

**UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH**  
**PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA**

**MECHANIZMY KONTEXTUÁLNEJ PLASTICITY**  
**V LOKALIZÁCII ZVUKOV**

**2018**

**Veronika PIKOVÁ**

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH  
PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

**MECHANIZMY KONTEXTUÁLNEJ PLASTICITY  
V LOKALIZÁCII ZVUKOV**

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program:

Aplikovaná informatika

Pracovisko (katedra/ústav):

ÚINF – Ústav informatiky

Vedúci bakalárskej práce:

doc. Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant bakalárskej práce:

Ing. Beáta Tomoriová, PhD.

Košice 2018

**Veronika PIKOVÁ**



Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach  
Prírodovedecká fakulta

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Veronika Piková  
**Študijný program:** Aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** 9.2.9. aplikovaná informatika  
**Typ záverečnej práce:** Bakalárska práca  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský  
**Sekundárny jazyk:** anglický

**Názov:** Mechanizmy kontextuálnej plasticity v lokalizácii zvukov

**Názov EN:** Contextual plasticity mechanisms in sound localization

**Cieľ:**

- Vypracovať prehľad doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity
- Pripraviť experimentálny setup
- 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.

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

**Konzultant:** Ing. Beáta Tomoriová, PhD.

**Ústav :** ÚINF - Ústav informatiky

**Riaditeľ ústavu:** prof. RNDr. Viliam Geffert, DrSc.

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

**Dátum schválenia:** 07.05.2018

## Podakovanie

Týmto by som sa chcela poďakovať vedúcemu mojej práce, doc. Ing. Norbertovi Kopčovi PhD. a konzultantke Ing. Beáte Tomoriovej, PhD. za rady a odbornú pomoc pri príprave experimentu a vypracovaní záverečnej práce.

### **Abstrakt v SJ**

Kontextuálna plasticita je špeciálna forma adaptácie v sluchovej lokalizácii. V centrálnej nervovej sústave dochádza k zmenám, ktoré sa navonok prejavujú ako odchýlky vo vnímaní polohy prezentovaného stimulu. V experimente, ktorý je súčasťou tejto bakalárskej práce, sme skúmali, do akej miery efekt kontextuálnej plasticity závisí od distribúcie stimulov. Merania ukázali, že nerovnomerná distribúcia stimulov spôsobuje vznik posunov v lokalizácii cieľového zvuku smerom od rušivého stimulu, ktorý bol striedavo zakomponovaný medzi cieľové stimuly. Veľkosť posunov závisela od azimutu, odkiaľ bol rušivý stimul prezentovaný.

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

### **Abstrakt v AJ**

Contextual plasticity is a special form of adaptation in auditory localization. There are certain changes in central nervous system, which show up as shifts in perception of presented stimuli. In the experiment, which is the part of the bachelor's thesis, we examined how the effect of contextual plasticity depends on stimuli distribution. Measurements showed that uneven distribution of stimuli causes shifts in localization of target stimuli away from a distractor, which was interleaved among the target stimuli. The magnitude of the shifts depended on the azimuth of the distractor.

**Key words:** spatial auditory perception, contextual plasticity

---

## **Obsah**

<b>Zoznam ilustrácií .....</b>	<b>7</b>
<b>Zoznam skratiek a značiek.....</b>	<b>8</b>
<b>Slovník termínov .....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Ciele .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Priestorový sluch a lokalizačné experimenty.....</b>	<b>12</b>
2.1 Priestorový sluch.....	12
2.2 Sluchové lokalizačné experimenty .....	12
<b>3 Kontextuálna plasticita .....</b>	<b>14</b>
3.1 Východiskové experimenty .....	14
3.2 Hypotézy .....	15
3.2.1 Zmena distribúcie stimulov prostredníctvom distraktora .....	16
3.2.2 Mechanizmus podobný precedence effect buildupu .....	16
<b>4 Návrh riešenia.....</b>	<b>17</b>
4.1.1 Subjekty .....	17
4.1.2 Prostredie .....	17
4.1.3 Stimuly a experimentálna procedúra .....	19
4.1.4 Tréning .....	21
4.2 Metódy prezentácie a snímania odpovedí.....	21
4.2.1 Klávesnicové odpovedanie .....	21
4.2.2 Použitie projektora a premietacieho pásu .....	22
4.2.3 Snímanie polohy hlavy pomocou Polhemus trackera .....	23
<b>5 Analýza výsledkov .....</b>	<b>25</b>
5.1 Spracovanie dát.....	25
5.2 Analýza odchýlky voči pozícii targetu .....	26
5.3 Analýza kontextuálnej odchýlky voči baseline.....	27
5.4 Časový priebeh CP.....	29
5.1 Zhrnutie výsledkov a diskusia .....	30
<b>Záver .....</b>	<b>32</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>33</b>
<b>Prílohy.....</b>	<b>35</b>

---

## Zoznam ilustrácií

Obr. 1: Schéma experimentálneho setupu prevzatá zo štúdie [4].....	14
Obr. 2: Schéma experimentálneho set-upu a stimulov prevzatá zo štúdie [2].....	15
Obr. 3: Nákres setupu v experimentálnej miestnosti, žltá - target, fialová – distraktor .	18
Obr. 4: Fotografia setupu v experimentálnej miestnosti.....	18
Obr. 5: Štruktúra experimentu, T target, D distraktor, N nulový stimul .....	20
Obr. 6: Detail pásu s premietnutými možnosťami odpovedí.....	22
Obr. 7: Polhemus s čelenkou .....	24
Obr. 8: Odchýlka voči aktuálnej pozícii targetu ako funkcia pozície targetu.....	26
Obr. 9: Posuny od baseline ako funkcia polohy targetu .....	27
Obr. 10: Posuny od baseline ako funkcia polohy targetu – preklopené dáta.....	28
Obr. 11: Časový priebeh CP (kontextuálne posuny ako funkcia subrunu) pre rôzne pozície distraktora (panely), separátne pre target pozície na ľavej strane (L) a na pravej strane (R). .....	29

---

## Zoznam skratiek a značiek

<b>CP</b>	<b>C</b> ontextual <b>P</b> lasticity, kontextuálna plasticita
<b>SOA</b>	<b>S</b> timulus <b>O</b> nset <b>A</b> synchrony, oneskorenie cieľového stimulu voči podnetu
<b>ILD</b>	<b>I</b> nteraural <b>L</b> evel <b>D</b> ifference, rozdiel v intenzite, akou je zvuk vnímaný pravým a ľavým uchom spôsobený akustickým tieňom hlavy
<b>ITD</b>	<b>I</b> nteraural <b>T</b> ime <b>D</b> ifference, rozdiel v čase, v ktorom dôjde zvuk do pravého a ľavého ucha spôsobený rozdielnou vzdialenosťou uší od zdroja zvuku závislej od azimutu natočenia hlavy
<b>ms</b>	milisekunda
<b>ISI</b>	<b>I</b> nter-stimulus <b>i</b> nterval, časový interval medzi 2 stimulmi



---

## Slovník termínov

**Binaurálny** znamená vzťahujúci sa na dve uši.

**Azimut** je horizontálna odchýlka v stupňoch od istého referenčného bodu.

**Elevácia** je vertikálna odchýlka v stupňoch od istého referenčného bodu.

**Trial** je jedno meranie.

**Distraktor** reprezentuje rušivý zvuk.

**Target** je cieľový zvuk.

**Bias** je posun v lokalizácii.

**Laterálny** znamená umiestnený na strane alebo smerujúci do strany.

**Frontálny** znamená umiestnený vpredu alebo smerujúci dopredu.

**Anechoický** znamená bez ozveny.

---

## Úvod

Vnímanie polohy zdroja zvuku je pre nás ľudí dôležité z viacerých hľadísk. Zvukom sa ku nám dostávajú informácie o okolitých predmetoch a dejoch. Niektoré majú iba oznamovací charakter a iné nás môžu varovať pred hroziacim nebezpečenstvom [8]. Priestorová lokalizácia zvuku je zložitý mechanizmus, kde dochádza k spracovaniu na viacerých stupňoch sluchovej dráhy. Zvuk sa mení na ceste od zdroja až po bubienok a práve to nám pomáha identifikovať vzdialenosť, azimut a eleváciu odkiaľ sme zvuk počuli. Vďaka tomu, že máme dve uši a do každého dôjde zvuková vlna trochu rozdielne, vieme tento zdroj zvuku lokalizovať a v prostrediach s viacerými zdrojmi zvuku separovať jeden zvuk od ostatných [1].

