

**UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH**

**PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA**

**SLUCHOVÁ KONTEXTUÁLNA PLASTICITA VO VIRTUÁLNO  
PROSTREDÍ**

**2020**

**Stanislava LINKOVÁ**

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

**SLUCHOVÁ KONTEXTUÁLNA PLASTICITA VO VIRTUÁLNO  
PROSTREDÍ**

**BAKALÁRSKA PRÁCA**

Študijný program:	Informatika
Pracovisko (katedra/ústav):	ÚINF – Ústav informatiky
Vedúci diplomovej práce:	doc. Ing. Norbert Kopčo PhD.
Konzultant diplomovej práce:	Ing. Peter Lokša

Košice 2020

**Stanislava LINKOVÁ**

# Zadanie záverečnej práce



Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach  
Prírodovedecká fakulta

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Stanislava Linková  
**Študijný program:** Informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** Informatika  
**Typ záverečnej práce:** Bakalárska práca  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský  
**Sekundárny jazyk:** anglický

**Názov:** Sluchová kontextuálna plasticita vo virtuálnom prostredí

**Názov EN:** Auditory contextual plasticity in virtual environment

**Cieľ:**

- Vypracovať prehľad doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity
- Pripraviť experimentálny setup vo virtuálnom prostredí
- Na základe poskytnutých MATLAB skriptov naprogramovať experimentálnu procedúru na zber dát
- Nazbierať experimentálne dáta na nových subjektoch
- Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta

**Literatúra:**

- [1] Kopčo, N., Marcinek, L., Tomoriová, B., and Hládek, L. (2015). "Contextual plasticity, top-down, and non-auditory factors in sound localization with a distractor," *J. Acoust. Soc. Am.* 137, EL281–EL287.
- [2] Kopco, N., Best, V., and Shinn-Cunningham, B. G. (2007). "Sound localization with a preceding distractor," *J. Acoust. Soc. Am.* 121, 420–432.
- [3] Hládek, L., Tomoriová, B., and Kopčo, N. (2017). "Temporal characteristics of contextual effects in sound localization," *J. Acoust. Soc. Am.* 142, 3288–3296
- [4] Yost, W. A. (2000). *Fundamentals of hearing: An introduction* (4th ed.). San Diego: Academic Press.

**Kľúčové slová:** priestorové sluchové vnímanie, kontextuálna plasticita

**Vedúci:** doc. Ing. Norbert Kopčo, PhD.

**Konzultant:** Ing. Peter Lokša

**Ústav :** ÚINF - Ústav informatiky

**Riaditeľ ústavu:** RNDr. Ondrej Krídlo, PhD.

**Spôsob sprístupnenia elektronickej verzie práce:** bez obmedzenia

**Dátum schválenia:** 10.05.2020

## **Pod'akovanie**

Pod'akovanie patrí vedúcemu mojej bakalárskej práce doc. Ing. Norbertovi Kopčovi PhD. a konzultantovi Ing. Petrovi Lokšovi za pripomienky a odbornú pomoc. Vďaka patrí aj mojej rodine, ktorá sa zúčastnila na experimente.

## **Abstrakt v slovenskom jazyku**

Človek sa pri vnímaní okolitého priestoru musí často adaptovať na zmeny v prostredí. Kontextuálna plasticita (CP) je fenomén, ktorý ukazuje ako sa táto adaptácia správa pri sluchovom priestorovom vnímaní. Ak často počujeme stimul z jedného miesta, potom sa CP prejaví ako posun v lokalizácii zvukov z okolia toho miesta. Cieľom bakalárskej práce je zistiť, či kontextuálna plasticita vzniká aj vo virtuálnom prostredí a do akej miery ovplyvňuje našu lokalizáciu. Skúmať a porovnávať budeme dve virtuálne prostredia – echoické a bezechoické. Výsledky získané pomocou šiestich subjektov ukázali, že kontextuálna plasticita ovplyvňuje lokalizáciu aj vo virtuálnom prostredí a jej vplyv v echoickom a bezechoickom prostredí je približne rovnaký. Tieto výsledky ukazujú, že naše priestorové vnímanie sa adaptuje podľa aktuálnej distribúcie podnetov, nezávisle na prostredí, v ktorom sa práve nachádzame.

**Kľúčové slová:** kontextuálna plasticita, virtuálne echoické prostredie, virtuálne bezechoické prostredie

## **Abstrakt v anglickom jazyku**

When perceiving the environment, one often has to adapt to environmental changes. Context plasticity (CP) is a phenomenon that shows how this adaptation behaves in auditory spatial perception. If we often hear a stimulus from one place, then CP appears as a shift in the localization of sounds coming from around this place. The purpose of the thesis is to find out whether contextual plasticity arises in a virtual environment and to what extent this affects our localization. We will consider and compare two virtual environments - echoic and anechoic. The results obtained using six subjects showed that contextual plasticity affects localization also in a virtual environment, and its effect in echoic and anechoic environments is approximately the same. These results show that our spatial perception adapts to the current distribution of stimuli, regardless of the environment in which we are currently located.

**Key words:** the contextual plasticity, the echoic virtual environment, the anechoic virtual environment

# Obsah

<b>Zoznam ilustrácií .....</b>	<b>6</b>
<b>Zoznam skratiek a značiek.....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Ciele .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Priestorový sluch a lokalizácia zvukov.....</b>	<b>10</b>
2.1 Sluchové vnímanie .....	10
2.2 Smerová prenosová funkcia .....	12
2.3 Kontextuálna plasticita .....	13
2.3.1 Experimenty týkajúce sa kontextuálnej plasticity.....	13
<b>3 Experiment.....</b>	<b>14</b>
3.1 Štruktúra experimentu .....	16
3.2 Tréning .....	21
<b>4 Výsledky experimentu .....</b>	<b>22</b>
4.1 Odchýlky medzi skutočnou pozíciou targetov a lokalizáciou subjektov .....	23
4.2 Porovnanie virtuálneho a reálneho prostredia .....	27
4.3 Preklopené dáta .....	28
4.4 Vývin kontextuálnej plasticity.....	30
4.5 Informácie o subjektoch .....	32
<b>Záver .....</b>	<b>33</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>34</b>
<b>Prílohy.....</b>	<b>35</b>

---

## Zoznam ilustrácií

Obr. 1	Smerová prenosová funkcia.....	12
Obr. 2	Nákres setup-u experimentu [6.].....	13
Obr. 3	Ukážka BRIR.....	15
Obr. 4	Schematické znázornenie rozloženie targetov .....	17
Obr. 5	Schéma, pomocou ktorej subjekty lokalizovali target .....	18
Obr. 6	Štruktúra experimentu.....	19
Obr. 7	Graf, ktorý zobrazuje priemernú chybu pre každý subjekt.....	21
Obr. 8	Graf znázorňujúci chyby subjektov v predadaptačnej časti.....	23
Obr. 9	Graf znázorňujúci chyby subjektov v adaptačnej časti.....	24
Obr. 10	Graf znázorňujúci odchýlky subjektov vplyvom CP .....	25
Obr. 11	Odchýlky v echoickom prostredí .....	26
Obr. 12	Odchýlky v bezechoickom prostredí .....	26
Obr. 13	Odchýlky vzhľadom na baseline.....	26
Obr. 14	Odchýlky vzhľadom na baseline.....	26
Obr. 15	Chyby v reálnom prostredí .....	27
Obr. 16	Chyby vo virtuálnom prostredí .....	27
Obr. 17	Odchýlky v reálnom prostredí .....	27
Obr. 18	Odchýlky vo virtuálnom prostredí .....	27
Obr. 19	Preklopené dáta v oboch prostrediach .....	28
Obr. 20	Spriemerované dáta pre virtuálne prostredie .....	29
Obr. 21	Vývin CP vo virtuálnych prostrediach.....	30
Obr. 22	Spriemerované dáta pre echoické a bezechoické prostredie.....	31
Obr. 23	Odchýlky jednotlivých subjektov v echoickom prostredí .....	32
Obr. 24	Odchýlky jednotlivých subjektov v bezechoickom prostredí.....	32

---

## Zoznam skratiek a značiek

**ITD** **I**nteraural **T**ime **D**ifference, rozdiel v čase

**ILD** **I**nteraural **L**evel **D**ifference, rozdiel v intenzite

**HRTF** **H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unction, smerová prenosová funkcia

**BRIR** **B**inaural **R**oom **I**mpulse **R**esponse, funkcia obsahujúca HRTF a odrazy v miestnosti



---

## Úvod

Spoznanie funkcií ľudského mozgu a následného spracovania zvuku si vyžaduje špecifické, rozsiahle a náročné výskumy. Schopnosť lokalizovať zdroj zvuku má u ľudí veľký význam. Sluch ako taký je veľmi dôležitý, upozorňuje nás a chráni pred prípadným nebezpečenstvom, hlavne vďaka tomu, že pokrýva celých 360 stupňov, na rozdiel od iných zmyslov, ako napríklad zrak [1]. Sluch nám taktiež umožňuje získať informácie z veľkého množstva zvukov a rozlíšiť, ktoré sú potrebné a ktoré nie.

Práca na tému “Sluchová kontextuálna plasticita vo virtuálnom prostredí“ bude nadväzovať na už vypracovanú bakalársku prácu z tejto oblasti. Predchádzajúca štúdia ukázala, že ľudia sú ovplyvnení predchádzajúcimi zvukmi pri lokalizácii momentálneho stimulu. Experiment v tejto práci sa bude zameriavať na virtuálne prostredie. Cieľom našej práce je zistiť, či sú ľudia ovplyvnení pri lokalizácii zvukov, aj keď sú zvuky prehrávané cez slúchadlá a nie cez reproduktory.

Je veľmi dôležité skúmať ľudské telo a funkciu mozgu. Každý nový poznatok nám umožňuje lepšie chápať súvislosti spojené s fungovaním organizmu, čo napomáha pri napredovaní v zdravotníckej oblasti. Vedecký výskum a bližšie spoznávanie ľudského sluchu prispelo napríklad ku zostrojeniu načúvacieho strojčeka, vďaka ktorému sú aj zdravotne znevýhodnení ľudia schopní porozumieť počutej reči.

Ako prvé si popíšeme teoretické fakty o sluchu, priestorovom vnímaní a kontextuálnej plasticite. Ďalej popíšeme návrh experimentu a zobrazíme analýzu výsledkov, ktoré sme získali v experimente.

---

# 1 Ciele

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je zistiť ako človek lokalizuje zdroj zvuku vo virtuálnom prostredí, ak sú do experimentu zakomponované aj rušivé stimuly, tzv. distraktory. Vtedy sa buduje kontextuálna plasticita, ktorá ovplyvňuje lokalizáciu zvukov. Pripravené máme dva typy prostredia – echoické a bezechoické.

