousit do roviny s povrchem segmentu, kontrolovat vlasovým pravítkem. Dvousložkový tmel namíchat dle Tabulky č. 4-1.			



Obrázek P1 č. 2-1 Vrtání



Obrázek P1 č. 2-2 Práce s VS šablonou

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Segmenty 1-08 – 1-09 – 1-10				
Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Kulatina buk Ø 5 mm				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použitá nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozím bloku RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 narýsovat podélnou a příčnou osu dle výkresu postupně pro segmenty 1-08 – 1-09 – 1-10. Od těchto os rozkreslit co nejpřesněji tvar segmentů Obraz segmentu situovat na bloku tak, aby okraj bloku tvořil zároveň spodní okraj krku Poznámka: Další úkony provádět vždy jen na jednom segmentu až do jeho dokončení	Kreslicí potřeby Stolní vrtačka B13 - - Quantum Sada vrtáků Kladívko Rýsovací jehla Důlčák Ruční objížděcí el. fréza BOSCH	Šablona VS Nástrojařské svěrky Vodící pravítko pro frézu	Digitální posuvné měřidlo
2.	Ve vzdálenostech, určených výkresem / Tabulkou č. 4-2, sloupce 2 a 3 vrtat pomocné otvory Ø 5 mm.	POF600 ACE s příslušenstvím Sada frézek Sukovník Ø 15		
3.	Ve vzdálenostech, určených výkresem vrtat otvory Ø 6 pro stahovací šrouby M5 x 100			
4.	Do otvorů Ø 5 mm vložit šablonu VS a objížděcí frézou vykroužit rádius temene a čelisti; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.	Ruční pokosová pila Váhy listovní 250 gr. Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240 Vlasové pravítko		
5.	Pouze segment 1-08: Objížděcí frézou frézovat obvod dutiny krční do hloubky 15 mm. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem. Použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
6.	Pouze segment 1-08: Celý prostor krční dutiny odfrézovat do hloubky 15 mm, frézu vést volně rukou			


7.	Dále provést u všech segmentů: Objížděcí frézou frézovat rovné části mezi rádiusem temene a čelisti. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
8.	Zaslepit otvory Ø5 kolíkem z kulatiny buk Ø5 mm, otvor zatmelit a z obou stran zabrousit do roviny s povrchem segmentu, kontrolovat vlasovým pravítkem. Dvousložkový tmel namíchat dle Tabulky č. 4-1.			
9.	Pouze segment 1-09: Otvory Ø 6 mm které jsou blíže ke krku, převrtat na Ø 15 do hloubky 10 mm – viz. výkres č. 1-09.			
10.	Pouze segment 1-10: Otvory Ø 6 mm sukovníkem převrtat na Ø 15 Poznámka: Pro možnost vrtání otvoru, jehož část je mimo tělesa segmentu, připevnit v tomto místě kousek pomocné desky tl. 25 mm			
11.	Pouze segment 1-10: Ruční pokosovou pilou seříznout zadní plochu dle výkresu			