Dnešné sluchové protetické zariadenia (napr. načúvacie strojčeky, kochleárne implantáty) neumožňujú ľuďom so sluchovým postihnutím sústrediť sa na to, čo vraví jeden z vybraných hovoriacich v dave rečníkov. Tento nedostatok strojčekov v poskytovaní priestorového sluchového vnemu môžu vyriešiť nové poznatky v danej oblasti. Je potrebné zistiť, ako funguje priestorový sluch u zdravých ľudí, aby sa priestorový vnem dal čo najpresnejšie sprostredkovať cez protetické zariadenia aj sluchovo postihnutým. Výsledok bakalárskej práce môže rozšíriť poznatky o adaptačných mechanizmoch priestorového sluchu. Bakalárska práca sa zaoberá špecifickou formou adaptácie v priestorovom sluchu, tzv. „kontextuálnou plasticitou“. Táto adaptácia bola prvýkrát opísaná v štúdiu [4] a neskôr charakterizovaná v ďalších štúdiách [2], [11], [12], [13].

V prvej kapitole práce sú vymenované a stručne charakterizované jej ciele, druhá kapitola popisuje teoretické poznatky o priestorovom sluchu a niektorých metódach používaných pri jeho výskume. Tretia kapitola je zameraná na kontextuálnu plasticitu a experimenty, v ktorých bola skúmaná a pozorovaná. Obsahuje aj hypotézy súvisiace s predmetom výskumu. Štvrtá kapitola popisuje experimentálnu procedúru, ktorú sme naprogramovali pre zber dát na výskum CP, ako aj úvodnú tréningovú procedúru pripravujúcu účastníka na experiment. Posledná kapitola obsahuje popis postupov, akými sa dáta spracovávali, samotné výsledky a ich diskusiu.

---

# 1 Ciele

Hlavným cieľom bakalárskej práce je priblížiť mechanizmy adaptácie priestorovej lokalizácie zvuku. Špecifickou úlohou je zhodnotiť väzbu medzi distribúciou stimulov a konkrétnou formou adaptácie v priestorovom sluchu, tzv. kontextuálnou plasticitou.

Čiastkové úlohy:

1. vypracovať prehľad doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity
2. pripraviť experimentálny set-up
3. na základe poskytnutých MATLAB skriptov naprogramovať experimentálnu procedúru na zber dát
4. nazbierať experimentálne dáta na nových subjektoch
5. analyzovať a vyhodnotiť dáta

Na programovanie experimentálnej procedúry a analýzu dát bolo použité prostredie MATLAB.

Vypracovanie experimentálnej procedúry čiastočne nadväzuje na skripty použité v diplomovej práci Ivana Šurina [16].

---

## 2 Priestorový sluch a lokalizačné experimenty

### 2.1 Priestorový sluch

Sluch je v porovnaní so zrakom horší približne o dva rády v priestorom rozlišovaní [10]. Výhodou v porovnaní so zrakom je, že pokrýva celý priestor, kým zrak nám dáva informácie iba o tom, čo sa nachádza v našom zornom poli. Táto vlastnosť môže byť užitočná napr. ako výstražný mechanizmus [8].

Medzi základné binaurálne parametre, ktoré používa náš sluchový systém na určenie polohy zdroja zvuku, patria [1]:

1. Interaurálne časové rozdiely – predstavujú rozdiel medzi časom, kedy zvuk dorazí k pravému uchu a kedy k ľavému uchu
2. Interaurálne rozdiely v intenzite – je to rozdiel medzi úrovňou hlasitosti, s akou zvuk dorazí k pravému a k ľavému uchu

### 2.2 Sluchové lokalizačné experimenty

Hlavnou úlohou subjektu v sluchových lokalizačných experimentoch je lokalizácia prezentovaného zvuku. Vyhodnotenie spočíva napr. v určení rozdielu medzi pozíciou, odkiaľ bol stimul skutočne odprezentovaný a medzi odpoveďou, ktorú zadal subjekt.

V experimentoch na sluchovú lokalizáciu sa používa viac druhov metód odpovedania a snímania odpovede [11]:

Z metód, ktoré slúžia na odpovedanie, to sú:

- natočenie hlavy
- ukazovanie ukazovátkom
- odpovedanie pomocou klávesnice

Pri prvých dvoch uvedených spôsoboch odpovedania môže byť pozícia hlavy/ukazovátka snímaná rôznymi spôsobmi, napr.:

- snímanie kamerovým systémom [11]
- snímanie elektromagnetickým sledovačom polohy [4]

---

Vizuálna informácia môže ovplyvniť vnímanú polohu zdroja zvuku. Špeciálnym prípadom je bruchomluvecký efekt [9], ktorý spočíva v tom, že zvuk vnímame prichádzať z pozície súbežne prezentovaného vizuálneho stimulu a nie z miesta, odkiaľ je skutočne prezentovaný.

V závislosti od spôsobu odpovede môže byť interakcia vizuálneho vnemu v sluchových lokalizačných experimentoch nasledovná:

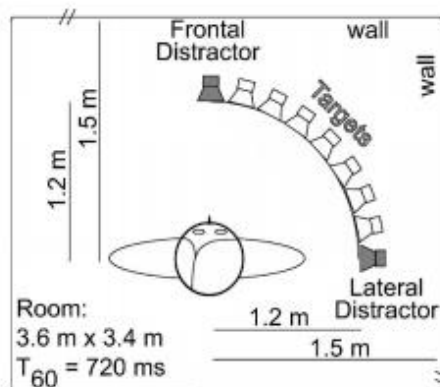
- subjekt má oči otvorené
- subjekt má zatvorené oči

### 3 Kontextuálna plasticita

Kontextuálna plasticita (CP) je forma adaptácie v priestorovom sluchovom vnímaní vyvolaná pôsobením predchádzajúcich stimulov. Kontextuálna plasticita bola prvýkrát opísaná v štúdiu [4], kde mal subjekt lokalizovať cieľový stimul, ktorý bol predchádzaný distraktorom prichádzajúcim zo známej polohy. CP sa prejavila ako posuny v lokalizácii cieľového zvuku po tom, ako sa medzi cieľový zvuk začal vmiešavať distraktor.