Naše hypotézy sú:

1. Kontextuálna plasticita bude pozorovaná aj vo virtuálnom prostredí
2. Kontextuálna plasticita bude silnejšia v bezechoickom prostredí
3. Kontextuálna plasticita bude silnejšia pre distraktor na strane než pre distraktor v strede

Jednotlivými cieľmi práce:

- Vypracovať prehľad doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity
- Pripraviť experimentálny setup vo virtuálnom prostredí
- Na základe poskytnutých MATLAB skriptov naprogramovať experimentálnu procedúru na zber dát
- Nazbierať experimentálne dáta na nových subjektoch
- Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta

Experimentálna časť práce nadväzuje na bakalársku prácu Veroniky Pikovej [6].

---

## 2 Priestorový sluch a lokalizácia zvukov

### 2.1 Sluchové vnímanie

V krátkosti si predstavíme **základné časti** sluchového systému.

Sluchový systém pozostáva z periférnej časti a centrálnej časti. [3]

Periférna časť sa skladá z troch častí:

- Vonkajšie ucho – je tvorené ušnicou a zvukovodom
- Stredné ucho – do tejto časti zaraďujeme bubienkovú dutinu so sluchovými kostičkami, sluchovú trubicu a systém dutiniek hlávkového výbežku spánkovej kosti.
- Vnútorne ucho – uložené je v skalnej kosti, ktorá je najtvrdšou kosťou v ľudskom tele

Centrálna časť sa skladá z dvoch častí:

- Sluchová dráha – sprostredkúva prenos vzruchov z vnútorného ucha do centra v mozgovej kôre. Začína v gangliu slimáka.
- Sluchová kôra

Sluch má viacero funkcií. Človek je schopný zvuky:

- Identifikovať
- Lokalizovať
- Porozumieť im

Priestorový sluch slúži hlavne na lokalizáciu a separáciu zvukov.

**Schopnosť lokalizovať zdroj zvukov** má veľký význam ako u ľudí, tak aj u zvierat. Lokalizovanie zvuku určuje smer objektov, ktoré chceme nájsť, alebo ktorým sa chceme vyhnúť a indikuje správny smer, na ktorý je potrebné upriamiť vizuálnu pozornosť. [1] Na rozdiel od iných zmyslov, napríklad zraku, sluch pokrýva celých 360 stupňov. Má preto veľmi významnú obrannú alebo skôr výstražnú schopnosť. Základom sluchového vnímania priestoru je rozlišovanie akustických signálov prichádzajúcich k pravému a k ľavému uchu. Binaurálne počutie má význam pri lokalizácii zdroja zvuku na základe fázového posunu v ušiach. Porovnávanie vnemu ľavého a pravého ucha a celkovej intenzity je automatické a umožňuje nám určiť približnú polohu zdroja. [4] Najdôležitejšou funkciou sluchu je pravdepodobne lokalizácia zvukov.

---

Lokalizovanie zvukov je komplikované. Predstavme si napríklad lokalizovanie zvuku v miestnosti. Zvuk sa odráža od stien, podlahy, stropu,.. Odrazený zvuk sa kombinuje so zvukom, ktorý prichádza do uší priamo. Avšak, bez toho, aby sme si to uvedomili, náš sluchový systém je schopný potlačiť odrazy, a tak nám sa zdá, že počujeme iba daný zvuk, ktorý k nám ide priamo. Informácie z týchto odrazov potom používame na odhad vzdialenosti zdroja zvuku[11].

Poloha zdroja zvuku sa určuje podľa troch hlavných koordinátorov [5]:

- Azimut
- Elevácia
- Vzdialenosť

**Azimut** je relatívna poloha zdroja zvuku v horizontálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Zvyčajne je danou referenciou tvár poslucháča.

**Elevácia** je relatívna poloha zvuku vo vertikálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Zvyčajne je danou referenciou tvár poslucháča.

**Vzdialenosť** je parameter, ktorý určuje dĺžku medzi zdrojom zvuku a poslucháčom.

Okrem horizontálnej roviny a vertikálnej roviny je vo všeobecnosti zadefinovaný priestor aj tretou rovinou – mediálnou. V každej rovine využíva človek na lokalizáciu zvuku iný systém. Ako príklad môžeme uviesť určovanie polohy vo vertikálnej rovine, kde nám stačí informácia z jedného ucha, na rozdiel od horizontálnej roviny, kde na určovanie polohy zdroja zvuku potrebujeme informácie z oboch uší.

Na určovanie azimutu sa využívajú **akustické charakteristiky**:

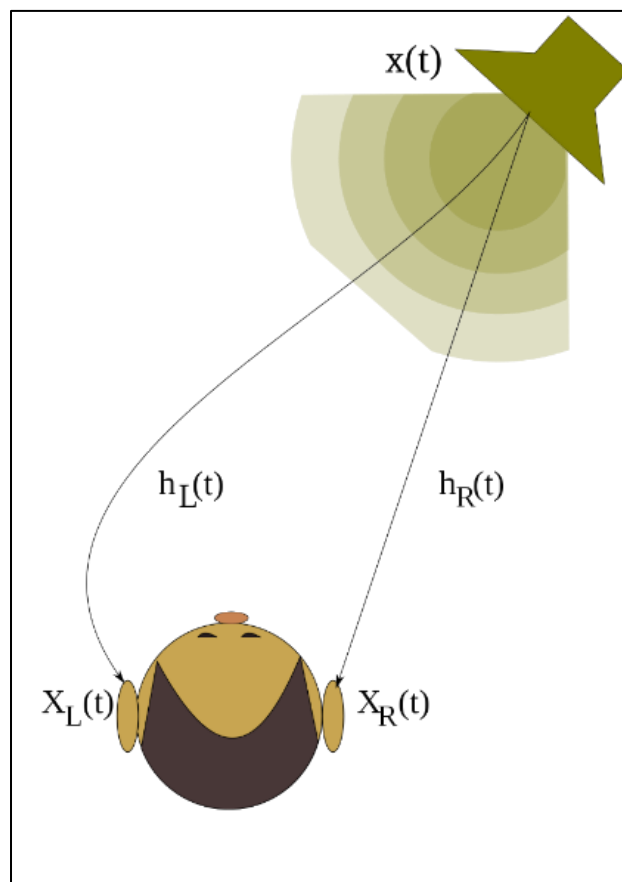
- ITD (interaural time difference) = rozdiel v čase. Určuje časový rozdiel, ktorý vzniká pri zachytení toho istého zvuku ľavým a pravým uchom. Ak zvuk príde skôr k pravému uchu, vieme, že zdroj zvuku sa bude nachádzať bližšie k pravému uchu, a teda na pravej strane.
- ILD (interaural level difference) = rozdiel v intenzite. Určuje rozdiel v hlasitosti, ktorý vzniká pri zachytení toho istého zvuku ľavým a pravým uchom.

---

## 2.2 Smerová prenosová funkcia

HRTF (head related transfer function) slúži na transformáciu, ktorou prejde zvuk, kým sa dostane od zdroja až po bubienok poslucháča. Ako sme už spomínali, na určenie polohy zdroja zvuku v priestore potrebujeme azimut, eleváciu a vzdialenosť. Pre každý bod v priestore majú tieto koordináty inú hodnotu.

Keďže našim cieľom je simulovať zvuky vo virtuálnom prostredí, musíme zaručiť, aby zvuk prehrávaný do slúchadiel mal hodnoty také, aké by nadobudol, keby sa šírila reálnym prostredím. Pre ľavé aj pravé ucho existuje HRTF a spolu tvoria pár funkcií pre danú polohu zdroja zvuku (Obr. 1). Na simulovanie ľubovoľného zvuku vo virtuálnom prostredí je potrebné použiť konvolúciu páru HRTF a stimulu, ktorý chceme prehrať. Následne dostaneme výsledný stimul, ktorý bude mať prenosové vlastnosti presne také, aké požadujeme.



**Obr. 1: Smerová prenosová funkcia**

---

## 2.3 Kontextuálna plasticita

Pod pojmom plasticita si predstavíme schopnosť sa pretvárať a meniť. Predošlé experimenty už ukázali, že sluchové vnímanie človeka sa môže meniť a prispôbovať sa vplyvom predošlých skúseností.

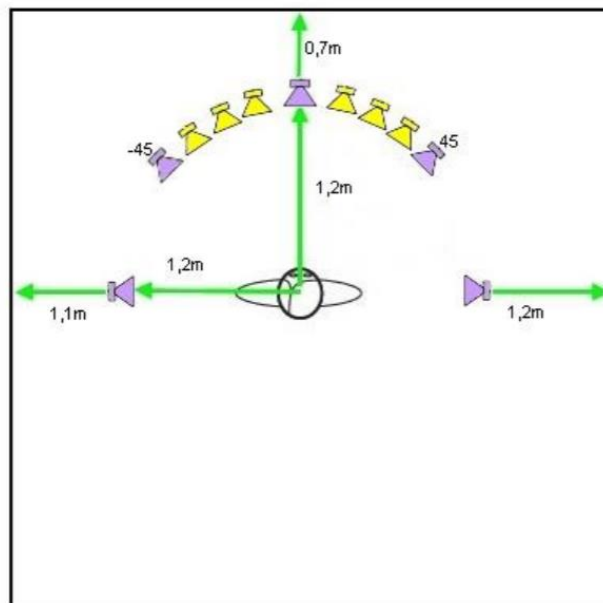
*Kontextuálnu plasticitu môžeme zdefinovať aj takto:*

**Kontextuálna plasticita** (Contextual plasticity) je forma adaptácie v priestorovom sluchovom vnímaní vyvolaná pôsobením predchádzajúcich stimulov [6].

### 2.3.1 Experimenty týkajúce sa kontextuálnej plasticity

Ako prvé si priblížime štúdiu, ktorá sa ako prvá zamerala na kontextuálnu plasticitu [8]. Subjekty boli požiadané lokalizovať stimul, ktorý nasledoval po rušivom stimule – distraktore zo známej polohy. Ak sme často počuli distraktor z jedného miesta, potom sa kontextuálna plasticita prejavila ako posun v lokalizácii targetov v okolí toho miesta.

Ďalej si podrobnejšie priblížime štúdiu, na ktorú budeme vo veľkej miere nadväzovať [6] (Obr. 2). Cieľom tejto štúdie je špecifikovať väzbu medzi distribúciou stimulov a konkrétnou formou adaptácie v priestorovom sluchu. Stimul, ktorý mali subjekty lokalizovať budeme nazývať **target** a rušivé stimuly pred prehraním targetu budeme nazývať **distraktor**.



Obr. 2: Nákres setup-u experimentu[6.]

---

### 3 Experiment

V predchádzajúcom experimente sme zistili, že vznik kontextuálnej plasticity ovplyvňuje našu lokalizáciu zvukov v reálnom prostredí. Kontextuálna plasticita vznikala pri prehrávaní distraktorov a targetov. Ak subjekty počuli iba targety, ktoré mali lokalizovať, vedeli približne presne odpovedať, odkiaľ zvuk prichádza. Avšak, ak už boli prehrávané aj rušivé stimuly – distraktory, subjekty lokalizovali zdroj zvuku s určitými odchýlkami. Napríklad, ak bol prehrávaný distraktor na pozícii  $0^\circ$  a target na  $11.25^\circ$ , subjekty daný target lokalizovali približne na  $13^\circ$ . Kontextuálna plasticita sa prejavila ako posun v lokalizácii.

