

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity
pri priestorovom počúvaní**

Michal Barto

Diplomová práca

Košice 2009

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

**Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity
pri priestorovom počúvaní**

Diplomová práca

Michal Barto

Vedúci práce: Ing. Rudolf Andoga, PhD.

Konzultant práce: Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Košice 2009

Analytický list

Autor:	Michal Barto
Názov práce:	Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní
Jazyk práce:	slovenský
Typ práce:	Diplomová práca
Počet strán:	63
Akademický titul:	Inžinier
Univerzita:	Technická univerzita v Košiciach
Fakulta:	Fakulta elektrotechniky a informatiky (FEI)
Katedra:	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie (KKUI)
Študijný odbor:	Umelá inteligencia
Mesto:	Košice
Vedúci práce:	Ing. Rudolf Andoga, PhD.
Konzultant(i) :	Ing. Norbert Kopčo, PhD.
Dátum odovzdania:	7. 5. 2009
Dátum obhajoby:	28. 5. 2009
Kľúčové slová:	kontextuálna plasticita, časové charakteristiky kontextuálnej plasticity, priestorové počúvanie
Kategória:	Umelá inteligencia, neurovedy
Citovanie práce:	Michal Barto: Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky. 2009. 63 s.
Názov práce v AJ/NJ:	Temporal aspects of contextual plasticity in spatial auditory perception
Kľúčové slová v AJ/NJ:	contextual plasticity, temporal aspects of contextual plasticity, spatial auditory perception

Erráta

Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní

Michal Barto

Košice 2009

Abstrakt

Plasticita sluchového vnímania je komplikovaný proces zahŕňajúci mnohé aspekty, ktoré stále nie sú plne pochopené a popísané. Táto práca sa zameriava na prehĺbenie našich súčasných poznatkov týkajúcich sa tejto problematiky. Práca nadväzuje na predošlé štúdie sluchovej plasticity a skúma aspekty, ktoré neboli v týchto štúdiách popísané. Zároveň je popísaný experiment vykonaný za týmto účelom a analýza jeho výsledkov, na základe ktorej sú stanovené závery práce.

Abstract

Plasticity of auditory perception is a complicated process including many aspects which are still not fully understood and described. This work aims to expand our present knowledge related to this topic. The work succeeds previous studies of auditory plasticity and explores aspects which were not described in these studies. At the same time, the experiment committed for this purpose and analysis of its results are described and the summary of this work is stated.

Zadanie práce

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študent: **Michal Barto**
 Študijný odbor: **Umelá inteligencia**
 Akademický rok: **2008/2009**
 Názov práce v slovenskom a anglickom jazyku:

Časové charakteristiky kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní
Temporal aspects of contextual plasticity in spatial auditory perception

Pokyny na vypracovanie:

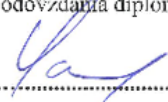
1. Vypracovať prehľad problematiky priestorového sluchového vnímania s dôrazom na časové škály adaptívnych procesov pozorovaných v sluchových neurálnych štruktúrach.
2. Implementovať experimentálnu štúdiu vychádzajúcu zo štúdie N Kopčo, V Best, and BG Shinn-Cunningham (2007). Sound localization with a preceding distractor, Journal of the Acoustical Society of America, 121, 420-432.
3. Upraviť experimentálnu procedúru v prostredí MATLAB tak, aby bolo možné parametricky vyšetriť vplyv frekvencie výskytu distraktorových meraní a časového opoždenia medzi distraktorom a cieľovým zvukom na vyvolanie kontextuálnej plasticity.
4. Vykonať experimentálne meranie na minimálne 8 dobrovoľných ľudských subjektoch.
5. Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta.
6. Navrhnuť konceptuálny model popisujúci dynamické aspekty plasticity sluchového vnímania.
7. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho diplomovej práce.

Vedúci diplomovej práce:
 Konzultant diplomovej práce:

Ing. Rudolf Andoga, PhD.
 Ing. Norbert Kopčo, PhD.


Dátum odovzdania diplomovej práce:

7.5.2009


 prof. Ing. Ján Sarnovský, CSc.