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Segmenty 1-02 – 1-03 – 1-04				
Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Kulatina buk Ø 5 mm				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozím bloku RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 narýsovat podélnou a příčnou osu dle výkresu postupně pro segmenty 1-02 – 1-03 – 1-04. Od těchto os rozkreslit co nejpřesněji tvar segmentů Obraz segmentu situovat na bloku tak, aby okraj bloku tvořil zároveň spodní okraj krku Poznámka: Další úkony provádět vždy jen na jednom segmentu až do jeho dokončení	Kreslicí potřeby Stolní vrtačka B13 - - Quantum Sada vrtáků Kladívko Rýsovací jehla Důlčák	Šablona VS Nástrojařské svěrky Vodící pravítko pro frézu	Digitální posuvné měřidlo Vlasové pravítko
2.	Ve vzdálenostech, určených výkresem / Tabulkou č. 4-2, sloupce 2 a 3 vrtat pomocné otvory Ø 5 mm.	Ruční objížděcí el. fréza BOSCH POF600 ACE s příslušenstvím Sada frézek Váhy listovní 250 gr.		
3.	Do otvorů Ø 5 mm vložit šablonu VS a objížděcí frézou vykroužit rádius temene a čelisti; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
4.	Pouze segment 1-02: Objížděcí frézou frézovat obvod dutiny krční a přepážku nad ústní dutinou do hloubky 15 mm, šíře 10 mm a zbývající část dutin frézovat do hloubky celé síly materiálu – viz výkres č. 1-02. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem. Použít nástroj / frézku Ø 6 mm.	Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240		
5.	Pouze segment 1-03: Celý prostor ústní a nosní dutiny odfrézovat – viz výkres č.1-03; použít nástroj / frézku Ø 6 mm			
6.	Dále provést u všech segmentů: Objížděcí frézou frézovat rovné části mezi rádiusem temene a čelisti. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
7.	Pouze segment 1-03: Z vnější strany segmentu odfrézovat materiál pod bradou do hloubky 14 mm. Přitom zachovat materiál pro rádius R 9.			



8.	Pouze segment 1-04/Úkony od 7. dále: Na delší ose segmentu vrtat dva technologické otvory Ø5 mm pro střed horního a dolního oblouku úst – poloha ústního otvoru a jeho rozměry dle výkresu.			
9.	Pomocí šablony VS frézovat otvor pro ústa; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.			
10.	Zaslepit otvory Ø5 kolíkem z kulatiny buk Ø5 mm, otvor zatmelit a z obou stran zabrousit do roviny s povrchem segmentu, kontrolovat vlasovým pravítkem. Dvousložkový tmel namíchat dle Tabulky č.4-2			

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Segment 1-05				
Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Kulatina buk Ø 5 mm				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozím bloku RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 narýsovat podélnou a příčnou osu segmentu dle výkresu . Od těchto os rozkreslit co nejpřesněji tvar segmentu	Kreslicí potřeby Stolní vrtačka B13 - - Quantum Sada vrtáků	Šablona VS Nástrojařské svěrky Vodící pravítko pro frézu	Digitální posuvné měřidlo Vlasové pravítko
2.	Ve vzdálenostech, určených výkresem / Tabulkou č. 4-2, sloupce 2 vrtat pomocný otvor Ø 5 mm.	Kladívko Rýsovací jehla Důlčák		
3.	Do otvoru Ø 5 mm vložit šablonu VS a objížděcí frézou vykroužit rádius temene; použít nástroj / frézku Ø 6 mm.	Ruční objížděcí el. fréza BOSCH POF600 ACE s příslušenstvím Sada frézek Pokosová pila		
4.	Z vnější strany segmentu odfrézovat materiál v oblasti čela do hloubky 14 mm a horního rtu do hloubky 22 mm. Přitom zachovat materiál pro nos. Rozměry jsou dány výkresem.	Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240		
5.	Objížděcí frézou frézovat rovné části segmentu. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem; použít nástroj / frézku Ø 6 mm. Poznámka: Uvedené pořadí úkonů umožní odfrézování materiálu z čelní strany segmentu při použití vodícího pravítka v blízkosti nosu.			
6.	Zaslepit otvor Ø5 kolíkem z kulatiny buk Ø5 mm, otvor zatmelit a z obou stran zabrousit do roviny s povrchem segmentu, kontrolovat vlasovým pravítkem. Dvousložkový tmel namíchat dle Tabulky č. 4-1.			
7.	Z výchozího materiálu vyříznout hranolek 20x15x3 mm			
8.	Hranolek přilepit symetricky k ploše nosu na segmentu 1-05 a lepený spoj stáhnout nástrojařskou svěrkou – viz obr. P1 č. 2-3. Dvousložkové lepidlo namíchat dle Tabulky č. 4-1.			
9.	Vytékající přebytečné lepidlo odstranit planžetou – plochy udržovat čisté			
10.	Pokosovou pilou seříznout ze tří stran plošky nosu.			


Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Zhotovení matic M5, zhotovení vodících kolíků Ø 10, lepení hlavy manekýna				
Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Lepidlo RAKU - TOOL® EP – 2306 / EH – 2904 Ocel plochá šíře 26 mm, tl.6 mm Kulatina buk Ø 10 Strojní olej Alobal				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	<b>Zhotovení matic M5 – 2 + 1 ks:</b> Na ocelový pás, tl. 6 mm narýsovat tvar matic a důlčkem vyznačit místo vrtání; rozměry jsou dány výkresem	Kreslicí potřeby Truhlářské svěrky Sada závitníků M5 Kladivo Důlčik Rýsovací jehlu Svěrák Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240 Lapovací papír zrnitosti 1000 Listovní váhy 250 g Plastové kelímky Dřevěná špachtle Stolní vrtačka B13 - - Quantum Sada vrtáků Ruční pilka na kov, rámová Pilník Stolní elektrická bruska Bronzová planžeta tl. 0,2 mm Imbusový klíč	Lepicí přípravek Nástrojařské svěrky Šroub s imbusovou hlavou M5 x 120, závit délky 22 mm	Digitální posuvné měřidlo Úhelník
2.	Vrtat otvor Ø 4,2 mm			
3.	Do otvoru Ø 4,2 mm vyříznout závit M5. Závitníky mazat strojním olejem Poznámka: při závitování dbát na dodržení kolmosti závitů vůči povrchu ocelového pásu			
4.	Vyříznout matice z ocelového pásu dle předkreslených čar			
5.	Pilníkem začistit hrany a odstranit otřepy			
6.	<b>Zhotovení vodících kolíků – 3 ks</b> Na konci kulatiny buk Ø 10 (na výchozí tyči) vyznačit délku kuželové části a vrcholový průměr – rozměry určuje výkres Poznámka: Úkony od 6. dále provést postupně 3x			
7.	Na vyznačené části kulatiny brousit sražení; rozměry kontrolovat posuvným měřítkem až do dosažení požadovaných rozměrů			
8.	Z výchozí tyče Ø 10 odříznout kolík délky 40 mm			
9.	Na konci kolíku bez kuželové části srazit hranu			
10.	<b>Lepení hlavy manekýna – zadní blok</b> Přípravu lepidla a tmelu provést dle Tabulky č. 4-1, současně dodržet zde stanovené časy pro zpracování a vytvrzení lepidla a tmelu Při lepení segmentů v lepícím přípravku je třeba dbát na to, aby segmenty v dolní části krku vytvořily rovinu. Vytékání lepidla může způsobit zvedání segmentů a tím dojde k jejich nežádoucímu přesazení. Proto je třeba toto lepidlo odstraňovat poklepem kladívkem (přes prkénko) na temeno segmentu.			
11.	Na všech plochách segmentů zvýraznit podélnou a příčnou osu			
12.	<b>Osazení vodícími kolíky</b> - do segmentu 1-07, do otvorů 3x Ø10, zalisovat a zalepit vodící kolíky. Vodící kolíky vložit tak, aby jejich kuželová část vyčnívala do dělicí roviny, tj. do roviny, která nebude lepena. Kolík musí být zalisován tak hluboko, aby jeho druhý konec nevyčníval nad plochu segmentu			