Pomocou nášho experimentu sme chceli zistiť, či kontextuálna plasticita vzniká aj pri prehrávaní zvukov vo virtuálnom prostredí a ako sa prejavuje. Chceme vedieť, v akej miere ovplyvňuje kontextuálna plasticita lokalizovanie zvukov vo virtuálnom prostredí. Taktiež sme pripravili dve prostredia pre experiment a chceme zistiť, v ktorom prostredí sa prejavuje vplyv kontextuálnej plasticity vo väčšej miere.

Ako prvé sme museli získať BRIR (binaural room impulse response) funkciu, kde je uložená HRTF funkcia spolu s odrazmi od stien, podlahy v miestnosti. Vďaka ITD, ILD je tam zakódovaná vzdialenosť od poslucháča a zdroja zvuku a poloha vzhľadom na poslucháča. Ak sme mali túto funkciu, mohli sme ju použiť pre experiment a upraviť ju podľa našich požiadaviek.

Z BRIR funkcií sme si pripravili tieto dve prostredia:

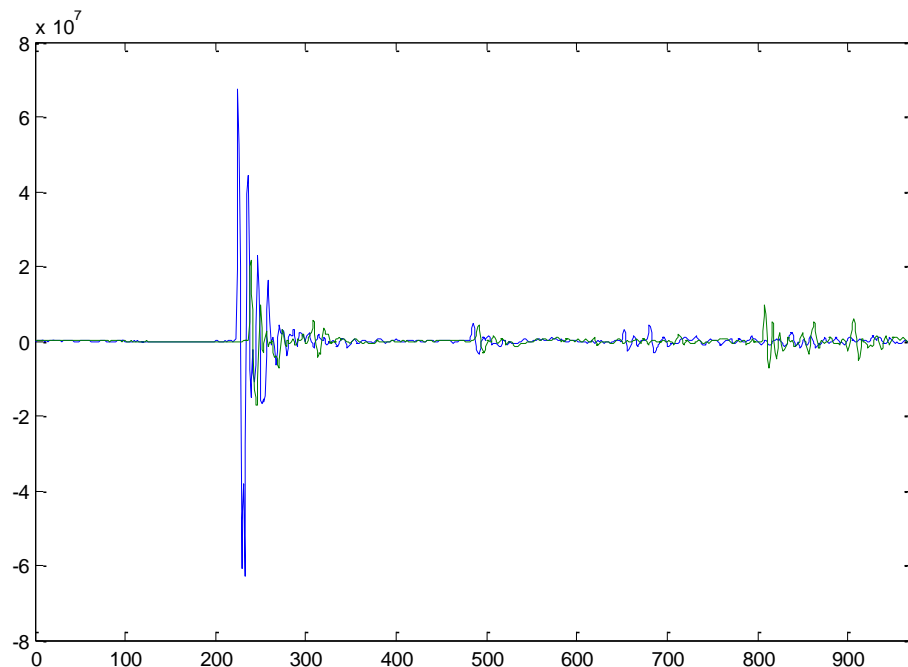
- ECHOICKÉ
- BEZECHOICKÉ

ECHOICKÉ – získanú BRIR funkciu sme špeciálne neupravovali. Následne sme konvolúciou BRIR funkcie so stimulmi dostali zvuky, aké potrebujeme. Takto upravené zvuky budeme v našom experimente považovať za echoické prostredie.

---

BEZECHOICKÉ – získanú BRIR funkciu sme ďalej upravovali. A to tak, že sme ponechali len jej priamu časť (časť, kde sú zakódované len informácie o danom zvuku, čiže HRTF) a odstrihli sme práve reverberantnú časť, ktorá v sebe niesla informácie o odrazoch od stien. Dostali sme teda čistý zvuk bez ozveny. Takto upravené zvuky budeme považovať za bezechoické prostredie.

Funkcia BRIR vyzerá nasledovne (Obr. 3). Aby sme dostali iba čistý zvuk, museli sme odstrihnúť časť, kde prichádzali ku poslucháčovi už odrazy od stien, podlahy a iných. Na obrázku (Obr. 3) začína reverberantná časť približne po 470 ms.



**Obr. 3: Ukážka BRIR**

V experimente budeme striedať tieto prostredia a na základe nazbieraných dát vyhodnotíme, v ktorom prostredí vzniká kontextuálna plasticita. Keď bude kontextuálna plasticita vznikať v oboch prostrediach, zistíme, v ktorom výraznejšie ovplyvňovala lokalizáciu zvukov. Náš predpoklad, na základe štúdie[10], je, že väčší vplyv bude mať v bezechoickom prostredí.



---

### 3.1 Štruktúra experimentu

V tejto časti si bližšie popíšeme zloženie jednotlivých kôl a trialov v experimente. Typy kôl a ich štruktúra je rovnaká aj v reverberantnom aj bezechoickom prostredí. Rozdiel je v zvuku, ktorý je prehrávaný. V reverberantnom je zvuk prehrávaný aj s ozvenou a v bezechoickom je zvuk prehrávaný bez ozveny.

Začneme od samotných zvukov, ktoré sme prehrávali. Nazývať ich budeme „trialy“.

#### Typy trialov:

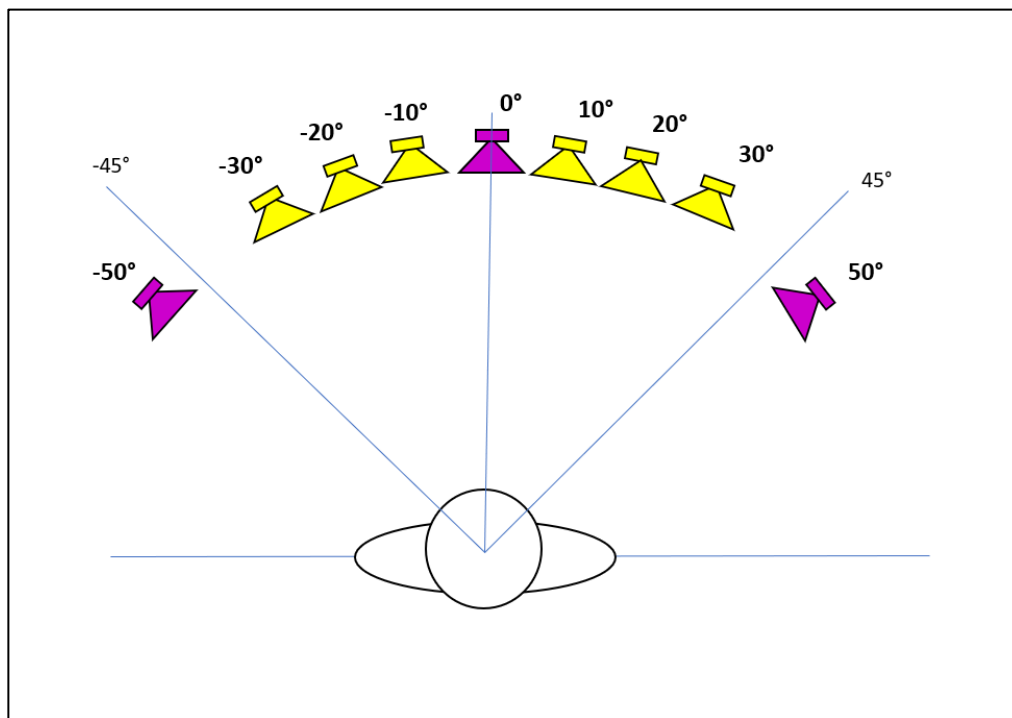
- TARGET
- DISTRAKTOR
- NULOVÝ

TARGET - zvuk, ktorý mal subjekt lokalizovať. Targety boli na pozíciách  $-30^\circ$ ,  $-20^\circ$ ,  $-10^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ .

DISTRAKTOR - rušivý stimul, ktorý mal subjekt iba potvrdiť „Enterom“. Distraktor bol na pozíciách  $-50^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $50^\circ$ .

NULOVÝ - prázdny stimul, ktorý mal subjekt iba potvrdiť „Enterom“. Vtedy sa neprehrával ani jeden distraktor, prehrávané boli iba targety a prázdny stimul (ticho).

Rozmiestnenie si môžeme priblížiť na nasledujúcom obrázku (Obr. 4), avšak, je to len názorne zobrazenie, zvuky sa prehrávajú cez slúchadlá. Zvolili sme mierne odlišné uhly ako boli v predchádzajúcej štúdiu [6], keďže sme pre polohy zo štúdie[6], nemali k dispozícii potrebné BRIR. Mierne sa zmenila aj štruktúra experimentu. V štúdiu[6] bolo v každom sedení 6 kôl – 5 kontextuálnych kôl a baseline. V našom experimente máme v každom sedení 8 kôl – 3 kontextuálne kolá a baseline v echoickom prostredí a 3 kontextuálne kolá a baseline v bezechoickom prostredí. Túto zmenu sme zvolili pretože, ak by sme chceli mať 6 kôl v obidvoch prostredíach, každé sedenie by sa predĺžilo aspoň o 1,5 hod a to by výrazne ovplyvnilo sústredenosť subjektov a mali by sme skreslené výsledky.



**Obr. 4: Schematické znázornenie rozloženia targetov**

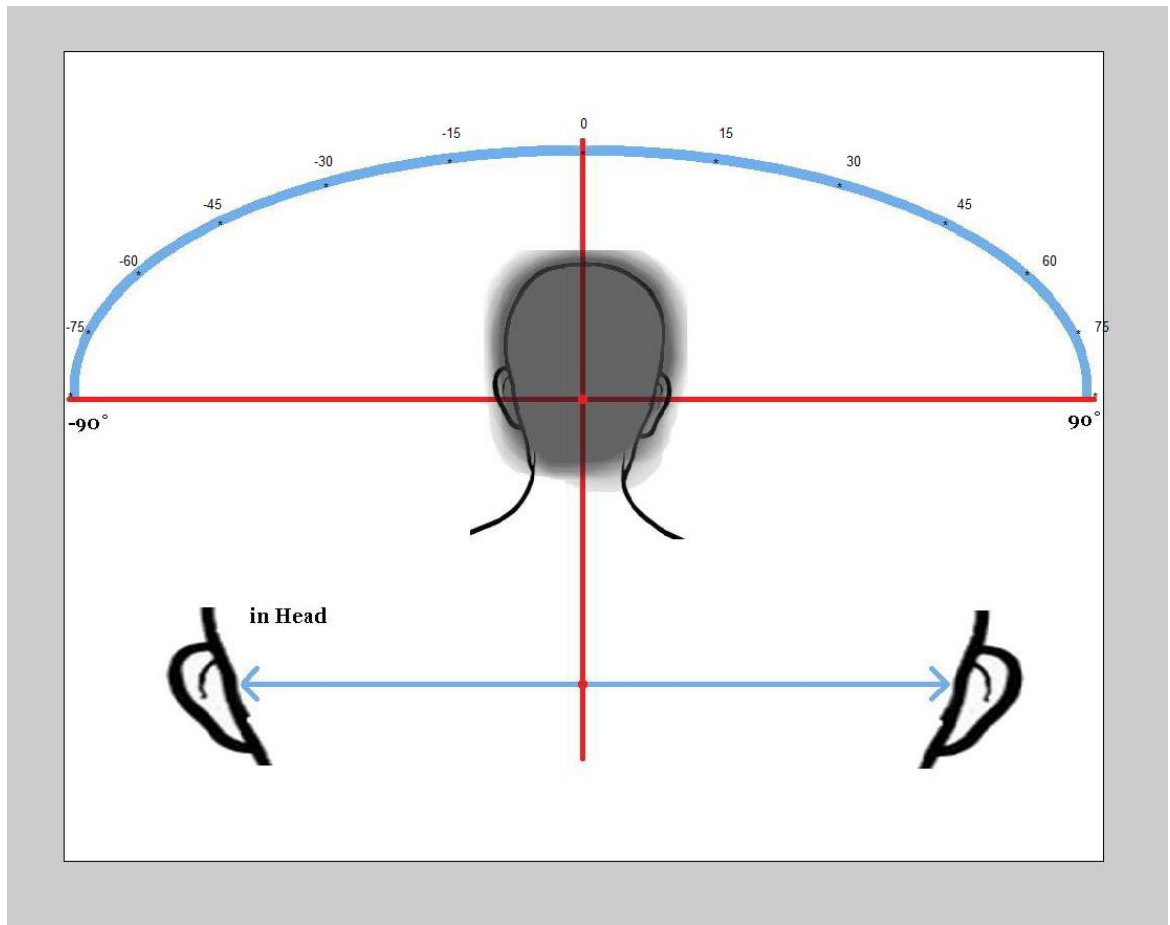
Tieto trialy sme spojili do kôl. V jednom kole je 198 trialov rôzneho typu.