#### 3.1 Východiskové experimenty

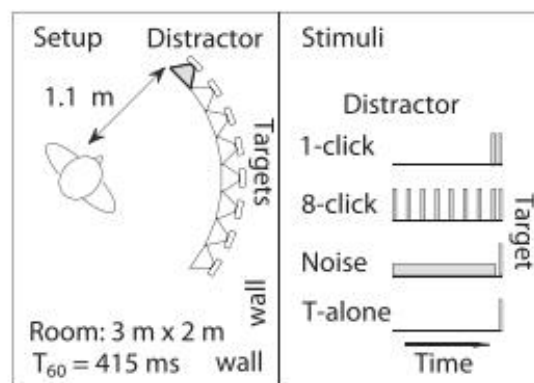
Experiment[4] skúmal otázku, ako môže stimul – distraktor, prichádzajúci zo známej polohy ovplyvniť lokalizáciu cieľového zvuku znejúceho po distraktore. Experiment prebiehal v triede aj v anechoickej komore. Poslucháči lokalizovali cieľový zvuk (2ms šum pripomínajúci kliknutie) predchádzaný distraktorom (identickým klikom) prichádzajúcim z polohy nemennej v rámci kola, ktoré bolo tvorené viacerými trialmi. Distraktor znel buď z frontálnej polohy alebo laterálnej v rámci kola (experimentálny setup je na Obr. 1). SOA medzi distraktorom a cieľovým klikom v distraktorovom triali bolo v rozmedzí 25-400ms. Kontrolné trialy prezentovali jedine cieľový klik. Prítomnosť distraktora spôsobila, že odpovede na cieľový klik boli odchylené smerom od distraktora. Táto odchýlka bola pozorovaná aj v kontrolných trialoch. Odchýlka sa začala vytvárať stále na začiatku distraktorových kôl, a jej vybudovanie trvalo niekoľko minút. Príčina vyvolania efektu CP však stále nebola jasná.



Obr. 1: Schéma experimentálneho setupu prevzatá zo štúdie [4]

V štúdií [11] bol efekt CP hlbšie skúmaný v dvoch experimentoch. Set-up vychádzal z predošlej štúdie [4]. Výsledky prvého experimentu ukázali, že kontextuálne odchýlky sa nevytratia ani po zmene metódy odpovedania. Interakcia vizuálneho vnemu ani vylúčenie spôsobu odpovedania pomocou ukazovátka nevedli k eliminácii CP efektu. Druhý experiment ukázal, že prevrátenie poradia distraktor-cieľový stimul tiež nesúvisí s vyvolaním CP.

Časový priebeh CP efektu bol analyzovaný v štúdií [2], kde boli použité (okrem iných) aj rovnaké stimuly ako v prvej štúdií [4] (Obr. 2). V prvom experimente sa manipulovalo s ISI a frekvenciou prezentácie kontextu. Ukázalo sa, že so stúpajúcou frekvenciou prezentácie rastie aj veľkosť posunov, vplyv ISI však bol zanedbateľný. V druhej časti štúdie sa distraktor stimul - jednoduchý klik - nahradil sériou 8 klikov alebo šumom s energiou a trvaním rovnakým ako 8 klik. 8 klik spôsobil väčšie posuny ako jednoduchý klik a šum vyvolal len veľmi malé posuny. To naznačuje, že perceptuálna podobnosť stimulov môže mať vplyv na vybudovanie CP.



Obr. 2: Schéma experimentálneho set-upu a stimulov prevzatá zo štúdie [2]

### 3.2 Hypotézy

Predošlé štúdie viedli k dvom hlavným hypotézam [2] ohľadom kontextuálnej plasticity:

1. Zmena distribúcie stimulov prostredníctvom distraktora
2. Mechanizmus podobný precedence effect buildupu

---

### **3.2.1 Zmena distribúcie stimulov prostredníctvom distraktora**

Kontextuálna plasticita je spôsobená zmenou distribúcie stimulov vplyvom distraktora, pretože väčšina stimulov (práve distraktorových) je prezentovaných z jednej fixnej polohy. V experimente je potrebné vyhodnotiť, do akej miery súvisí kontextuálna plasticita s adaptáciou na distribúciu stimulov. Východisko tejto hypotézy je v myšlienke, že dochádza k odchýlkam v odpovediach kvôli zmene priemeru alebo rozptylu v distribúcii predchádzajúcich adaptačných zvukov, podobne ako bolo pozorované v štúdiu [3].

### **3.2.2 Mechanizmus podobný precedence effect buildupu**

Druhá hypotéza vraví, že príčinou je mechanizmus podobný precedence effect buildupu [6] – Precedence effect je psychoakustický jav, ktorý sa prejavuje v prípade, že sú prezentované dva zvuky s veľmi krátkym vzájomným časovým oneskorením (pre jednoduché stimuly približne 2-5 ms). Tento jav sa prejavuje tak, že poslucháči namiesto 2 separátnych zvukov vnímajú jediný “zvukový objekt” a jeho vnímaná poloha je prevažne určená zvukovou vlnou prvého z prichádzajúcich zvukov. Precedence effect buildup je jav, ktorý popisuje, že precedence effect sa môže postupným opakovaním párov stimulov vybudovať aj pri takých vzájomných časových oneskoreniach stimulov, pri ktorých nebol na začiatku pozorovaný.

Experimentálny set-up je navrhnutý tak, aby sa dala táto hypotéza vylúčiť, keďže žiaden stimul nie je zložený z dvoch po sebe idúcich častí ako to bolo v predchádzajúcich experimentoch [4], [2], [11], [12], kde hneď po distraktore zaznel target iba s krátkym oneskorením. Ak sa efekt kontextuálnej plasticity prejaví aj napriek tejto zmene, znamená to, že je úzko spätý s adaptáciou na distribúciu stimulov.



---

## 4 Návrh riešenia

V rámci vypracovania bakalárskej práce bol zrealizovaný experiment testujúci hypotézy uvedené v sekcii 3.2. Experimentálny set-up a samotná experimentálna procedúra vychádzali z predošlých CP štúdií.

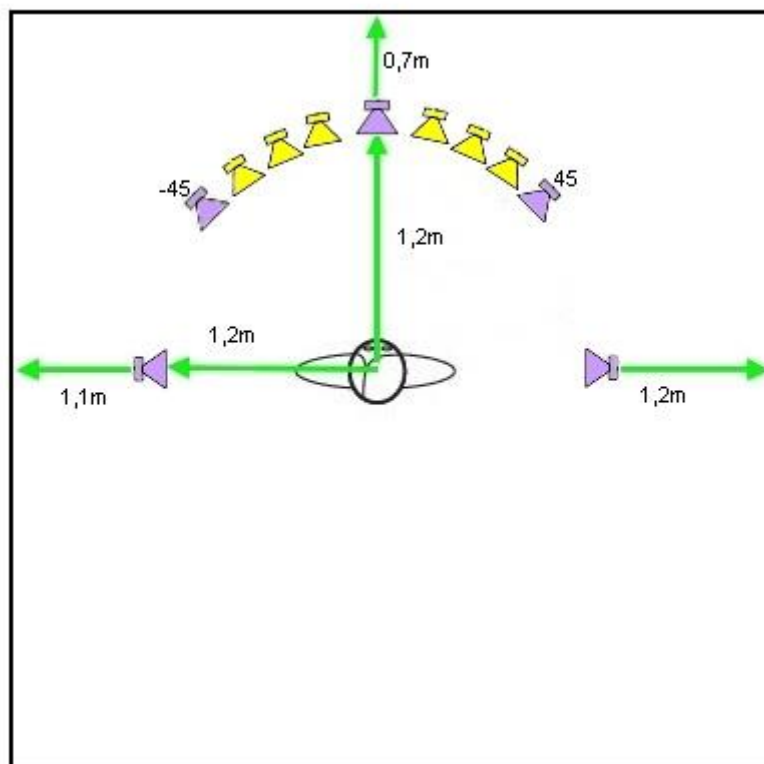
### 4.1.1 Subjekty

Na experimente sa podieľalo 8 subjektov. Všetci poslucháči udávajú normálne počutie a poskytli informovaný súhlas.

### 4.1.2 Prostredie

Poslucháči sú počas experimentu usadení do tmavej miestnosti s hlavou podporetou operadlom. Jedenásť reproduktorov je umiestnených v polkruhu s polomerom 1,2m okolo poslucháča, ktorý sedí v strede polkruhu otočený tvárou k strednému reproduktoru (Obr. 3 a Obr. 4).