**vedúci zadávajúceho
 vedecko-pedagogického pracoviska**




 prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.

dekan

V Košiciach, dňa 31.10.2008

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice 7. 5. 2009

.....

Vlastnoručný podpis

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Rudolfovi Andogovi, PhD. a konzultantovi Ing. Norbertovi Kopčovi, PhD. za usmernenia, pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce. Taktiež ďakujem dobrovoľníkom, ktorí sa zúčastnili na experimentoch.

Predhovor

Vnímanie sluchového priestoru zahŕňa veľké množstvo aspektov, o ktorých sa stále vie relatívne málo. Každý deň riešime rôzne problémy týkajúce sa týchto aspektov. Ako príklad môžeme uviesť porozumenie inému človeku v konverzácii napriek rôznym rušivým zvukovým či iným podnetom alebo problém sluchovej orientácie v miestnostiach, kde sa zvuky odrážajú od stien. Týmto každodenným situáciám a ich riešeniu však podliehajú zložité procesy, ktoré stále nie sú úplne popísané.

Tieto skutočnosti a taktiež záujem o problematiku štúdia ľudského sluchu ma viedli k napísaniu tejto práce, ktorá pojednáva o plasticite sluchového vnímania – javu, ktorý doteraz nie je kompletne popísaný a ktorého sa stále týka množstvo nezodpovedaných otázok.

Obsah

Úvod	1
1 Formulácia úlohy	3
2 Teoretické poznatky	4
2.1 Lokalizácia zvukov	4
2.1.1 Lokalizácia zvukov v horizontálnej rovine	5
2.1.2 Kužel' nejednoznačnosti a monaurálne pomôcky	8
2.1.3 Lokalizácia vo vertikálnej rovine	9
2.1.4 Minimálny počuteľný uhol	10
2.1.5 Smerová prenosová funkcia (HRTF)	10
2.1.6 Efekt precedencie	12
2.1.7 Simulácia sluchového priestoru a lateralizácia	14
2.2 Pozornosť a priestorové počutie	16
2.2.1 Vlastnosti pozornosti	16
2.2.2 Multimodálne vnímanie a krosmodálne interakcie	18
2.2.3 Riadenie pozornosti	19
2.3 Plasticita v priestorovom sluchovom vnímaní	22
2.3.1 Príčiny plasticity	22
2.3.2 Anatomický lokus priestorovej plasticity v sluchovej dráhe	24
2.3.3 Spôsobý štúdia plasticity	26
2.3.4 Časové škály plasticity	29
2.4 Aplikácie sluchového výskumu	30
2.4.1 Kochleárne implantáty	30
2.4.2 Sluchové displeje	32
3 Experimentálna časť	34
3.1 Motivácia	34
3.2 Hypotézy	34

3.3	Experimentálny aparát	35
3.4	Experimentálna procedúra	35
3.5	Spracovanie a analýza dát	38
4	Záver (zhodnotenie riešenia)	44
	Zoznam použitej literatúry	45
	Zoznam príloh	49
	Príloha A – Obrazová príloha	50
	Príloha B – Používateľská príručka	103
	Príloha C – Systémová príručka	106