### Typy kôl:

- KONTEXTUÁLNE KOLO
- BASELINE

KONTEXTUÁLNE KOLO - je zmiešané z target a distraktor trialov. Subjekt lokalizuje target stimuly na vyznačenom modrom poloblúku (Obr. 5). Pri prehrávaní distraktora iba odpovedá stlačením klávesu „Enter“. Prvých 12 trialov je prehrávaný iba target stimul - predadaptačná časť. Ďalších 168 trialov (adaptačná časť) je mix distraktor a target stimulo, pričom distraktor v celom kole zaznie z jednej fixnej pozície a pozícia targetu sa určí náhodne v danom prostredí. V tejto časti sa prehrávajú distraktor a target stimuly v pomere 50:50. Posledných 18 trialov je tiež zostavených iba z target trialov - postadaptačná časť.

BASELINE - dané kolo je zmiešané z target trialov a nulových (prázdnych) trialov. Nulový stimul je rovnako dlhý ako distraktor stimul, aby kontextuálne kolá a baseline trvali rovnako dlho. Opäť pozostáva z predadaptačnej časti (12 target trialov), adaptačnej časti (168 trialov) a postadaptačnej (18 target trialov). Rozdiel je v adaptačnej časti, kde sú namiesto distraktorov prehrávané prázdne stimuly, ktoré subjekt nelokalizuje, iba ich potvrdí klávesom „Enter“.



**Obr. 5: Schéma, pomocou ktorej subjekty lokalizovali targety**

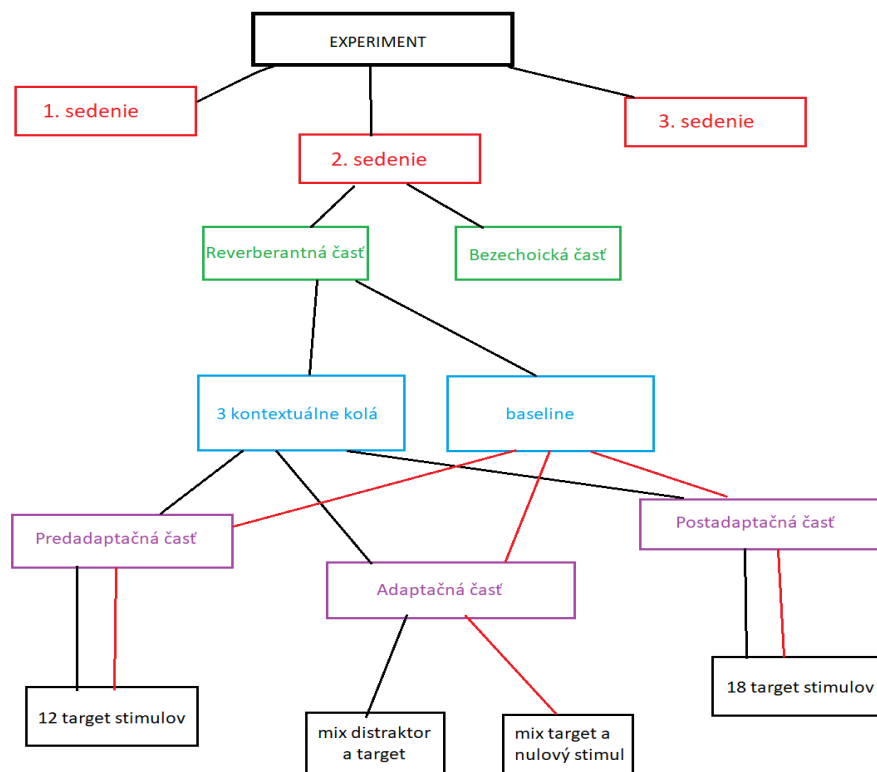
Tieto kolá sme spojili do sedenia. V jednom sedení bolo 8 kôl. Celkový experiment pozostával z 3 sedení, každé sedenie bolo absolvované počas jedného dňa. Pred samotným experimentom subjekty absolvovali tréning, aby sa bližšie zoznámili s experimentom a s odpoveďami na jednotlivé trialov.

Štruktúru experimentu si znázorníme na nasledujúcom obrázku (Obr. 6). Popísané sú iba kolá a trialov v druhom sedení, ale každé z troch sedení experimentu obsahovalo to

isté, tak ako to je vykreslené na obrázku pri sedení 2. Každé sedenie trvalo približne 2 až 2,5 hodiny. Jednotlivé časti prebiehali v samostatných dňoch, celkový experiment teda trval 3 dni.

Sedenie pozostávalo z 8 kôl. Každé kolo trvalo približne 10 – 15 minút a pozostávalo zo 198 trialov. Trial je už samostatný prehrávaný stimul.

Týchto 8 kôl je rozdelených do 4 kôl v echoickom (reverberantnom) a 4 kôl v bezechoickom prostredí. V experimente sme zabezpečili, aby sa bezechoické a reverberantné kolá striedali. Ak prvý subjekt začal experiment v bezechoickom prostredí, druhý začal v reverberantnom. Bolo dôležité mať páry počet subjektov, aby boli dáta, ktoré sme neskôr analyzovali, nazbierané na rovnakom počte subjektov v oboch prostrediach. Na našom experimente sa dobrovoľne podieľalo 6 subjektov. Z toho boli 4 ženy a 2 muži. Priemerný vek bol 49 rokov.



**Obr. 6: Štruktúra experimentu**

---

## Zaznamenávanie odpovedí

Pri odpovedaní subjektov na jednotlivé stimuly, sme zaznamenávali x-ovú a y-ovú súradnicu (Obr. 5). Tieto súradnice nadobúdali hodnoty približne

- pre x-ovú:  $505 \cdot \sin(\text{ang}) + 510$
- pre y-ovú:  $-230 \cdot \cos(\text{ang}) + 330$ , kde "ang" je hodnota uhlu v radiánoch.

Na vypočítanie odchýlok pri analýzach sme použili funkciu "cart2pol". Aby sme zabezpečili správne súradnice uhlu, museli sme odchytiť výnimky, keby subjekt odpovedal pod vodorovnú červenú čiaru, ktorá reprezentuje  $-90$  a  $90^\circ$ . Ak sme zaregistrovali túto možnosť, nastavili sme súradnice pre uhol  $90$  alebo  $-90^\circ$ .

Do tabuľky (Tab. 1) sme zapísali koľko výnimiek sme odchytili pri jednotlivých subjektoch.

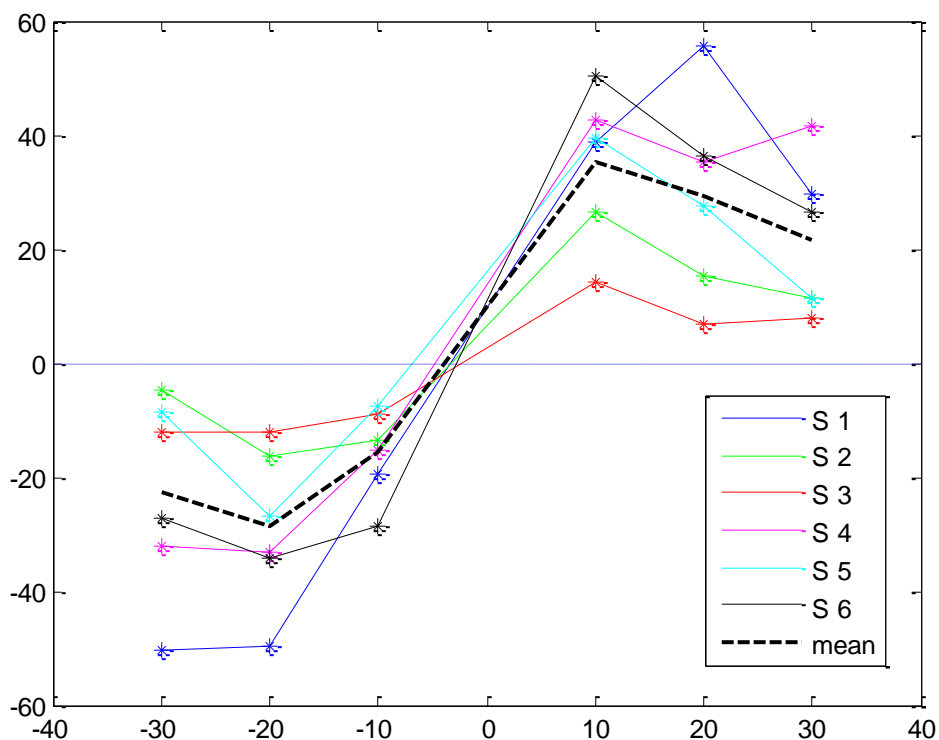
Subjekt	Počet výnimiek
1.	38
2.	0
3.	0
4.	0
5.	5
6.	0

**Tab. 1:** Tabuľka zobrazujúca počet výnimiek pre každý subjekt

---

## 3.2 Tréning

Pred samotným experimentom absolvovali subjekty aj tréning. Cieľom tréningu bolo oboznámenie subjektov s daným experimentom, s formou odpovedania a s priebehom. Tréning pozostával zo 48 trialov v echoickom prostredí. V tomto prostredí boli prehrávané všetky stimuly, to znamená target, distraktor aj nulový stimul. Ďalej bolo prehrávaných 24 trialov v bezechoickom prostredí a 60 trialov v echoickom, kde bol prehrávaný iba target stimul a odpovede boli zaznamenávané. Následne sme spravili analýzu tréningu, aby sme vedeli, či daný subjekt porozumel zadaniu a či dokáže odpovedať primerane. Priemernú chybu pri lokalizácii každého targetu sme zaznamenali pre každý subjekt (Obr. 7). Čierna prerušovaná čiara je priemerná hodnota cez všetky subjekty.