Distraktory sú umiestnené na  $0^\circ$ ;  $\pm 45^\circ$ ;  $\pm 90^\circ$  (vzhľadom k subjektu, pričom  $0^\circ$  je priamo vpredu, napravo od stredu v pravom kvadrante sú kladné hodnoty a naľavo záporné). Targety sú postavené pod azimutom  $\pm 11,25^\circ$ ;  $\pm 22,5^\circ$ ;  $\pm 33,75^\circ$ . Nad reproduktormi je upevnený biely papierový pás, na ktorý sa premietajú dvojčísla alebo kombinácia znaku a čísla zvislo nad sebou s rozstupom jedného stupňa, pás pokrýva rozsah  $-59$  až  $59$  stupňov. Subjekty odpovedajú na stimul zadaním dvojčísla na numerickú klávesnicu, ktoré zodpovedá miestu, odkiaľ stimul počuli. Reprodukory sú skryté za akusticky transparentnou látkou, aby subjekt nemal tendenciu vybrať za odpovede iba tie dvoj-kombinácie, ktoré sú priamo nad reproduktormi. Digitálne stimuly sú generované zvukovou kartou RME Fireface a posielané cez zosilňovač KNOLL MX1255 do reproduktorov Canton Plus X3. Poloha a natočenie hlavy pri odpovedaní sa kontroluje pomocou elektromagnetického trackera Polhemus LIBERTY. Subjekt má mať pri zaznení stimulu hlavu otočenú priamo pred seba (k strednému reproduktoru), inak je prostredníctvom krátkeho výpisu informovaný o nesprávnom natočení hlavy.



Obr. 3: Nákres setupu v experimentálnej miestnosti, žltá - target, fialová – distraktor



Obr. 4: Fotografia setupu v experimentálnej miestnosti

---

### 4.1.3 Stimuly a experimentálna procedúra

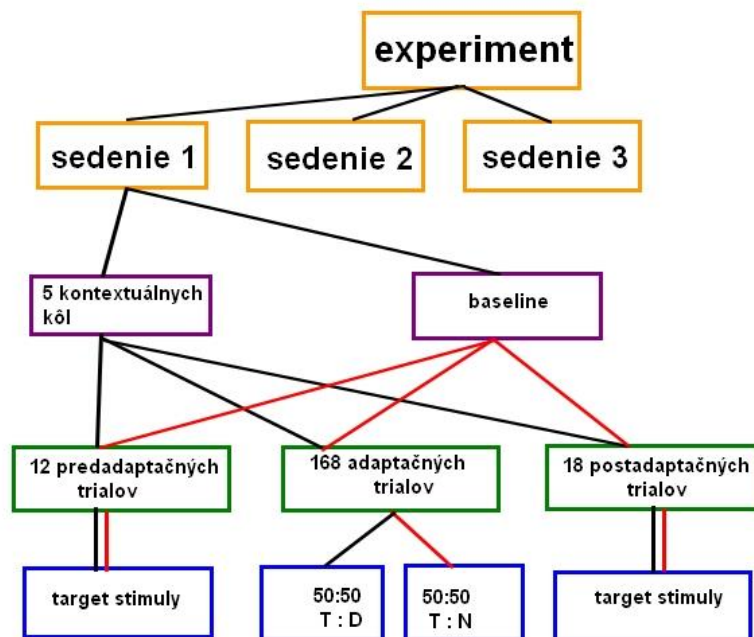
**Trial** (t.j. jedno meranie) je tvorený prezentáciou stimulu a následnou odpoveďou subjektu. Stimul v triali môže byť troch typov:

- a) **Target** (cieľový zvuk) je stimul (2-ms šum), ktorý má subjekt lokalizovať. Zaznie vždy z náhodnej polohy.
  
- b) **Distraktor** (séria 12tich 2-ms šumov, identických ako target, s 98 ms rozstupmi) sa v rámci kola nemení, jeho úlohou je to, aby bola distribúcia stimulov v kole nerovnomerne rozmiestnená, to znamená, že väčšina stimulov (distraktorové stimuly) zaznie z rovnakej polohy a ostatné (target stimuly) sa rovnomerne rozdelia. Tento stimul subjekt nelokalizuje, iba posunie procedúru na ďalší trial stlačením Enter.
  
- c) **Nulový stimul** je prázdny stimul (tichá pauza), s dĺžkou trvania rovnakou ako target. Subjekt na tento stimul reaguje stlačením Enter, procedúra sa posunie na ďalší trial.

**Baseline** je referenčné kolo, kde v každom triali znejú iba target stimuly (50%) alebo je prezentovaný “prázdny” stimul (tichá pauza) o dĺžke kontextu, aby sa vyrovnal počet target alone trialov v baseline a v kontextuálnych kolách.

**Kontextuálne kolo** je tvorené zmiešaním trialov tvorených target stimulmi alebo distraktor stimulmi. V adaptačnej časti boli kontextuálne kolá tvorené z 50% target-alone trialmi (náhodná poloha targetu) a z 50% kontextuálnymi trialmi (iba distraktor z fixnej pozície). Lokalizačné odpovede subjektu na target v tomto kole sa porovnávajú s lokalizáciou targetu bez vplyvu rušivého stimulu (distraktora) v baseline.

Experiment pozostáva z troch sedení trvajúcich približne 1 až 1.5 hodiny, ktoré sú vždy tvorené permutáciou 6 kôl (5 kontextuálnych kôl, každé s inou fixnou pozíciou distraktora a 1 baseline kolo) a jednotlivé kolá pozostávajú zo 198 trialov (Obr. 5). Každé kolo začína 12 predadaptačnými trialmi a končí 18 postadaptačnými trialmi, kde sa nevmiešava distraktor ani nulový signál. Subjekt si mohol medzi jednotlivými kolami urobiť 5-10 minútovú prestávku. V analýze kontextuálnych odchýlok sa používali jedine dáta z adaptačnej časti kontextuálnych kôl a im zodpovedajúca časť dát z baseline kola. Pred a post adaptačná časť dát bola použitá pri skúmaní vybudovania a doznievania efektu kontextuálnej plasticity.



Obr. 5: Štruktúra experimentu, T target, D distraktor, N nulový stimul

---

#### 4.1.4 Tréning

Hlavnou funkciou tréningu je familiarizácia nového subjektu s experimentom. Subjekt absolvuje tréning pred zahájením hlavnej časti experimentu. Tréning pozostáva z troch častí:

**Tréning klávesnicového odpovedania** – v tejto časti nie sú prezentované žiadne stimuly, cieľom je naučiť sa používať numerickú klávesnicu bez potreby pozeráť sa na ňu a hľadať jednotlivé znaky na klávesnici. Subjektu je premietnutý dvojznak, ktorý má zadať pomocou klávesnice a potvrdiť stlačením Enter. Ak bola odpoveď nesprávna, zobrazí sa oznam o nesprávne zadanom dvojčíslí a subjekt musí odpovedanie opakovať, kým nezadá správnu voľbu. Počet prezentácií prvého typu je 48 a počas všetkých troch častí tréningu má subjekt k dispozícii pomôcku – premieta sa mu rozloženie kláves na numerickej klávesnici.

**Tréning odpovedania na rôzne typy stimulov** - skrátaná ukážka dvoch typov blokov, kontextuálneho kola a baseline (2x24 prezentácií)

**Meranie presnosti lokalizácie** – 60 prezentácií cieľových stimulov, úlohou je zmerať presnosť lokalizácie. Ak subjekt lokalizuje cieľový zvuk s príliš veľkými posunmi, nemôže pokračovať v hlavnej časti experimentu. Bola vypočítaná RMSE (root-mean-squared error) z odpovedí na triály v rámci jedného azimutu a následne sa vypočítala priemerná RMSE cez hodnoty pre každý azimut. Prahová hodnota pre priemernú RMSE bola 20 stupňov.