Zoznam obrázkov

2–1	Systém súradníc používaný v sluchových experimentoch: r je vzdialenosť, ϕ je azimut a δ je elevácia (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).	5
2–2	Schematické znázornenie zdroja zvuku na azimutálnej rovine okolo hlavy: Zvuk dorazí do ľavého ucha skôr a preto vznikne interaurálny rozdiel v čase a zvuk v pravom uchu má menšiu intenzitu ako v ľavom, čo vedie k interaurálnemu rozdielu v intenzitách (YOST, W. A., 2000).	6
2–3	ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).	7
2–4	Kužel' nejednoznačnosti, pohľad zhora: Body na jeho povrchu majú rovnaké ITD a ILD.	9
2–5	Pohyby hlavy slúžiace na rozlíšenie polohy zdroja zvuku na kuželi nejednoznačnosti. Ak by bol zdroj zvuku na azimute 180° (t.j. za hlavou), bolo by ťažké rozhodnúť, či zvuk ide z 0° alebo zo 180° , kvôli tomu, že obidve pozície majú rovnaké ITD aj ILD. Pootočením hlavy doľava sa ľavé ucho dostalo bližšie k zdroju a preto je jasné, že zvuk šiel zozadu (b). Ak by šiel spredu, bližšie by bolo pravé ucho (c).	9
2–6	Schematické znázornenie minimálneho počuteľného uhla (MAA)	11
2–7	Efekt precedencie: Ak umiestnime reproduktory každý z jednej strany a prehráme zvuk v oboch súčasne, zvuk budeme vnímať tak, akoby znel v strede medzi nimi (a). Ak v jednom prehráme zvuk o niečo neskôr (0,1 až 1 ms), zvuk budeme vnímať akoby prichádzal z miesta bližšie k reproduktoru, z ktorého zaznel prvý zvuk (b). Ak predĺžime oneskorenie medzi zvukmi na 1 až 5 ms, zvuk budeme počuť tak, akoby prichádzal len z vedúceho reproduktora – tu sa prejavuje efekt precedencie (c). Ak predĺžime oneskorenie ešte viac, vnímame už 2 zvuky, každý z jedného reproduktora (d) (FRANCIS, G.).	13

3–1	Schéma priestorového usporiadania experimentu, pohľad zhora. Subjekt je usadený v strede štvrtkruhu tvoreného deviatimi rovnomerne rozostavenými reproduktormi (na obrázku sú schematicky znázornené kruhmi). Krajné reproduktory sú distraktorové – v priebehu kola z jedného z nich opakovane znie distraktor, ktorý vyvoláva plasticitu. Cieľový zvuk je prezentovaný z náhodného nedistraktorového reproduktora. Na obrázku je zobrazené otočenie subjektu vľavo.	35
3–2	Adaptácia odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách. Dáta sú preklopené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky typy distraktových kôl a cez všetky opakovania.	38
3–3	Adaptácia odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách. Dáta sú preklopené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy distraktových kôl.	40
3–4	Plasticita vyvolaná v jednotlivých typoch distraktorových kôl. Dáta sú preklopené a spriemernené cez všetky subjekty, cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy kôl.	41
3–5	Plasticita vyvolaná v jednotlivých typoch distraktorových kôl pre jednotlivé subjekty. Dáta sú spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy distraktových kôl.	42
3–6	Odpovede subjektov na cieľové stimuly znejúce z jednotlivých reproduktorov pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú spriemernené cez všetky subjekty, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy kôl.	43
4–1	Priemerný odklon odpovedí jednotlivých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. . .	51

4–2 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.	52
4–3 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.	53
4–4 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé subkolá. Dáta sú rozdelené na distraktorové a nedistraktorové kolá.	54
4–5 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.	55
4–6 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory.	56
4–7 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé otočenia.	57
4–8 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé distraktorové kolá.	58
4–9 Subjekt „bp“, graf 1.	61
4–10 Subjekt „bp“, graf 2.	62
4–11 Subjekt „bp“, graf 3.	63
4–12 Subjekt „bp“, graf 4.	64
4–13 Subjekt „bp“, graf 5.	65
4–14 Subjekt „bp“, graf 6.	66
4–15 Subjekt „dh“, graf 1.	67
4–16 Subjekt „dh“, graf 2.	68
4–17 Subjekt „dh“, graf 3.	69
4–18 Subjekt „dh“, graf 4.	70

4–19Subjekt „dh“, graf 5.	71
4–20Subjekt „dh“, graf 6.	72
4–21Subjekt „is“, graf 1.	73
4–22Subjekt „is“, graf 2.	74
4–23Subjekt „is“, graf 3.	75
4–24Subjekt „is“, graf 4.	76
4–25Subjekt „is“, graf 5.	77
4–26Subjekt „is“, graf 6.	78
4–27Subjekt „jp“, graf 1.	79
4–28Subjekt „jp“, graf 2.	80
4–29Subjekt „jp“, graf 3.	81
4–30Subjekt „jp“, graf 4.	82
4–31Subjekt „jp“, graf 5.	83
4–32Subjekt „jp“, graf 6.	84
4–33Subjekt „mb“, graf 1.	85
4–34Subjekt „mb“, graf 2.	86
4–35Subjekt „mb“, graf 3.	87
4–36Subjekt „mb“, graf 4.	88
4–37Subjekt „mb“, graf 5.	89
4–38Subjekt „mb“, graf 6.	90
4–39Subjekt „ms“, graf 1.	91
4–40Subjekt „ms“, graf 2.	92
4–41Subjekt „ms“, graf 3.	93
4–42Subjekt „ms“, graf 4.	94
4–43Subjekt „ms“, graf 5.	95
4–44Subjekt „ms“, graf 6.	96
4–45Subjekt „pk“, graf 1.	97
4–46Subjekt „pk“, graf 2.	98
4–47Subjekt „pk“, graf 3.	99