Obr. 7: Graf, ktorý zobrazuje priemernú chybu pre každý subjekt

---

## 4 Výsledky experimentu

Táto časť sa venuje výsledkom experimentu. Zistíme, ako sa budovala kontextuálna plasticita a aký mala vplyv na odpovede subjektov.

Budeme striedať výsledky klasického, echoického, prostredia a bezechoického prostredia. Jednotlivé grafy popíšeme a poukážeme aj na rozdiely v lokalizácií medzi týmito prostrediami.

Určité analýzy sú možné už v tréningovej časti, kde sú prehrávané iba targety bez prítomnosti distraktorov. Počet trialov je 60, výsledky sú spriemerované pre jednotlivé subjekty. Ak by bola odchýlka príliš veľká, je pravdepodobne lepšie nájsť vhodnejšieho kandidáta na experiment.

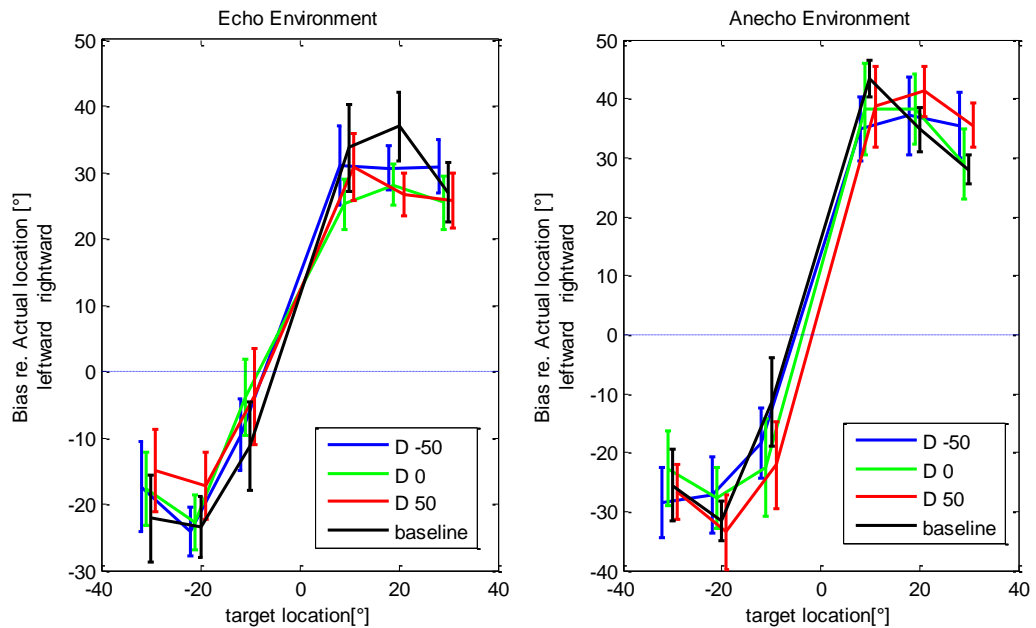
Ako prvé pri analyzovaní výsledkov experimentu sme vypočítali rozdiel medzi odpoveďou subjektov a reálnou pozíciou targetu. Takto získané odchýlky sme zapísali do matice, s ktorou sme následne pracovali.

Za účelom získať viac dát, sme zjednotili dáta pre distraktor z 50 a -50 stupňov. Hodnoty pre distraktor -50 stupňov sme preklopili a odchýlky týchto dvoch distraktorov sa spriemerovali. Pri distraktore na 0 stupňov sme dáta rozdelili na dve časti. Prvá časť, ktorá obsahovala dáta pre pravé targety a druhá časť, ktorá obsahovala dáta pre ľavé targety. Následne sme obe časti preklopili a spojili. Odchýlky sa opäť spriemerovali.

Grafy v ďalšej časti ukazujú priemer cez všetky subjekty a štandardné odchýlky pre jednotlivé údaje.

## 4.1 Odchýlky medzi skutočnou pozíciou targetov a lokalizáciou subjektov

Na prvom grafe (Obr. 8) sme vykreslili chybu pri odpovedaní v predadaptačnej časti spriemerovanú cez všetky subjekty. Hovoríme o chybe a nie odchýlke, pretože v tejto časti ešte nebol prítomný žiaden distraktor.



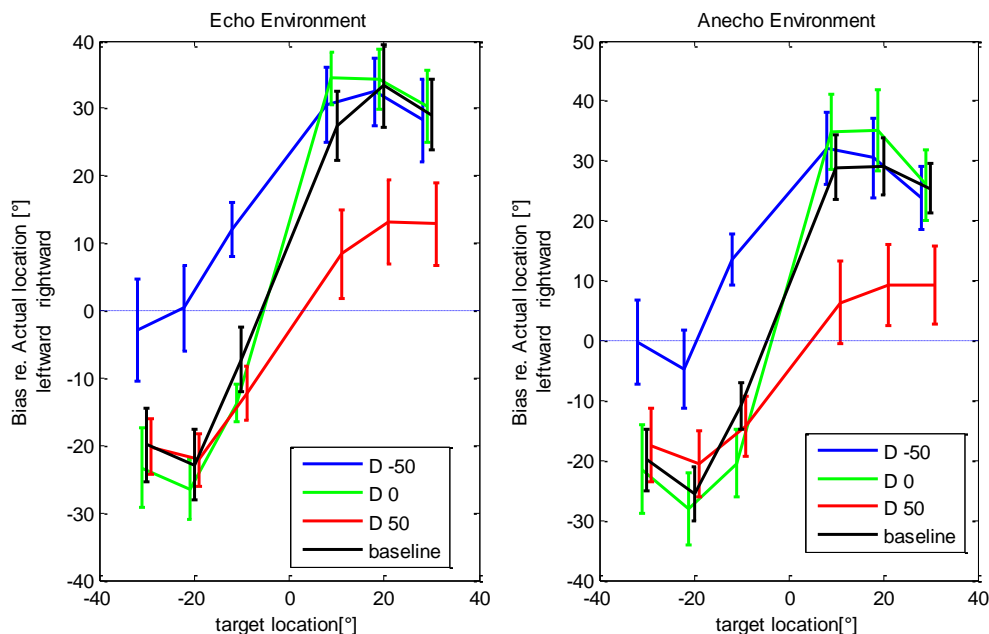
**Obr. 8: Graf znázorňujúci chyby subjektov v predadaptačnej časti**

Graf (Obr.8) znázorňuje chyby subjektov v predadaptačnej časti v echoickom aj v bezechoickom prostredí. Keďže nebol prítomný distraktor, kontextuálna plasticita sa ešte neprejavila.

Pred ďalšími analýzami je potrebné vysvetliť rozdiel medzi „chybou“ a „odchýlkou“, ktoré sa budú používať v nasledujúcich častiach. Ak hovoríme o „chybe“, myslíme chybu medzi odpoveďou subjektov a reálnou pozíciou targetu. Reálnu pozíciu na grafe (Obr.8 – Obr.12) predstavuje modrá vodorovná prerušovaná čiara. Túto chybu spravili subjekty nehl'adiac na prítomnosť distraktora. Ak hovoríme o „odchýlke“, myslíme posun, ktorý nastal v odpovediach za prítomnosti distraktora. Veľkosť posunu berieme vzhľadom na baseline, ktorá je v grafoch (Obr.8 – Obr.12) zobrazená čiernou čiarou.

V ďalšom grafe (Obr. 9) vykreslíme odpovede subjektov v echoickom aj bezechoickom prostredí v adaptačnej časti a budeme pozorovať vplyv kontextuálnej plasticity.

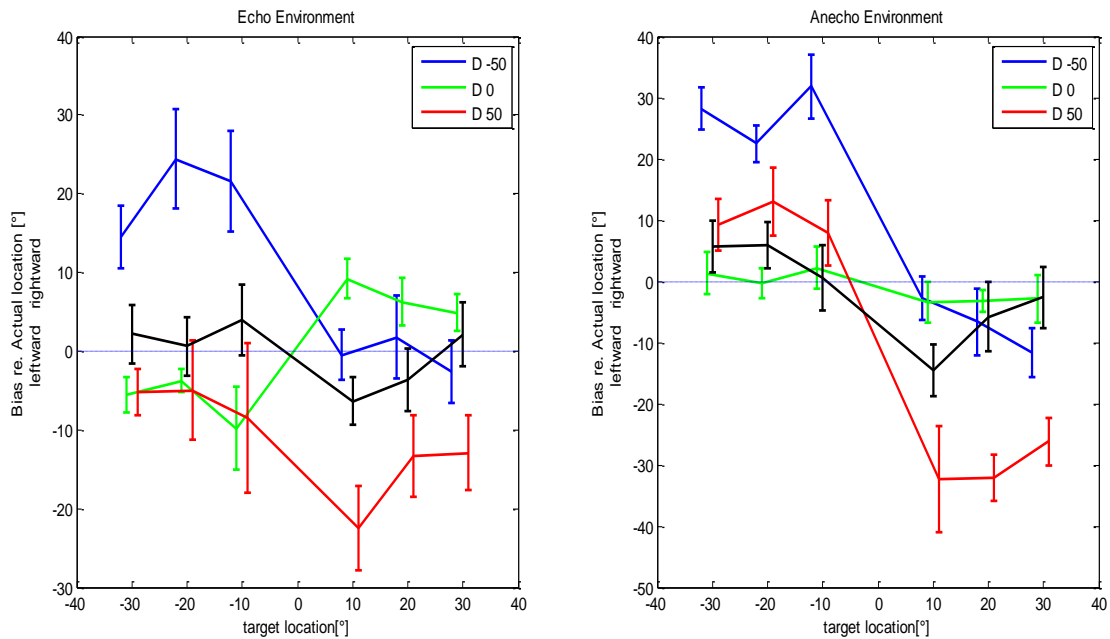




**Obr. 9: Graf znázorňujúci chyby subjektov voči realnej pozícii targetov v adaptačnej časti**

Baseline predstavuje odpovede subjektov bez prítomnosti distraktora. To znamená, že pri lokalizácii ich neovplyvňovala kontextuálna plasticita, no aj napriek tomu subjekty odpovedali s určitou chybou. Pri targetoch na ľavej strane mali tendenciu lokalizovať zvuk o niekoľko stupňov doľava, kde chyba dosahovala 20 stupňov na ľavú stranu. To isté sledujeme aj pri targetoch na pravej strane, kde je chyba odpovedí na pravú stranu niekedy až 30 stupňov. Pri distraktore na 0 stupňov pozorujeme podobné správanie s miernymi odchýlkami spôsobenými vplyvom kontextuálnej plasticity. Pri distraktore na -50 stupňov vidíme, že sa chyba pri lokalizácii ľavých targetov zmenšila približne na 0 stupňov. Z toho môžeme povedať, že kontextuálna plasticita, ktorá vznikla pri danom kole, ovplyvnila lokalizáciu targetov na ľavej strane a spôsobila odchýlku v lokalizácii v hodnote 20 stupňov. Podobné správanie pozorujeme aj pri distraktore na 50 stupňov, kde sa chyba zmenšila na 10 stupňov, čiže kontextuálna plasticita ovplyvnila odpovede a nastala odchýlka vo veľkosti -20 stupňov. Záporná hodnota znamená, že posun nastal smerom doľava.