## 4.2 Metódy prezentácie a snímania odpovedí

### 4.2.1 Klávesnicové odpovedanie

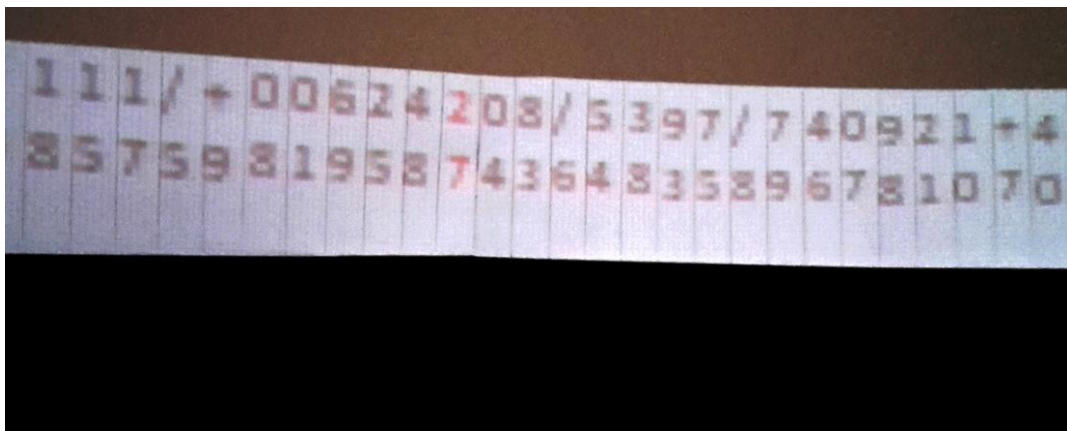
Aj napriek tomu, že vznik CP efektu je nezávislý na spôsobe odpovedania [11], v niektorých možnostiach odpovedania je lokalizácia presnejšia. V našom experimente sa zvolil typ odpovedania klávesnicou, keďže patrí medzi spoľahlivejšie metódy (odpovede sú presnejšie a vierohodnejšie ako napr. pri metóde zatvorené oči s ukazovátkom [11]). Náročnejšou časťou takéhoto typu odpovedania je najmä to, že subjekt si musí zapamätať rozloženie kláves na klávesnici, aby mohol následne v rýchlosti odpovedať na stimuly a aby ho nezdržiavalo dlhé hľadanie medzi klávesami. Subjekt sa môže pri rýchlom odpovedaní pomýliť a potvrdiť zlú odpoveď. Tento problém je vyriešený pri analýze odchýlok a popísaný v sekcii 5 Analýza výsledkov. Keď sa na premietanie možností, ktoré

---

môže subjekt zadať ako odpovede, používa projektor a je v miestnosti tma, subjekt zadáva odpovede do klávesnice len podľa pamäti a hmatu.

#### 4.2.2 Použitie projektoru a premietacieho pásu

Pre náš experiment sme sa rozhodli použiť biely papierový pás (Obr. 6) umiestnený nad reproduktormi, ktorý pokrýva rozsah  $\pm 59^\circ$ , aby sa možnosti odpovedania neobmedzovali len po posledné targety, ale ak by posun siahal ďalej, aby mohol subjekt odpovedať voľne ešte niekoľko stupňov a neboli jeho odpovede skreslené príliš obmedzeným rozsahom. V niekoľkých predošlých experimentoch, napr. [11], sa nad reproduktory umiestnil pás, kde boli vytlačené dvojznaky po jednom stupni, podľa ktorých subjekt odpovedal pomocou klávesnice. No keďže sa rozloženie dvojznakov nemenilo, subjekt sa mohol počas baseline merania postupne naučiť, na ktorých pozíciách sú približne umiestnené target reproduktory a toto zapamätanie mohlo mať neskôr vplyv na odpovede v kontextuálnych kolách. Pri projektorom odpovedaní sa permutácia premietaných dvojznakov mení v každom triali a tak sa tento problém dá úspešne eliminovať.



Obr. 6: Detail pásu s premietnutými možnosťami odpovedí

Bežné typy projektorov majú tendenciu byť hlučné, čo je v prípade sluchových lokalizačných experimentov veľkou nevýhodou, ktorá môže skresliť odpovede subjektu. Hluk chladiča projektoru (projektor Mitsubishi electric PK10) sme zredukovali inštaláciou externého chladiča za projektor, ktorý ho pomáha schladieť. Ďalšou pomocou bolo uvoľnenie vonkajšieho krytu projektoru pre lepšiu cirkuláciu vzduchu a chladenie.

---

### 4.2.3 Snímanie polohy hlavy pomocou Polhemus trackera

Polohu a natočenie hlavy pri odpovedaní sledujeme pomocou trackera POLHEMUS Liberty. Medzi hlavné časti patrí prijímač, vysielateľ a SEU (systémová elektronická jednotka). Vysielateľ vytvára elektromagnetické pole a prijímač, situovaný v elektromagnetickom poli, určuje svoju polohu vzhľadom na vysielateľ [14]. Namerané hodnoty sa následne vyhodnocujú v SEU a sú odposlané do počítača. Z hodnôt v tvare [A B C D E F G H] sa pomocou algoritmu v Matlabe vyhodnotí či je daná pozícia v norme alebo nie. Kontrolujú sa hodnoty B, C a pomocou vytvorenej funkcie sa vypočíta hodnota H – azimut hlavy, za predpokladu, že je snímač položený na čele. Popis hodnôt je nasledovný (kde E, F, G zodpovedajú Eulerovým uhlom udávajúcim orientáciu snímača voči zadanej referencii):

A – číslo prijímača

B – x pozícia

C – y pozícia

D – z pozícia

E – azimut

F – elevácia

G – natočenie (roll)

H – azimut z-osi receiveru

Výhodou je kontrola toho, či subjekt má počas odprezentovania stimulu natočenú hlavu priamo pred seba. Komplikácie nastávajú, ak je elektromagnetické pole narušené kovovými predmetmi. Dôležitým bodom je zosnímanie referenčnej polohy pred začatím kola. Snímač je upevnený na elastickej čelenke (Obr. 7).



**Obr. 7: Polhemus s čelenkou**



---

## 5 Analýza výsledkov

Analýza dát sa zameriava na to, či došlo k vzniku CP efektu pri testovaných experimentálnych podmienkach a či sa potvrdila niektorá z hypotéz uvedená v sekcii 3.2.

### 5.1 Spracovanie dát

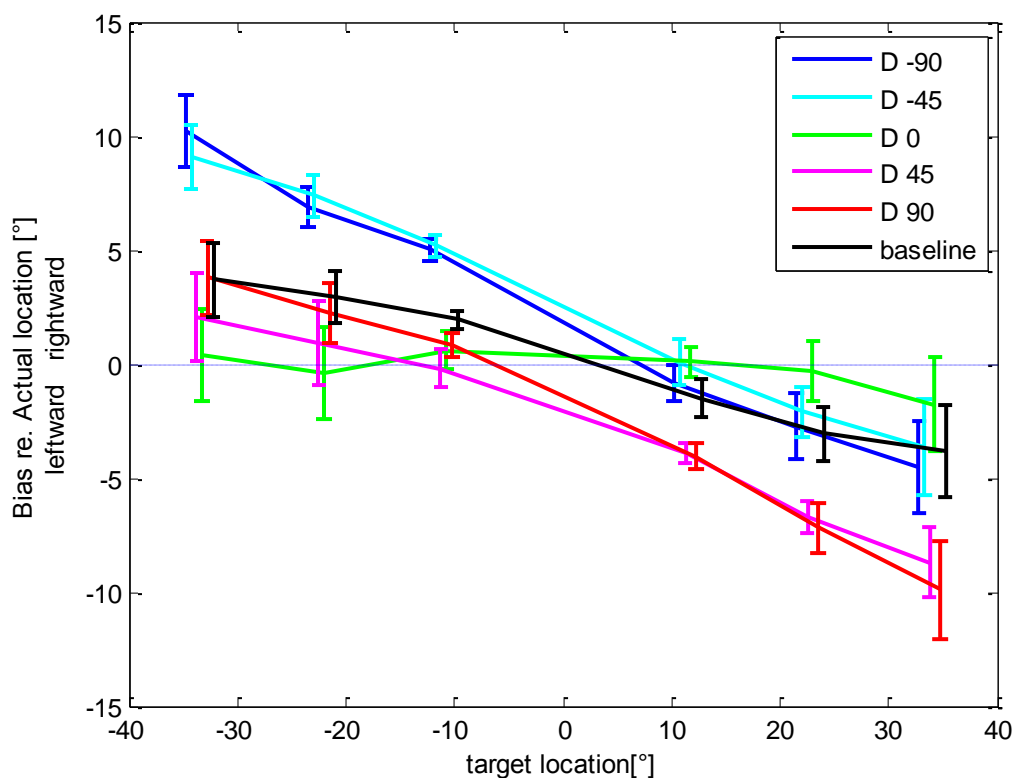
Pri analýze posunov sa postupovalo v nasledujúcich bodoch:

- 1, Vyrátať posuny medzi skutočnou pozíciou targetov a odpoveďou, ktorú zadal subjekt.
- 2, Identifikovať tzv. outliery, teda odpovede, pri ktorých je veľká pravdepodobnosť, že sa subjekt pomýlil a odsúhlasil nesprávnu voľbu v dôsledku nepozornosti alebo preklepu. Medzi outliery sa rátajú hodnoty odchýlok, ktoré prekračujú hranicu  $\langle M-3*SD, M+3*SD \rangle$ , kde M a SD sú priemer a štandardná odchýlka v dátach pre vybraný subjekt, distraktor, sedenie a target pozíciu. Outlier hodnoty boli nahradené priemerom pre vybraný subjekt, distraktor, target pozíciu a subrun.
- 3, Pri analýze sme použili aj preklopené dáta, to znamená, že dáta pre ľavé pozície distraktorov sa preklopili napravo a následne sa zodpovedajúce odchýlky spriemernili. Podobný postup bol aj pre distraktor na 0 stupňoch a baseline. Vytvorila sa kópia dát a tá sa tiež preklopila. Takto sme získali dvojnásobné množstvo dát pre každú experimentálnu podmienku a baseline.
- 4, Pred a post-adaptačná časť dát sa zahŕňa do analýzy Časového priebehu CP v sekcii 5.4. V sekcii 5.2 Analýza odchýlky voči pozícii targetu a 5.3 Analýza kontextuálnej odchýlky voči baseline sa robia analýzy iba z adaptačnej časti dát.
- 5, Na analýzu rozptylu pre opakované merania („repeated measures – ANOVA“) bol použitý softvér CLEAVE [15].

Všetky obrázky v sekcii 5 ukazujú priemer (+/- štandardnú chybu priemeru) cez subjekty.

## 5.2 Analýza odchýlky voči pozícii targetu

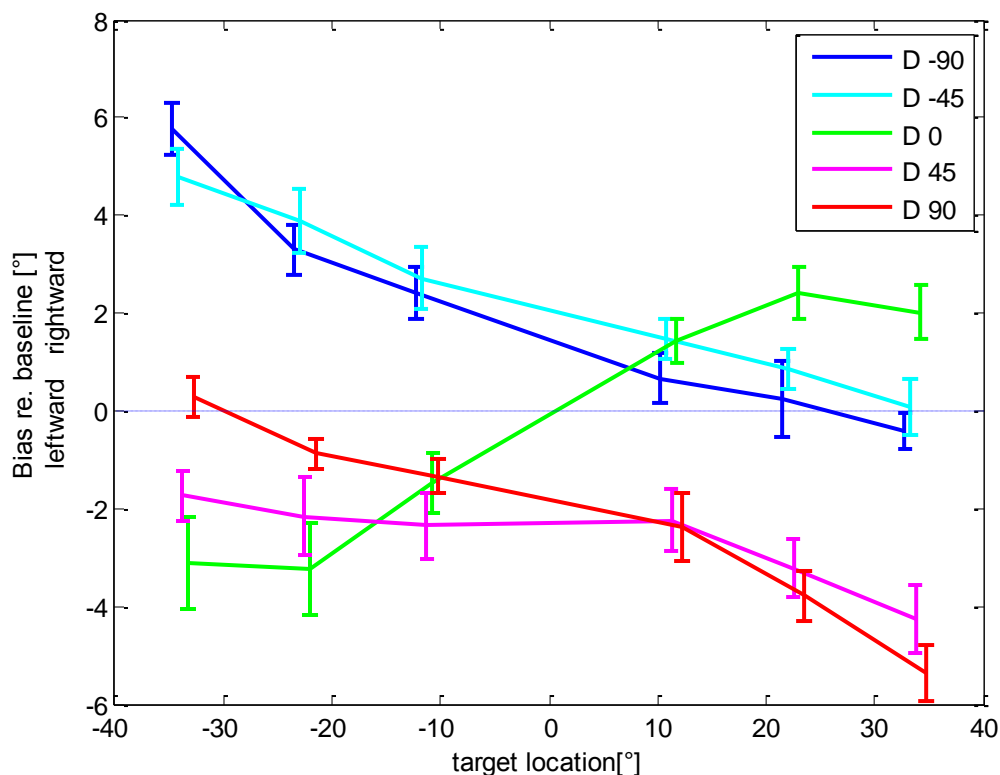
Obr. 8 ukazuje posuny v odpovediach voči skutočnej pozícii targetu pre rôzne experimentálne podmienky a baseline.



Obr. 8: Odchýlka voči aktuálnej pozícii targetu ako funkcia pozície targetu

Pre baseline (čierna čiara) platí, že subjekty podhodnocovali odpovede pre target pozície na ľavej strane (vid' kladné hodnoty posunov pre záporné hodnoty target pozícií). Pri lokalizácii targetov na pravej strane (kladné hodnoty target pozícií) subjekty rovnako podhodnocovali svoje odpovede. Pre všetky ostatné kontextuálne podmienky platí, že subjekty majú celkovú tendenciu podhodnocovať odpovede.

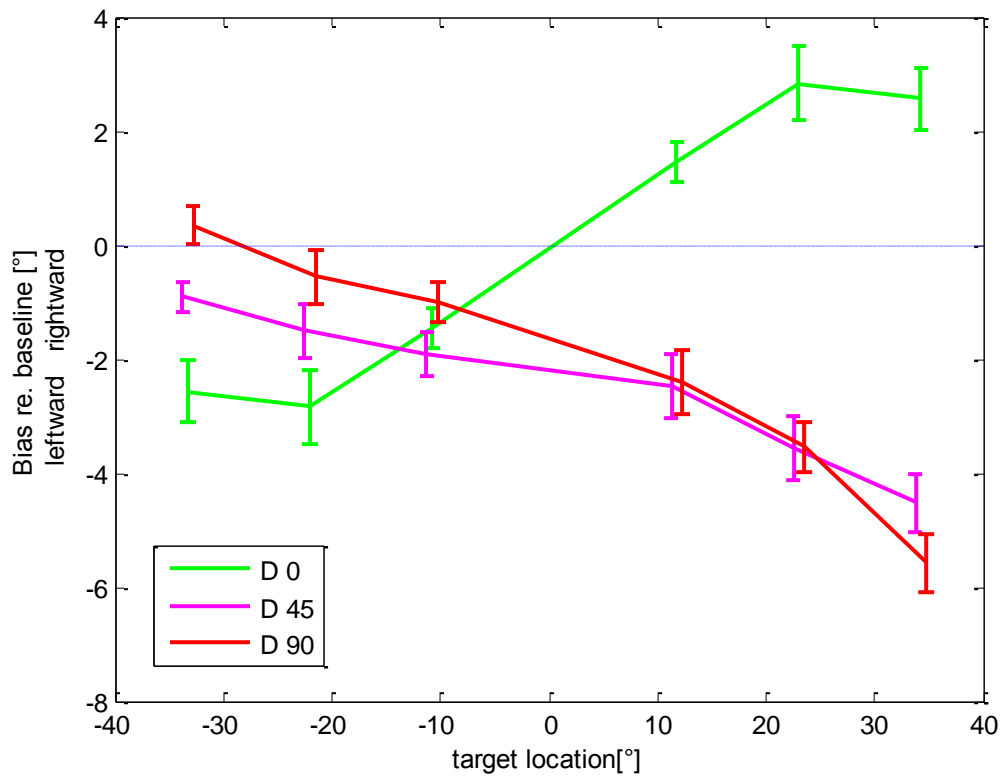
### 5.3 Analýza kontextuálnej odchýlky voči baseline