13.	Spojit segmenty 1-01 a 1-07 a zkontrolovat vlasovým pravítkem, zda dolní část krku tvoří u obou segmentů rovinu. Pokud by byly segmenty přesazeny, je nutné provést opravu posunutím některého z vodících kolíků. Poznámka: Opravu provést odvrtním vodícího kolíku sukovníkem Ø 15, vlepením kulatiny Ø 15 a po vyvrtání otvoru Ø 10 ve správném místě vlepit nový kolík.			
14.	<b>Lepení segmentů</b> - na styčné plochy segmentů 1-07 a 1-08 nanést v přiměřeně tenké vrstvě lepidlo			
15.	Na vodorovnou plochu lepícího přípravku položit vyhlazený alobal v jedné, neporušené vrstvě. Na alobal v lepícím přípravku umístit spojené segmenty 1-01 + 1-07 a k segmentu 1-07 přiložit segment 1-08 lepenými plochami k sobě. Přitom je třeba dbát, aby se kryly svislé a vodorovné osy segmentů.			
16.	Segmenty přitáhnout ke svislé desce lepícího přípravku dvěma truhlářskými svěrkami. Přebytečné lepidlo, které vytéká z lepených ploch, odstranit.			
17.	Po vytvrzení lepidla nanést lepidlo v přiměřeném množství na plochu segmentu 1-08 a 1-09.			
18.	Na vodorovnou plochu lepícího přípravku položit vyhlazený alobal v jedné, neporušené vrstvě. Na alobal v lepícím přípravku umístit spojené segmenty z úkonu č.15 a k segmentu 1-08 přiložit segment 1-09 lepenými plochami k sobě. Přitom je třeba dbát, aby svislé a vodorovné osy segmentů se kryly.			
19.	Segmenty přitáhnout ke svislé desce lepícího přípravku truhlářskou svěrkou. Do otvorů Ø 6 vložít technologické šrouby, kterými bude paket lepených segmentů sevřen. Pod hlavy šroubů vložít ocelové matice. V segmentu 1-01 použít technologické matice normalizovaného tvaru. Lepení zobrazuje obr. P1 č. 2-3. Přebytečné lepidlo, které vytéká z lepených ploch odstranit.			
20.	 <p>Obrázek P1 č. 2-3 Lepení zadního bloku segmentů</p>			
21.	<b>Zatmelení speciálních matic</b> - do vyfrézovaných vybrání pro matice v segmentu 1-01 nanést na jejich dno přiměřeně malé množství tmelu. Přitom dbát na to, aby se tmel nedostal do otvoru Ø 6			
22.	Speciální Matice M5 (viz výkres č. 1-11 a 1-12) opatrně položit na tmel			
23.	Segment 1-01 nasunout na vodící kolíky zadního paketu a do otvorů Ø 6 vložít pomocné šrouby M5, které jsou pod hlavou opatřeny ocelovými podložkami. Závity šroubů opatřit tenkou vrstvou strojního oleje.			
24.	Imbusovým klíčem přiměřeně dotáhnout šrouby k maticím			
25.	Prostor mezi maticemi a povrchem segmentu 1-01 vyplnit tmelem tak, aby tmel v malé míře vyčníval nad rovinu segmentu			
26.	Po vytvrzení přebytečný tmel zabrousit; rovinnost kontrolovat vlasovým pravítkem – po zabroušení nesmí tmel převyšovat rovinu segmentu 1-01			