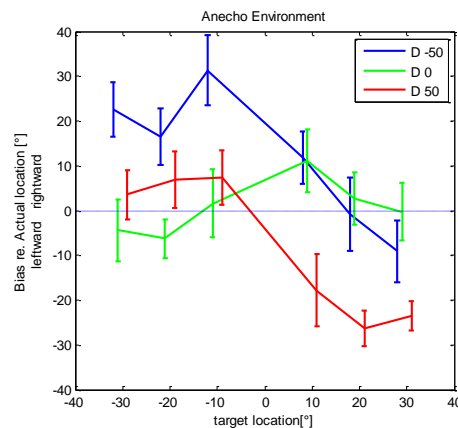
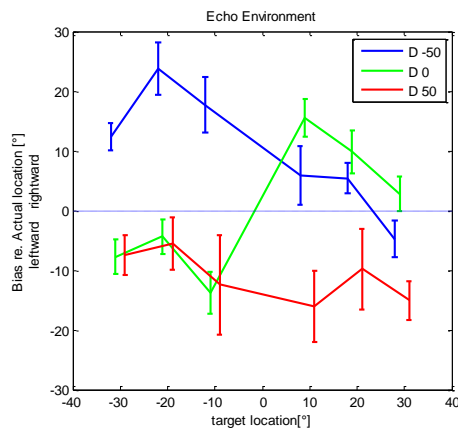
Odchýlky spôsobené kontextuálnou plasticitou si bližšie popíšeme na ďalšom grafe (Obr. 10) a porovnáme veľkosti posunu v echoickom a bezechoickom prostredí. Takisto porovnáme vplyv pri distraktore na strane a pri distraktore v strede.



**Obr. 10: Graf znázorňujúci odchýlky subjektov vplyvom CP**

Graf poukazuje na kontextuálny efekt pre jednotlivé kontextuálne kolá. Dáta zobrazujú rozdiel medzi adaptačnou a predadaptačnou časťou. Jednotlivé krivky zobrazujú aký posun nastal pri lokalizácii targetov počas určitého kontextuálneho kola. Inak povedané, akú odchýlku spôsobila prítomnosť distraktora. Zelená čiara znázorňuje aký posun nastal pri lokalizácii v kontextuálnom kole pre 0 stupňov. V prvej časti grafu pozorujeme echoické prostredie. Targety na ľavej strane lokalizovali s posunom na ľavú stranu, smerom od distraktora. Posun dosahoval veľkosť -10 stupňov. Podobný priebeh bol aj pre targety na pravej strane. Najvýraznejší posun nastal pri targetoch najbližšie pri distraktore. V kontextuálnom kole pre -50 stupňov posun v lokalizácii dosahoval veľkosť až 20 stupňov smerom na pravú stranu pre targety na ľavej strane. Subjekty lokalizovali targety na pravej strane počas tohto kola s malou odchýlkou. Údaje znázornené v druhej časti grafu poukazujú na podobné správanie ako v echoickom prostredí. Pri kontextuálnom kole na 0 stupňov majú subjekty tendenciu odpovedať smerom od distraktora. Opäť je posun v lokalizácii najvýraznejší v blízkosti distraktora. Pri kontextuálnom kole s distraktorom na 50 alebo -50 stupňov je posun a priebeh takmer rovnaký.

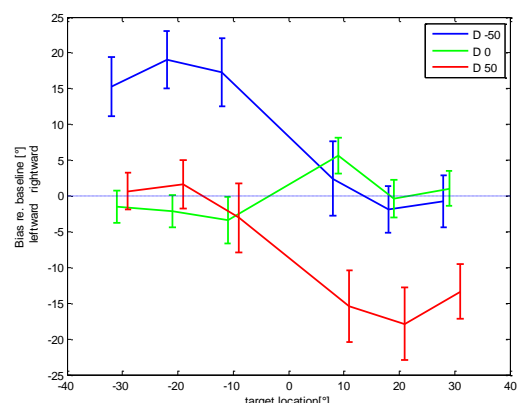
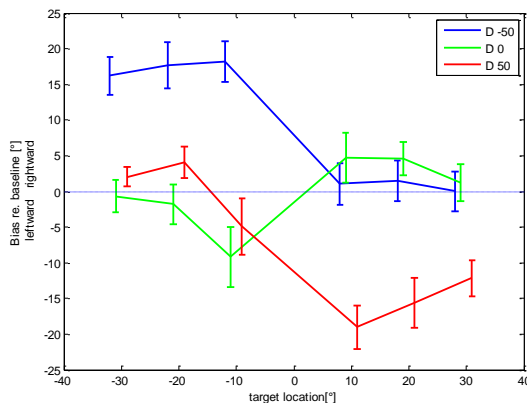
Lepšie si priblížime vplyv kontextuálnej plasticity na nasledujúcich grafoch (Obr. 11) a (Obr. 12). Hodnoty zobrazené na týchto grafoch sme získali z predchádzajúceho grafu (Obr. 10) po odčítaní baseline. Na základe výsledkov vidíme, že CP má silnejší vplyv v echoickom prostredí pri kontextuálnom kole s distraktorom 0 stupňov a v bezechoickom pri kontextuálnom kole s distraktorom na strane.



**Obr. 11** Odchýlky v echoickom prostredí

**Obr. 12:** Odchýlky v bezechoickom prostredí

Na grafoch (Obr.13) a (Obr. 14) zobrazíme odchýlky, ktoré spôsobila kontextuálna plasticita pri kontextuálnych kolách. Porovnávať budeme odpovede subjektov vzhľadom na baseline, ktorú v týchto grafoch reprezentuje prerušovaná vodorovná čiara.



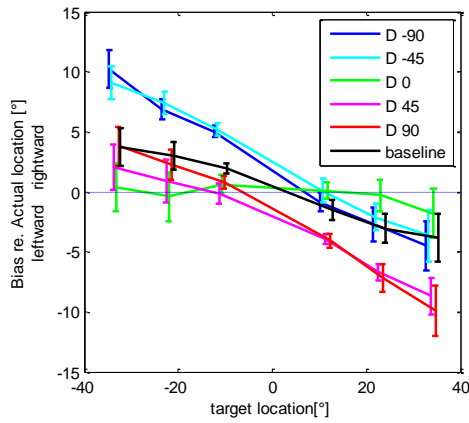
**Obr. 13** Odchýlky vzhľadom na baseline

**Obr. 14:** Odchýlky vzhľadom na baseline

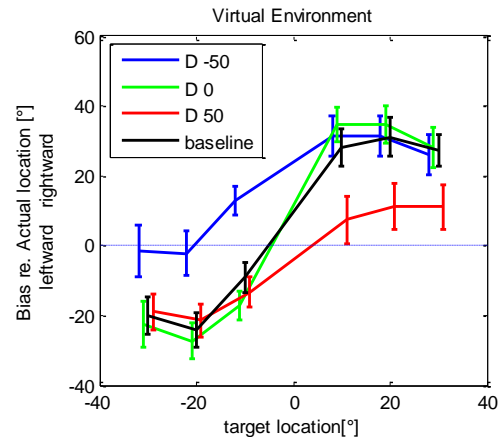
Keďže vidíme, že rozdiely medzi virtuálnymi prostrediami nie sú veľké, v ďalšej časti budeme na porovnanie používať spriemerované dáta cez echoické a bezechoické prostredie ako dáta pre virtuálne prostredie.

## 4.2 Porovnanie virtuálneho a reálneho prostredia

V tejto časti budeme porovnávať reálne prostredie zo štúdie[6] a virtuálne prostredie.

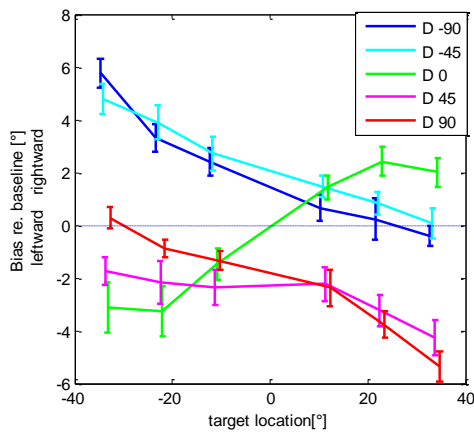


Obr. 15 Chyby v reálnom prostredí

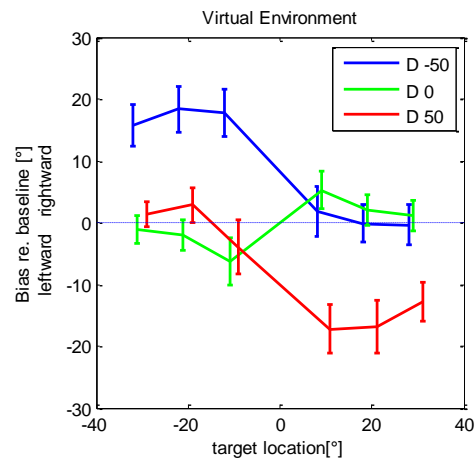


Obr. 16: Chyby vo virtuálnom prostredí

Grafy (Obr. 15) a (Obr. 16) zobrazujú schopnosť subjektov lokalizovať zvuk v reálnom a virtuálnom prostredí. V reálnom prostredí odpovedali subjekty s chybou najviac 10 alebo -10 stupňov. Vo virtuálnom chyba dosahovala až 30 alebo -30 stupňov. Z toho vyplýva, že virtuálne prostredie je nepresnejšie ako reálne.