Obr. 9: Posuny od baseline ako funkcia polohy targetu

CP môžeme vyjadriť z Obr. 8. ako posun medzi čiernou čiarou (baseline) a ostatnými čiarami (kontextuálne kolá). Obr. 9 ukazuje posuny odpovedí z kontextuálnych kôl voči odpovediam baseline, t.j. kontextuálny efekt. Pre distraktor na  $0^\circ$  (zelená čiara) platí, že dochádza k tzv. repulsion efektu, inými slovami posunu smerom od distraktora, ktorý narastá so vzdialenosťou od distraktora (viď posuny vo veľkosti približne  $-2^\circ$  až  $-4^\circ$  pre targety naľavo od distraktora a posuny vo veľkosti približne  $2$  až  $3^\circ$  pre targety napravo od distraktora pre D0).

Pri distraktore na  $45$  stupňoch a  $90$  stuňoch, dochádza tiež k repulsion efektu, ktorý je najsilnejší na strane – pri distraktore (viď odchýlky vo veľkosti približne  $0^\circ$  až  $-5^\circ$  pre D90 a  $-2$  až  $-4^\circ$  pre D45). Pri distraktore na  $-45$  a  $-90$  stupňoch tiež platí, že repulsion efekt je najsilnejší najbližšie pri danom distraktore a znižuje sa so vzdialenosťou od distraktora (viď posuny vo veľkosti približne  $5^\circ$  pre D-45 a D-90 pri pozícii targetu na  $-33.75^\circ$ , ktoré klesajú k nule, keď sa pozícia targetu vzdaluje od distraktora).

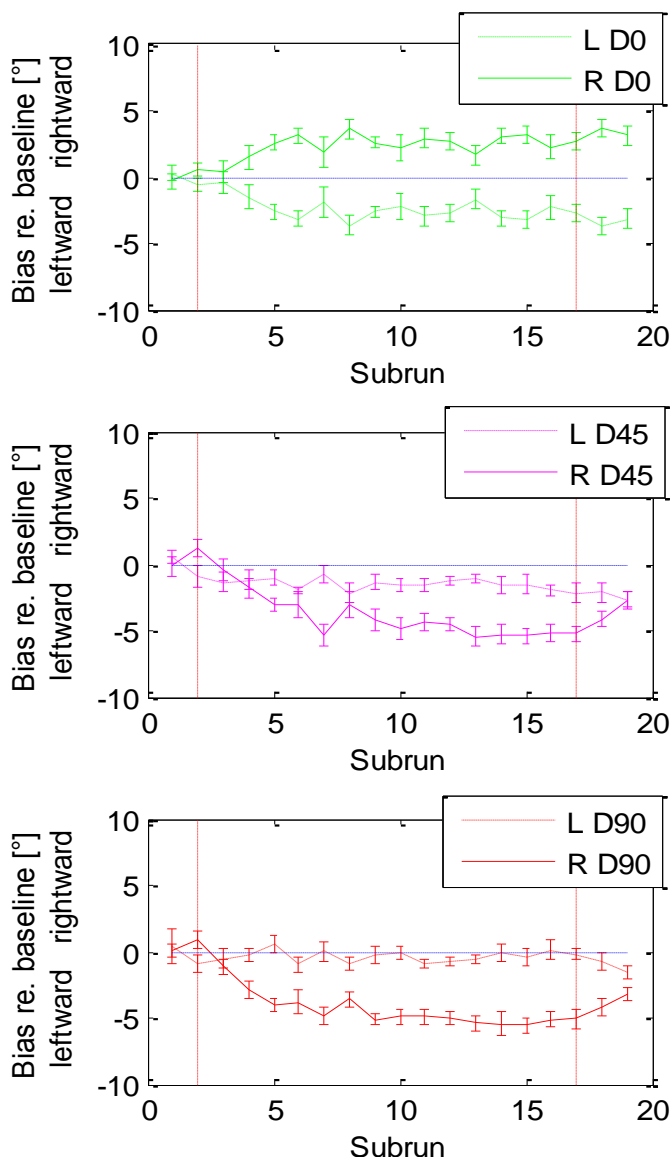


**Obr. 10: Posuny od baseline ako funkcia polohy targetu – preklopené dáta**

Obr. 10 ukazuje ľavo-pravo preklopené dáta, kde je zosumarizovaný vplyv polohy distraktora na CP. Podobne ako na prechádzajúcom obrázku (Obr. 9), pre distraktor na 0 stupňoch platí, že dochádza k repulsion efektu, ktorý narastá so vzdialenosťou od distraktora. Pri distraktore na 45° a 90° dochádza tiež k repulsion efektu, ktorý je najsilnejší na strane – pri distraktore.

## 5.4 Časový priebeh CP

Táto časť sa venuje vybudovaniu a doznievaniu efektu CP v experimentálnych kolách. Každý podgraf na Obr. 11 reprezentuje časový priebeh odchýlok pre jeden typ distraktora (ľavo-pravo preklopené dáta). Target pozície sú rozdelené na ľavú a pravú podoblasť a spriemernené v rámci podoblasti. Ľavé targety reprezentuje prerušovaná čiara, pravé spojité. Zvislou prerušovanou červenou líniou je odčlenená adaptačná časť od pred a post-adaptačnej.



Obr. 11: Časový priebeh CP (kontextuálne posuny ako funkcia subrunu) pre rôzne pozície distraktora (panely), separátne pre target pozície na ľavej strane (L) a na pravej strane (R).

---

Zelená farba znázorňuje distraktor na 0 stupňoch. Efekt CP sa vybuduje približne v prvých 3 adaptačných subrunoch a neskôr už nenarastá vôbec (vid' vrchný podgraf, Obr. 11), alebo len veľmi pomaly. Pre ľavú časť targetov (prerušovaná čiara) vzniká posun od distraktora smerom doľava a pre pravú časť targetov (plná čiara) vzniká rovnako veľký posun ( $4^\circ$ ) opačným smerom. Posuny sú symetrické vzhľadom k tomu, že dáta pre ľavú a pravú časť boli skombinované preklopením. V post-adaptačnej fáze nepozorujeme pokles veľkosti posunov pri aktuálnom počte dát.

Ružová farba znázorňuje distraktor na 45 stupňoch. Oproti predchádzajúcej podmienke sa efekt CP buduje približne až do 13-teho subrunu a v závere je výraznejší, vid' druhý podgraf. Pre ľavú časť targetov boli posuny menšie (do  $-2^\circ$ ) ako pre pravú časť (do  $-6^\circ$ ). V post-adaptácii sa veľkosť posunov výrazne znižuje.