27.	Po vytvrzení tmelu vyjmout pomocné šrouby, otvor $\varnothing 6$ začistit / zkalibrovat prodlouženým vrtákem a odstranit případný tmel na závitech matic			
28.	<b>Lepení hlavy manekýna – přední blok</b> Přípravu lepidla a tmelu provést dle Tabulky č. 4-1, současně dodržet zde stanovené časy pro zpracování a vytvrzení lepidla a tmelu. Při lepení segmentů v lepicím přípravku je třeba dbát na to, aby segmenty v dolní části krku vytvořily rovinu. Vytékání lepidla může způsobit zvedání segmentů a tím dojde k jejich nežádoucímu přesazení. Proto je třeba toto lepidlo odstraňovat poklepem kladívkem (přes prkénko) na temeno segmentu.			
29.	Na všech plochách segmentů zvýraznit podélnou a příčnou osu			
30.	Na styčné plochy segmentů 1-01 a 1-02 nanést v přiměřeně tenké vrstvě lepidlo			
31.	Na vodorovnou plochu lepicího přípravku položit vyhlazený alobal v jedné, neporušené vrstvě. Na alobal v lepicím přípravku umístit zadní paket lepených segmentů a k segmentu 1-01 přiložit segment 1-02 lepenými plochami k sobě. Přitom je třeba dbát, aby se kryly svíslé a vodorovné osy segmentů.			
32.	Segmenty přitáhnout ke svíslé desce lepicího přípravku dvěma truhlářskými svěrkami. Přebytečné lepidlo, které vytéká z lepených ploch, odstranit.			
33.	Pro lepení segmentu 1-03 provést na segmentu 1-02 a 1-03 úkony č. 29 – 30 – 31			
34.	Lepení segmentu 1-04 - po vytvrzení lepidla položit pakety lepených segmentů 1-01 + 1-02 + 1-03 na stůl, přes jehož pracovní desku byla položena měkká, flanelová textilie. Paket položit na dělicí rovinu.			
35.	Na segmenty 1-03 a 1-04 nanést lepidlo v přiměřeně tenké vrstvě			
36.	Segment 1-04 položit lepenou stranou na paket - na segment 1-03, a to tak, aby podélné a příčné osy obou segmentů byly v zákrytu.			
37.	Segment 1-04 přitáhnout k desce stolu spolu s paketem truhlářskými svěrkami. Při stahování vypodložit svěrky vhodným způsobem.			
38.	Přebytečné lepidlo, které vytéká z lepených ploch odstranit, plochy udržovat čisté od lepidla.			
39.	<b>Lepení segmentu 1-10</b> - po vytvrzení lepidla položit pakety lepených segmentů 1-07 + 1-08 + 1-09 a 1-01 + 1-02 + 1-03 + 1-04 na stůl, přes jehož pracovní desku byla položena měkká, flanelová textilie – dle obr. P1 č. 2-4.			
40.	Do dvou otvorů $\varnothing 15$ v segmentu 1-09, vložit pomocné zátky s přibližným $\varnothing 15$ a s navinutým páskem alobalu v jedné vrstvě. Alobal musí vniknout až do otvoru segmentu 1-09. Poznámka: Zátka s alobalem slouží z zamezení vniknutí lepidla do otvoru $\varnothing 15$ v segmentu 1-09.			
41.	Na segmenty 1-09 a 1-10 nanést lepidlo v přiměřeně tenké vrstvě			
42.	Segment 1-10 položit lepenou stranou na paket - na segment 1-09, a to tak, aby podélné a příčné osy obou segmentů byly v zákrytu.			
43.	Segment 1-10 přitáhnout k desce stolu spolu s paketem truhlářskými svěrkami a jedním pomocným šroubem M5. Při stahování vypodložit svěrky vhodným způsobem.			
44.	Přebytečné lepidlo, které vytéká z lepených ploch odstranit, plochy udržovat čisté od lepidla.			


45.	 <p>Obrázek P1 č. 2-4 Lepení segment u 1-10</p>			
46.	<p><b>Lepení segmentu 1-05</b> - na paketu a na segmentu 1-05 provést úkony č.33 – 34 – 35 – 36 – 37. Při stahování segmentu svěrkami k paketu (úkon č.36) dbát na to, aby nedošlo k poškození nosu. Celkový pohled na hlavu manekýna po lepení všech segmentů je na obr. P1 č. 2-5.</p>			
	 <p>Obrázek P1 č. 2-5 Celkový pohled na hlavu po lepení</p>			