Obr. 17 Odchýlky v reálnom prostredí



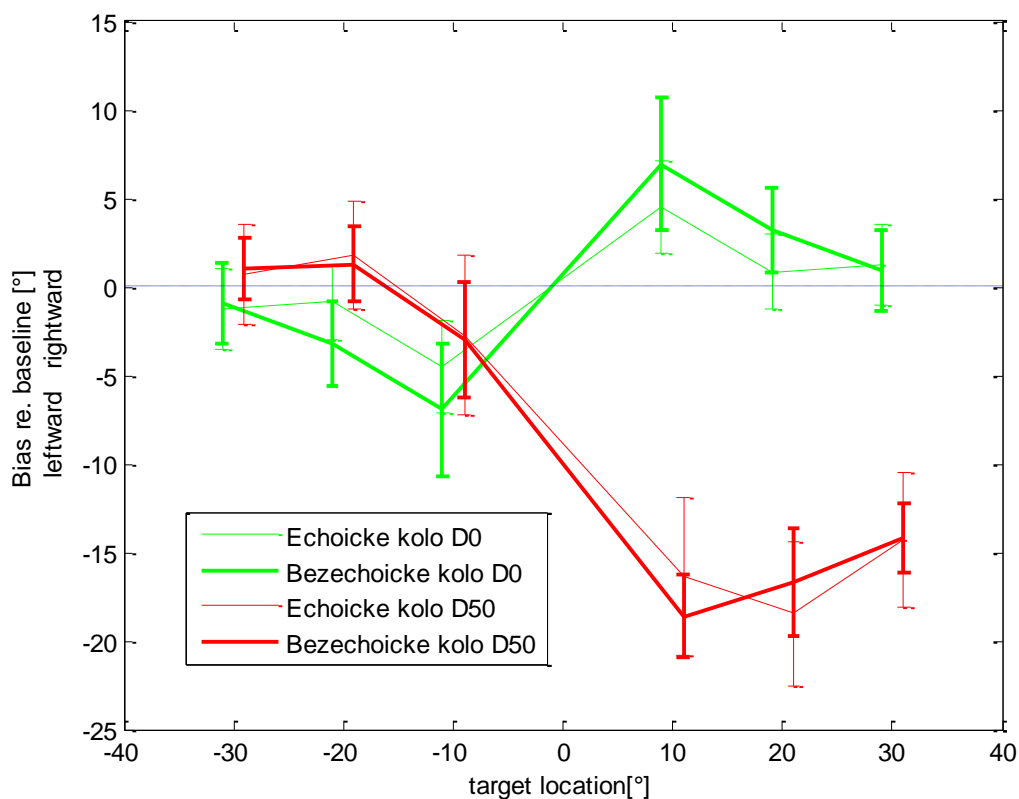
Obr. 18: Odchýlky vo virtuálnom prostredí

Pri porovnávaní vplyvu kontextuálnej plasticity v týchto prostrediach (Obr. 17) a (Obr. 18) vidíme, že v oboch prostrediach bola CP silnejšia pri distraktore zo strany. V reálnom dosahovala odchýlka spôsobená CP najviac 6 stupňov, vo virtuálnom mohla dosiahnuť takmer 20 stupňov. To znamená, že lokalizácia zvuku vo virtuálnom prostredí je viac ovplyvnená CP ako v reálnom prostredí.

### 4.3 Preklopené dáta

Graf (Obr. 19) zobrazuje preklopené dáta. Vďaka preklopeniu dát sme získali dvojnásobné množstvo odpovedí. Aj na väčšej vzorke vidíme, že subjekty majú tendenciu lokalizovať targety na pravej strane s posunom na pravú stranu a presne opačne pre targety na ľavej strane.

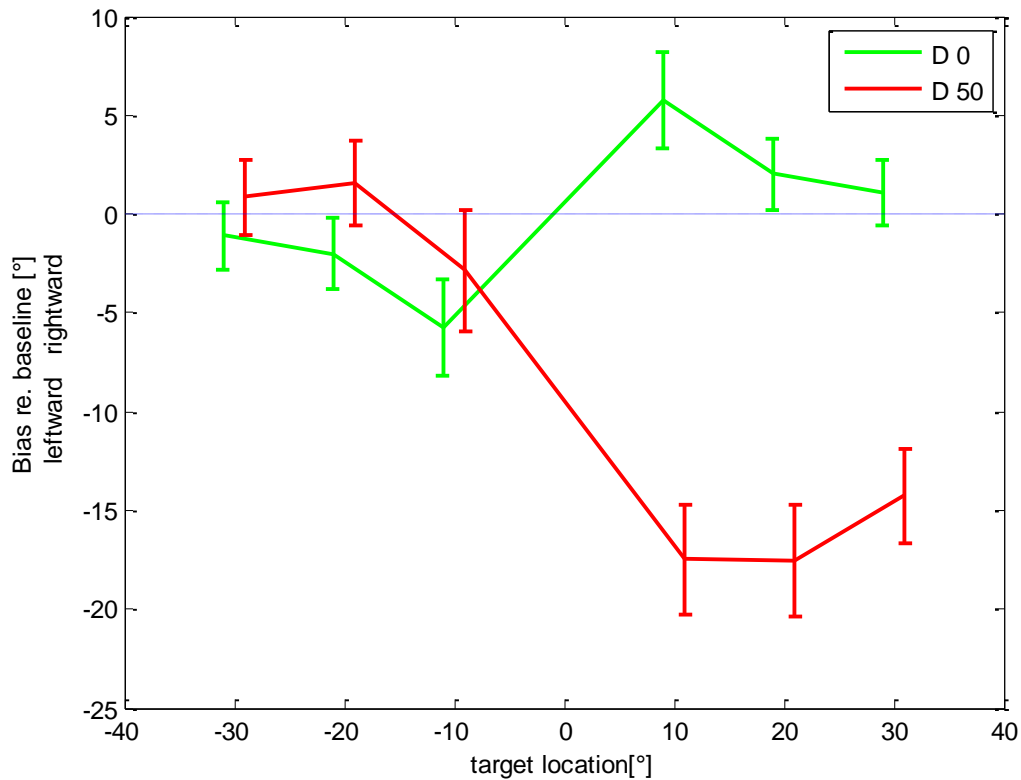
Aby sme vedeli lepšie porovnať echoické a bezechoické prostredie, spojili sme dáta do jedného grafu.



**Obr. 19: Preklopené dáta v oboch prostrediach**

Z grafu vidíme, že pri kontextuálnom kole s distraktorom na strane odpovedali subjekty približne s rovnakou odchýlkou v obidvoch virtuálnych prostrediach. Väčší rozdiel je pri kontextuálnom kole s distraktorom v strede, kde odchýlka pri lokalizovaní najbližších targetoch pri distraktore dosahovala hodnotu približne 7 stupňov v bezechoickom prostredí a približne 4 stupne v echoickom prostredí.

Rozdiely medzi prostrediami sú malé, a preto sme dáta pre echoické a bezechoické prostredie spriemerovali a vykreslili odchýlky celkovo pre virtuálne prostredie (Obr. 20).



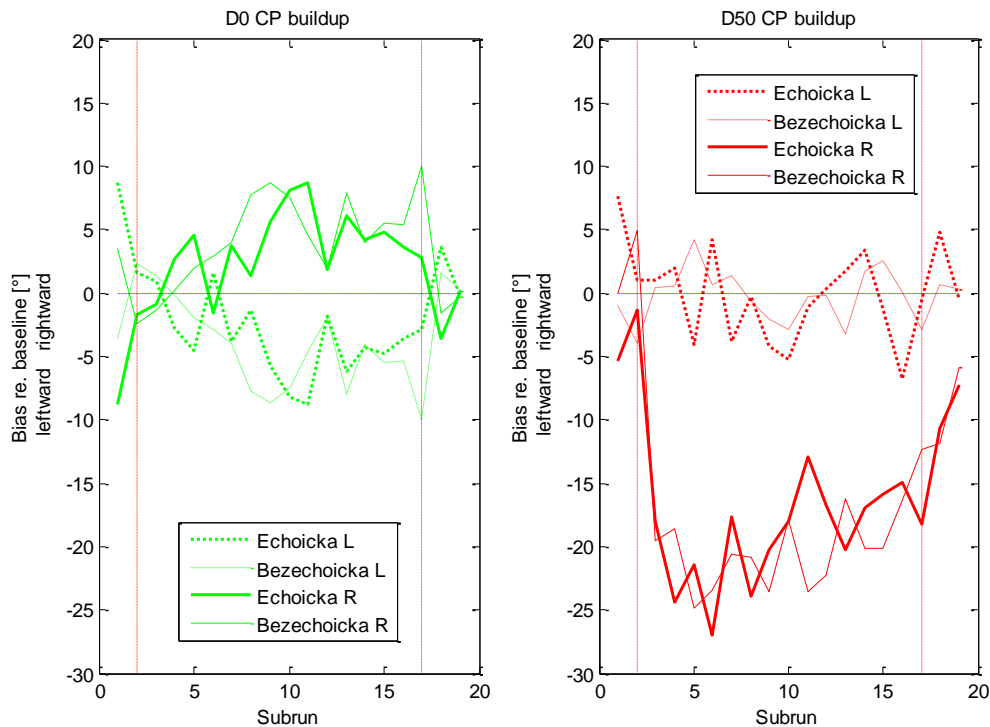
**Obr. 20: Spriemerované dáta pre virtuálne prostredie**

Jedna z hypotéz experimentu je, že kontextuálna plasticita bude silnejšia pre distraktor na strane ako pre distraktor v strede. Distraktor na strane je distraktor na -50 a 50 stupňoch, ktorý predstavuje červená čiara a distraktor v strede je distraktor na 0 stupňoch, ktorý predstavuje zelená čiara.

Ak budeme analyzovať distraktor v strede, môžeme vidieť, že posun dosahoval najviac 5 stupňov pri lokalizácii pravého targetu, ktorý je najbližšie ku distraktoru. Pre ľavú stranu dosahoval posun najviac -5 stupňov pre najbližší ľavý target. Ak sa pozrieme na distraktor na strane, tak pri lokalizovaní targetov bližšie ku distraktoru, dosahoval posun až -16 stupňov. Vidíme, že silnejšia kontextuálna plasticita bola vyvolaná pri distraktore na strane.

## 4.4 Vývin kontextuálnej plasticity

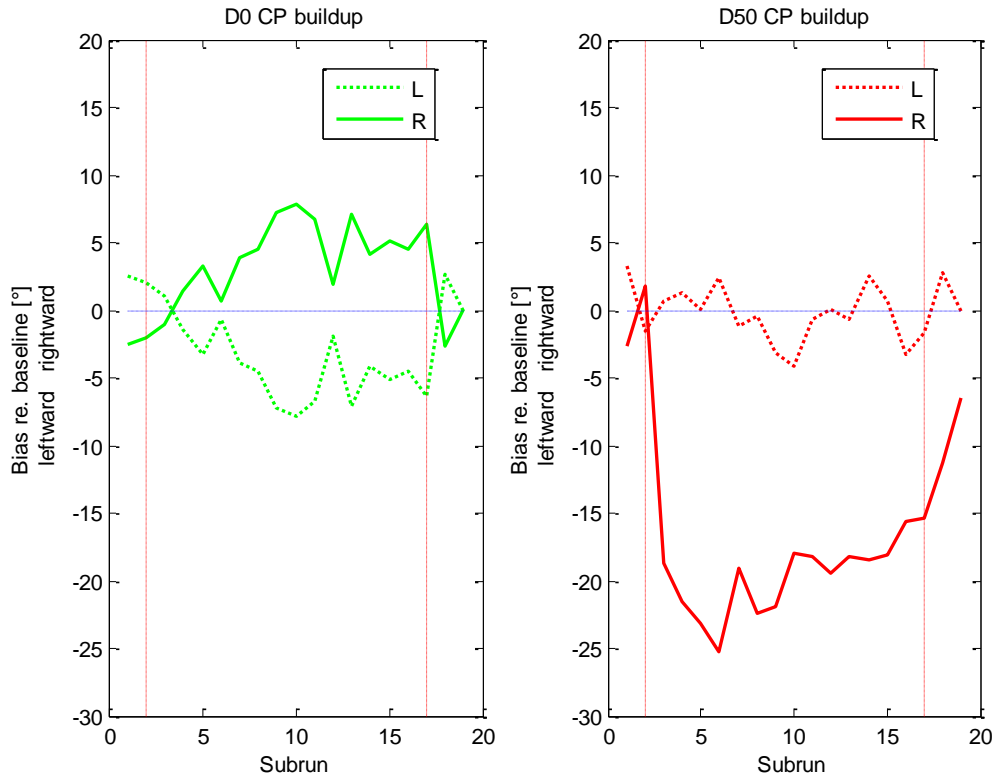
V nasledujúcom grafe (Obr. 21) zobrazíme preklopené dáta pre echoické aj bezechoické prostredie.