Červená farba reprezentuje distraktor na 90 stupňoch. Platí to čo pri distraktore na 45 stupňoch, efekt CP sa buduje postupne. Pre ľavú časť targetov CP efekt nepozorujeme. Pri lokalizácii pravej časti targetov dochádza k posunu smerom doľava do veľkosti  $-6^\circ$ . V post-adaptačnej fáze sa veľkosť posunov znižuje.

## 5.1 Zhrnutie výsledkov a diskusia

Nerovnomerná distribúcia stimulov spôsobila vznik posunov v lokalizácii cieľového zvuku smerom od rušivého stimulu, ktorý bol striedavo zakomponovaný medzi cieľové stimuly. Veľkosť posunu pritom v čase postupne narastala. Rýchlosť narastania a veľkosť posunu mali tendenciu závisieť od azimutu, odkiaľ bol rušivý stimul prezentovaný a od pozície cieľového stimulu.

Časť vyššie uvedených pozorovaní bola potvrdená analýzou rozptylu pre opakované merania („repeated measures – ANOVA“) so 4 faktormi – kontextuálna podmienka (D0, D45, D90), azimut ( $-33.75^\circ$ ,  $-22.5^\circ$ ,  $-11.25^\circ$ ,  $11.25^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $33.75^\circ$ ), sedenie (1,2,3) a subrun (3-16), ktorá ukázala signifikantný hlavný efekt kontextuálnej podmienky [ $F(2,14)=40.10$ ;  $p<0.01$ ] a subrunu [ $F(13, 91)=11.83$ ;  $p<0.01$ ] a signifikantnú interakciu kontextuálna podmienka x azimut [ $F(10,70)=38.91$ ;  $p<0.01$ ] a kontextuálna podmienka x subrun [ $F(26,182)=3.48$ ;  $p<0.05$ ]. Uvedené výsledky zodpovedajú hodnotám po Box-Geisser-Greenhouse korekcii.

---

V súlade s očakávaniami sme pozorovali repulsion efekt pri všetkých typoch distraktora. Výsledky nazbierané na 8 subjektoch, uvažované v kontexte výsledkov predchádzajúcich štúdií, naznačujú, že nerovnomerná distribúcia stimulov vplyvom distraktora má výrazný vplyv na vybudovanie CP, zatiaľ čo zmena kontextuálnych meraní na také, ktoré pozostávajú len z jedného stimulu (distraktor) namiesto páru stimulov (distraktor + target) opísaná v časti 3.2.2 nemá vplyv na vybudovanie CP.

---

## Záver

Po štúdiu a vypracovaní prehľadu doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity som pripravila sluchový lokalizačný experiment pre výskum väzby medzi distribúciou stimulov a špecifickou formou adaptácie v priestorovom sluchu, zvanej kontextuálna plasticita. Pripravila som experimentálny setup a na základe existujúcich MATLAB skriptov som naprogramovala prípravný tréning a experimentálnu procedúru pre zber dát. Zberu dát sa zúčastnilo 8 subjektov. Úlohou subjektov bolo lokalizovať cieľový zvuk v rôznom kontexte (bez rušivých stimulov alebo s častou prezentáciou rušivých stimulov z rôznych pozícií, nemeniacich sa v rámci dlhšej série prezentácií).

Z vyhodnotenia a analýz experimentu som dospela k záveru, že distribúcia stimulov ovplyvňuje kontextuálne posuny v súlade s prvou hypotézou uvedenou v časti 3.2.1. Nerovnomerná distribúcia stimulov spôsobená častou prezentáciou rušivého stimulu z rovnakej pozície v priebehu kontextuálneho kola vyvolala posuny v lokalizácii cieľového stimulu smerom od pozície, odkiaľ zaznel rušivý stimul. Veľkosť posunu pre jednotlivé cieľové pozície závisela od voľby kontextuálnej podmienky a postupne narastala v priebehu kola až do ustálenia, ktoré nastalo v rôznych časoch pre rôzne kontextuálne podmienky. Hypotéza uvedená v sekcii 3.2.2 sa nepotvrdila, keďže efekt CP sa nevytratil ani po zmene typu kontextuálnych meraní na prezentácie zložené len z jedného stimulu.

Tento výsledok má implikácie napr. pre návrh VR zariadení, lebo hovorí, že pokiaľ nie je distribúcia stimulov v takýchto prostrediach rovnomerná, dôjde k posunom vo vnímaní zvukových stimulov, ktoré potom už nemusia korešpondovať s vnemom vizuálnych stimulov pri audiovizuálnej virtuálnej realite.



---

## Zoznam použitej literatúry

- [1] KOPČO, N. 2017. Úvod do neurovied, prednášky k predmetu, dostupné na internete: <https://pcl.upjs.sk/unv/>
- [2] HLÁDEK, L – TOMORIOVÁ, B. – KOPČO, N. 2017. Temporal characteristics of contextual effects in sound localization. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 142, 3288–3296. ([journal link](#), doi: 10.1121/1.5012746).
- [3] DAHMEN, J. C. et al. 2010. Adaptation to stimulus statistics in the perception and neural representation of auditory space, *Neuron* 66, 937–948.
- [4] KOPČO, N. – BEST, V. – SHINN-CUNNINGHAM, B. G. 2007. Sound localization with a preceding distractor, *J. Acoust. Soc. Am.* 121, 420–432.
- [5] YOST, W.A, 1994. *Fundamentals of Hearing*, 3<sup>rd</sup> edition. Pp. 326. Harcourt Brace. ISBN 0 12 772690
- [6] FREYMAN, R. L. – CLIFTON, R. K. – LITOVSKY, R. Y. 1991. Dynamic processes in the precedence effect. *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 874–884
- [7] BROWN, A. D. – STECKER, G. C. 2013. The precedence effect: Fusion and lateralization measures for headphone stimuli lateralized by interaural time and level differences. *J. Acoust. Soc. Am.* 133, 2883–2898.
- [1] [8] BEAR, M.F. – CONNORS, B.W. – PARADISO M.A. 2001. *Neuroscience: exploring the brain* (second edition), Lipincott Williams and Wilkins, Baltimore.
- [2]
- [3] [9] KOPČO, N. et al. 2009. Reference frame of the ventriloquism aftereffect. In *Journal of Neuroscience*, 29(44):13809-13814; doi:10.1523/JNEUROSCI.2783-09.( supplementary material, [link to journal](#)).
- [10] BLAUERT, J. *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*
- [11] KOPČO, N. et al. 2015. Contextual plasticity, top-down, and non-auditory factors in sound localization with a distractor. In *Journal of the Acoustical Society of America* 137, EL281, (pdf, DOI: 10.1121/1.4914999)

---

[12] TOMORIOVÁ, B. – ANDREJKOVÁ, G. – KOPČO, N. 2017. Effect of stimulus distribution on the buildup of contextual plasticity in sound localization. Presented at Kognícia a umelý život (Cognition and Artificial Life), 31.5. – 2.6.2017, Trenčianske Teplice.

[13] TOMORIOVÁ, B. et al. 2014. Contextual plasticity in sound localization: characterization of spatial properties and neural locus. In: Proceedings of the Forum Acusticum 2014 conference, Krakow, Poland, Sept 7 – 12, 2014

[14] POLHEMUS. LIBERTY Manual – Polhemus.

[15] HERRON, T. 2005. C language exploratory analysis of variance with enhancements. Dostupné na internete: <http://www.ebire.org/hcnlab/software/cleave.html> (Last viewed November 16, 2017).

[16] ŠURIN, I. 2009. Vplyv vizuálnych vstupov na kontextuálnu plasticitu pri priestorovom počúvaní: diplomová práca. Košice: TUKE, 2009. 70 s.

---

## **Prílohy**

Príloha A: Používateľská príručka

Príloha B: CD médium, bakalárska práca v elektronickej podobe, zdrojové kódy, prílohy v elektronickej podobe