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Hlava manekýna – Tvarování hlavy manekýna				
Materiál: Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste Lepidlo RAKU - TOOL® EP – 2306 / EH – 2904				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	<p>Blok sešroubovaného předního a zadního celku postupně opracovat na stole, na němž je rozprostřena flanelová textilie. Blok pevně fixovat k desce stolu truhlářskou svěrkou a zarážkami. Blok pokládat na stůl dle potřeby vodorovně nebo svisle. Při vodorovném umístění podložit krk sadou vhodných prkének.</p>	<p>Kreslicí potřeby Truhlářské svěrky Brusný papír</p>	<p>Šablony TS Lepicí přípravek Brusný válec</p>	<p>Digitální posuvné měřidlo Úhelník</p>

2.	Postupně ubírat materiál ve směru vodorovném v horní části hlavy, a to od temene směrem dopředu a směrem dozadu. Tuto fázi opracování/tvarování znázorňuje obr. P1 č. 2-6. Výsledek tvarování kontrolovat šablonami TS. Šablony s vyznačenými osami přikládat k osám bloku. Úběr materiálu provádět postupně ve velkých třískách/rašplí až po jemné pilinky/brusným papírem se zrnitostí 60. Úběr materiálu provádět tak dlouho, dokud se ve svislé rovině tvar hlavy nekryje s tvarem TS šablony.	zrnitosti 60, 180 a 240 Lapovací papír zrnitosti 1000 Elastická brusná deska zrnitosti 60, 120 a 180	Ø 17
3.	Štětcem odstraňovat třísky a během tvarování udržovat povrch čistý	Listovní váhy 250 g	
	 <p data-bbox="767 667 866 801">Obrázek P1 č. 2-6 Začátek tvarování segmentu</p>	Štětec Rašple různých hrubostí a tvarů Pilník	
4.	Postupně ubírat materiál ve směru kolmém na směr v úkonu č.2, tj. od temene k levé a pravé tváři. Tvar bloku kontrolovat šablonami TS. Šablony s vyznačenými osami přikládat k osám bloku. Úběr materiálu provádět postupně ve velkých třískách/rašplí až po jemné pilinky/brusným papírem se zrnitostí 60.		
5.	Po dosažení potřebného tvaru v obou kolmých rovinách – viz úkony č.2 a 4 pokračovat v úběru materiálu dokola mezi těmito rovinami.		
6.	Krk opracovat do tvaru válce. Tvar kontrolovat TS šablonami ve vodorovných rovinách.		
7.	Při tvarování obličejové části postupovat rovněž nejprve ve dvou na sebe kolmých směrech a po dosažení požadovaných tvarů dle TS šablon, provést tvarování bloku mezi těmito rovinami.		
8.	Napojení/průnik plochy krku a čelisti a pak i přechod brady do krku vytvarovat brusným válcem Ø 17 s nalepenými plátky brusných papírů potřebné zrnitosti		
9.	Celou plochu hlavy manekýna brousit postupně elastickými brusnými deskami se zrnitostí 60, 120 a nakonec 180		
10.	Dosedací plochu krku opracovat lapovacím papírem se zrnitostí 1000		