Obr. 21: Vývin kontextuálnej plasticity vo virtuálnych prostrediach

Pomocou grafu analyzujeme vývin kontextuálnej plasticity pri rôznych kontextuálnych kolách. „L“ predstavuje posun pri lokalizácii targetov na ľavej strane. Hodnoty sú priemerom odchýlok pre všetky ľavé targety. „R“ predstavuje posun pri lokalizácii targetov na pravej strane. Hodnoty sú priemerom odchýlok pre všetky pravé targety. Čísla „subrun-ov“ na x-ovej súradnici predstavujú číslo výskytu daného targetu. To znamená, že zvuk z každej pozície targetu sa počas kola prehral práve 19krát. Prvé 2 subruny predstavujú predadaptačnú časť, počas ktorej nebol prehrávaný žiaden distraktor a každý target sa prehral práve dvakrát. Od 3. po 16. subrun je adaptačná časť, kde bol prehrávaný distraktor z jednotnej pozície pre dané kontextuálne kolo a postadaptačná časť je tvorená 17. až 19. subrunom, kde bol opäť prehrávaný iba target stimul.

Vidíme, že rozdiel medzi echoickým a bezechoickým prostredím je malý, preto tieto dáta spojíme tým, že zobrazíme ich priemer. Takto získame dáta pre virtuálne prostredie.



**Obr. 22: Spriemerované dáta pre echoické a bezechoické prostredie**

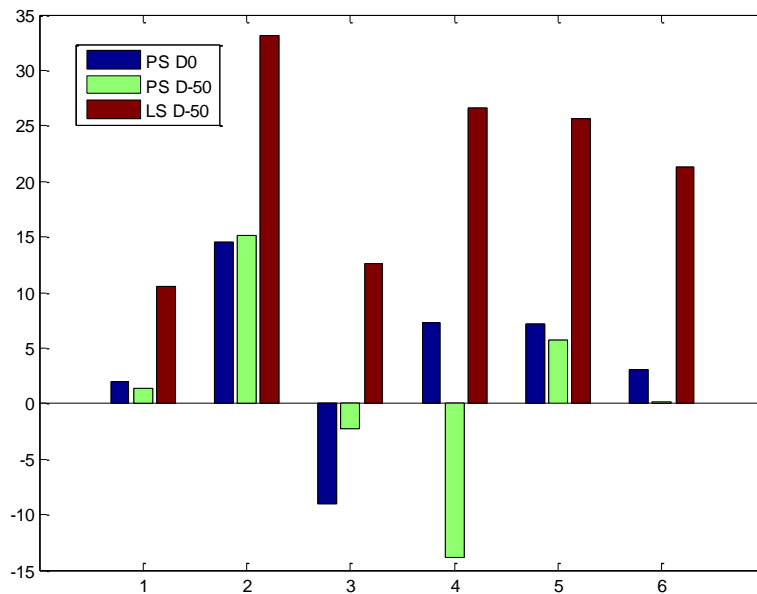
Graf (Obr. 22) znázorňuje odchýlky pri lokalizácii targetov pri kontextuálnom kole s distraktorom 0 a 50 stupňov vo virtuálnom prostredí. V prvej časti grafu vidíme, že distraktor na 0 stupňov ovplyvnil rovnako pravú aj ľavú stranu targetov. Najväčší posun subjekty dosahovali v strede kola. Posun v lokalizácii dosahoval priemerne 5 stupňov pre pravú stranu a priemerne -5 stupňov pre ľavú stranu. V druhej časti grafu, na ktorom sú znázornené odpovede pri distraktore na strane, vidíme, že distraktor najviac ovplyvnil pravú stranu. Keďže ide o preklopené dáta, pod pojmom „pravá strana“ sa myslí strana bližšia ku distraktoru. Pri lokalizovaní targetov na tejto strane dosahoval posun až -25 stupňov. Kontextuálna plasticita rastie už od 2. subrunu a klesať začne po 17. subrunu.



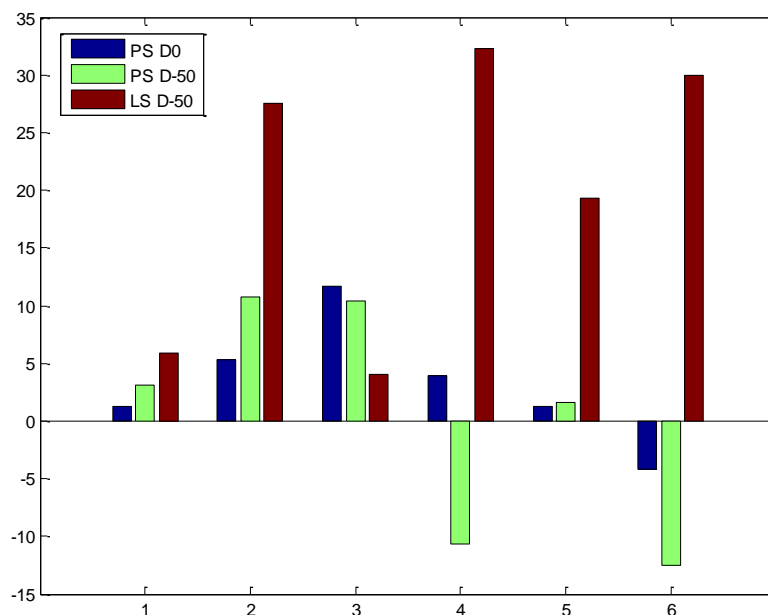
---

## 4.5 Informácie o subjektoch

Analyzovali sme aj odchýlky pre jednotlivé subjekty (Obr. 23) a (Obr. 24). „PS D0“ znázorňuje posun pri lokalizácii targetov na pravej strane v kontextuálnom kole pre  $0^\circ$  distraktor. „PS D-50“ znázorňuje odchýlku pri lokalizácii targetov na pravej strane a „LS D-50“ pre targety na ľavej strane pri distraktore na  $-50$  stupňov.



Obr. 23: Odchýlky jednotlivých subjektov v echoickom prostredí



Obr. 24: Odchýlky jednotlivých subjektov v bezechoickom prostredí

---

## Záver

Pripomeňme si hypotézy experimentu:

1. Kontextuálna plasticita bude pozorovaná aj vo virtuálnom prostredí

Na základe údajov zobrazených na grafoch (Obr. 9) a (Obr. 18), vieme povedať, že kontextuálna plasticita vznikla pri jednotlivých kontextuálnych kolách a ovplyvnila odpovede subjektov aj vo virtuálnom prostredí. Ak baseline predstavuje odpovede subjektov, keď nie je prítomný distraktor, tak vidíme, že v kontextuálnych kolách nastavujú určité odchýlky vzhľadom na baseline. Pri grafoch (Obr. 15) a (Obr. 16) je možné pozorovať, že lokalizovanie vo virtuálnom prostredí je nepresnejšie, no aj v tomto prostredí ho ovplyvňuje kontextuálna plasticita.

2. Kontextuálna plasticita bude silnejšia v bežeckom prostredí

V časti „Výsledky experimentu“ sme porovnávali echoické a bežecké virtuálne prostredie. Grafy (Obr. 10) a (Obr. 19) ukazujú, že priebeh a odchýlky sú v oboch prostrediach približne rovnaké. Aj keď je možné, že pri určitých targetoch boli hodnoty odchýlok mierne odlišné, tento rozdiel nie je signifikantný. Táto hypotéza sa teda nepotvrdila.

3. Kontextuálna plasticita bude silnejšia pre distraktor na strane než pre distraktor v strede

Pri prehrávaní distraktora zo strany ovplyvnila kontextuálna plasticita najviac targety na strane, ktorá je bližšia pri distraktore. Pri distraktore na 0 stupňov ovplyvnila rovnako pravú aj ľavú stranu. Porovnanie týchto dvoch typov distraktorov je viditeľné na grafe (Obr. 22). Kým kontextuálna plasticita pri kontextuálnom kole s distraktorom v strede spôsobila posun v odpovediach o 10 a -10 stupňov, pri kontextuálnom kole s distraktorom na strane spôsobila posun až do veľkosti -25 stupňov.

Tieto výsledky nám umožňujú lepšie porozumieť adaptačným procesom v ľudskom sluchovom systéme a sú využiteľné vo viacerých sférach. Napr. pri vývoji virtuálnych sluchových prostredí, ktoré budú slúžiť vývojárom na predikciu, keď v závislosti na predchádzajúcej stimulácii budú používatelia chybné určovať smer, z ktorého počujú prichádzajúce zvuky.

---

## Zoznam použitej literatúry

1. MOORE B.C.J. 2003. An Introduction to the Psychology of Hearing, Elsevier Science, 2003. 413 s. ISBN 0-12-505628-1
2. PANGRÁC B. 2009. Spracovanie ILD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní: diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009.
3. TARCSIOVÁ D. 2008. Pedagogika sluchovo postihnutých. Bratislava: MABAG. 2008. Dostupné na internete: [https://www.fedu.uniba.sk/uploads/media/PSP\\_vybrane\\_kapitoly.pdf](https://www.fedu.uniba.sk/uploads/media/PSP_vybrane_kapitoly.pdf)
4. KORYTNIAK P. 2009. Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní: diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009.
5. FRANCIS G. Sensory and perceptual processes: prednášky ku predmetu. 2006. Dostupné na internete: <http://www2.psych.purdue.edu/~gfrancis/Classes/PSY310/>
6. PIKOVÁ V. 2018. Mechanizmy kontextuálnej plasticity v lokalizácii zvukov: bakalárska práca Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, 2018.
7. HOFMAN P. M. 1998. Dostupné na internete: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/HRTEF.svg>
8. KOPCO, N. - BEST, V. - SHINN-CUNNINGHAM, B. G. 2007. Sound localization with a preceding distractor, J. Acoust. Soc. Am. 121.
9. GROTHE B. et al. 2010. Mechanisms of Sound Localization in Mammals. Psychological Reviews, 2010. Dostupné na internete: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00026.2009>
10. ANDREJKOVÁ, G. - KOPČO, N. 2019. Modeling the temporal profile of contextual plasticity. (Poster) Košice: Cognitive neuroscience of auditory and cross-modal perception. Dostupné na internete: [Abstract](#), [Poster](#)
11. KOPČO, N. Introduction to neuroscience – Hearing: prednášky ku predmetu. 2019. Dostupné na internete: <https://ics.upjs.sk/~kopco/UPJSONLY/unv/unvt10sluch.pdf>

---

## **Prílohy**

Príloha A: CD médium – bakalárska práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe.

Príloha B: Používateľská príručka