## P1.2 Technologické postupy výroby podstavce

Technologický postup výroby				
Název výrobku: Podstavec hlavy manekýna				
<p>Materiál: Blok RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25            Tmel RAKU - TOOL® UP – 4310 RESIN / BPO – Paste            Kulatina buk Ø 10 mm            Šroub s válcovou hlavou M3 x 22            Šroub s válcovou hlavou M3 x 10            Šroub se zapuštěnou hlavou M4 x 22            Šroub se zapuštěnou hlavou M3 x 14            Podložka plochá Ø 3,2 / Ø 7            Podložka vějířová Ø3,2 / Ø 6            Matice M 4            Matice M 3            Lepidlo vteřinové SUPER ATTAK / LOCTITE®            Stahovací pásky</p> <p>Vrut Ø 2,6 x 20            Svorkovnice dvojitá            Dvojlinka bílá Cu 0,2 mm<sup>2</sup>            Sloupek Ø 8 x 39            Překližka 178 x 151 tl. 6,2            Dyha 70 x 60 tl. 1,8            Reproduktor KST – 50050            Příchytky k reproduktoru - ocel plochá 7 x 16 tl. 0,9            Lepenka 268 x 38 tl. 1            Vata Hartmann 55% bavlna + 45% viskóza            Lepicí páska oboustranná ulith šíře 50            Trubičkový cín Ø1mm s kalafunou</p>				
Číslo úkonu	Popis úkonu	Použité nářadí		Měřidla
		Běžné	Speciální	
1.	Na výchozím bloku RAKU - TOOL® MB - 0670 / 25 nakreslit obdélník podstavce s rozměry 215 x 173 mm a dle výkresu nakreslit obvod vybrání pro krk hlavy s vyznačením středů obou kružnic	Kreslicí potřeby Stolní vrtačka B13 - - Quantum	Šablona VS Nástrojařské svěrky Vodící pravítko pro frézu	Digitální posuvné měřidlo Svinovací metr
2.	Ve středech kružnic vrtat pomocné otvory Ø 5 mm	Sada vrtáků Kladívko Důlčik	Kelímky plastové	Vlasové pravítko
3.	Do otvorů Ø 5 mm vložit šablonu VS a objížděcí frézou vykroužit oba rádiusy. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 6 mm.	Rýsovací jehla Ruční objížděcí el. fréza BOSCH POF600 ACE s příslušenstvím Sada frézek Elektrická pila okružní BOSCH PKS54 CE electronic		
4.	Objížděcí frézou frézovat rovné části dutiny krční. Vedení frézy zajistit vodícím pravítkem. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 6 mm. Poznámka: Toto pořadí úkonů umožní upevnění vodícího pravítka k desce.	Váhy listovní 250 gr. Brusný papír zrnitosti 60, 180 a 240		
5.	Dle výkresu nakreslit středy otvorů Ø 3 mm pro dvojlinku, Ø 10 mm pro matice, střed otvoru Ø 1,5 pro vrut svorkovnice a obvod obdélníkového vybrání pro základovou desku			
6.	Vrtat otvory Ø 10 mm do hloubky 6 mm a dále pokračovat s vrtáním těchto otvorů s Ø 5 mm			
7.	Vrtat otvor Ø 3 mm pro dvojlinku			
8.	Vrtat otvor Ø 1,5 mm pro svorkovnici, hloubka cca 12 mm			
9.	Objížděcí frézou vyfrézovat do hloubky 7 mm vybrání pro základovou desku. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 16 mm.			
10.	Objížděcí frézou vyfrézovat drážku pro dvojlinku s rozměry dle výkresu. Do frézy upnout nástroj / frézku Ø 6 mm.			
11.	Podstavec z výchozího bloku vyříznout			
12.	Obvod podstavce frézovat objížděcí frézou na konečný rozměr. Do frézy upnout tvarovou frézku			
13.	Na dno profilových otvorů Ø 10 mm nanést přiměřeně malé množství tmelu. Přitom dbát na to, aby se tmel nedostal do otvoru Ø 5			
14.	Matice M4 opatrně položit na vrstvu tmelu			

15.	Polohu matic fixovat dotažením pomocných šroubů M4, které jsou pod hlavou opatřeny ocelovými podložkami. Závity šroubů opatřit tenkou vrstvou strojního oleje.			
16.	Prostor mezi maticemi a povrchem podstavce vyplnit tmelem tak, aby tmel v malé míře vyčníval nad rovinu podstavce			
17.	Po vytvrzení přebytečný tmel zabrousit; rovinnost kontrolovat vlasovým pravítkem – po zabroušení nesmí tmel převyšovat rovinu podstavce			
18.	1. Po vytvrzení tmelu vyjmout pomocné šrouby, otvor $\varnothing 5$ začistit a odstranit případný tmel na závitech matic			
	 <p>2. Obrázek P1 č. 2-7 Pohled na detail podstavce</p>			
19.	V místě předvrtaného otvoru $\varnothing 1,5$ mm přišroubovat na podstavec svorkovnici. Poloha svorkovnice je rovnoběžná s hranami podstavce a její vyústění směřovat k otvoru $\varnothing 3$ mm			
20.	Na překližku tl. 6,2 mm dle výkresu nakreslit obvod základové desky s rozměry 178 x 151, středy otvorů $\varnothing 4,2$ mm pro šrouby M4, středy otvorů $\varnothing 3,2$ mm pro šrouby M3 a vyznačit polohu drážky pro dvojlinku			
21.	Vrtat a zahлубit otvory $\varnothing 4,2$ mm a $\varnothing 3,2$ mm. Zahlobení provést na téže straně základové desky – viz výkres			
22.	Objížděcí frézou vyfrézovat do hloubky 1,5 mm drážku pro dvojlinku. Do frézy upnout nástroj / frézku $\varnothing 6$ mm.			
23.	Základovou desku vyříznout z výchozí desky			
24.	Rohy zaoblit na poloměr 8 mm			
25.	Na základovou desku přišroubovat sloupky $\varnothing 8$ mm.			
26.	Na dyhu tl. 1,8 mm nakreslit dle výkresu obvod desky pro reproduktor s rozměry 70 x 60mm, střed otvorů $\varnothing 45$ mm pro reproduktor a středy otvorů $\varnothing 3,2$ mm pro šrouby M3 / pro sloupky a příchytky reproduktoru. Dodržet požadavky výkresu.			
27.	Vyříznout otvor $\varnothing 45$ mm a vrtat otvory $\varnothing 3,2$ mm			
28.	Desku pro reproduktor vyříznout z výchozí desky a začistit obvod			
29.	Na pás ploché oceli 7 x 16 mm, tl.0,9mm nakreslit tvar příchytek na reproduktor a vyznačit středy otvorů a místa jejich ohybu - dle výkresu			

30.	Vrtat otvory $\varnothing$ 3,2 mm na příchytkách, otvory začistit od otřepů			
31.	Příchytky vyříznout a odstranit otřepy na obvodu			
32.	Příchytky ohnout dle výkresu			
33.	Desku reproduktoru osadit reproduktorem. Použít příchytky šroubované šrouby s válcovou hlavou, pod matice vložit podložky vějířové a směrem k desce podložky ploché. Šroubové spoje přiměřeně dotáhnout.			
34.	K reproduktoru připájet dvojlinku			
35.	Dvojlinku protáhnout okolo sloupku a dále drážkou 6 x 1,5 mm do otvoru $\varnothing$ 3 v podstavci ke svorkovnici. Dvojlinku připevnit stahovacím páskem k jednomu sloupku Dvojlinku fixovat v drážce vteřinovým lepidlem.			
36.	Upravit délku dvojlinky a její odizolované konce ocínovat.			
37.	3. Ocínované konce dvojlinky zasunout do svorkovnice a přišroubovat			
38.	Z pruhu lepenky 268 x 38mm tl.1 zhotovit krabičku pro tlumící materiál. Pro vytvarování krabičky použít vteřinové lepidlo.			
39.	Krabičku přilepit vteřinovým lepidlem k základové desce. Poloha krabičky je symetrická vůči sloupkům			
40.	Na stěny krabičky a dno krabičkou ohraničeného prostoru vlepit pás oboustraně lepící pásky			
41.	Prostor krabičky vyplnit vatou. Použít takové množství vaty, aby byl tento prostor zaplněn, ale vata se nesmí po smontování dotýkat membrány reproduktoru. Vatu na obvodu přitisknout na lepící pásku			
42.	4. Desku reproduktoru přišroubovat ke sloupkům			

## **PŘÍLOHA č. 2**

**název výkresu: MANEKÝN- SESTAVA , číslo výkresu: 1**

**název výkresu: MANEKÝN, číslo výkresu: 1-01**

**název výkresu: PODSTAVEC- SESTAVA, číslo výkresu 1**