4–48Subjekt „pk“, graf 4.	100
4–49Subjekt „pk“, graf 5.	101
4–50Subjekt „pk“, graf 6.	102

Zoznam symbolov a skratiek

HRTF smerová prenosová funkcia (z angl. head-related transfer function)

IC štruktúra v mozgu nazývaná Colliculus inferior (z angl. Inferior colliculus)

ICC centrálné jadro IC (z angl. central nucleus of Inferior colliculus)

ICX externé jadro IC (z angl. external nucleus of Inferior colliculus)

ILD interaurálny rozdiel v intenzitách (z angl. interaural level difference)

ISI časový interval medzi dvoma stimulmi (z angl. inter-stimulus interval)

ITD interaurálny rozdiel v časoch (z angl. interaural time difference)

MAA minimálny počuteľný uhol (z angl. minimal audible angle)

SOA rozdiel medzi nástupom dvoch po sebe nasledujúcich stimulov (z angl. stimulus onset asynchrony)

Úvod

Vnímanie sluchového priestoru zahŕňa veľké množstvo aspektov, o ktorých sa stále vie relatívne málo. Každý deň riešime rôzne problémy týkajúce sa týchto aspektov. Ako príklad môžeme uviesť porozumenie inému človeku v konverzácii napriek rôznym rušivým zvukovým či iným podnetom alebo problém sluchovej orientácie v miestnostiach, kde sa zvuky odrážajú od stien. Týmto každodenným situáciám a ich riešeniu však podliehajú zložité procesy, ktoré stále nie sú úplne popísané.

Je pravdepodobné, že zameranie pozornosti na nejaké miesto alebo objekt v priestore ovplyvní priestorové sluchové vnímanie. Predpokladá sa, že vplyv bude pretrvávajúť približne dovtedy, kým bude pozornosť na dané miesto zameraná. Je možné nejakým jednoduchým spôsobom, napr. len za pomoci kontextu, v akom budú zvuky vnímané, ovplyvniť priestorové vnímanie tak, aby zmeny určitú dobu aj pretrvávali? Je sluchové priestorové vnímanie, zahŕňajúc neurálnu reprezentáciu, ktorá mu podlieha, statické alebo sa môže meniť? V priebehu života sa vplyvom skúseností učíme správne lokalizovať zvuky v okolitom prostredí. Zvuk šíriaci sa z určitej polohy v priestore má nejaké charakteristiky špecifické pre danú polohu, ktoré sa mozog naučí, a potom dokáže na základe nich určiť, odkiaľ zvuk prichádzal. Niekedy však tieto naučené asociácie prestanú byť platné, napríklad preto, že sa zmení prostredie, ktoré ich ovplyvní, čoho výsledkom sú chyby, posuny v lokalizácii. Vtedy, ale aj v iných prípadoch, je potrebné, aby sa vytvorili nové správne asociácie. Sluchové priestorové vnímanie by preto nemalo byť statické, ale dynamické, plastické.

Otázky plasticity sluchového vnímania boli dôvodom, ktorý ma viedol k výberu témy tejto diplomovej práce a jej napísaniu. Práca zahŕňa experimenty, v ktorých sa pokúsime zmenami kontextu (tvoreného akustickým prostredím a úlohou, ktorú bude subjekt v experimente vykonávať) vyvolávať krátkodobú plasticitu v lokalizácii zvukov a skúmať, na akých predpokladoch závisí.

Práca obsahuje všeobecný prehľad o priestorovom sluchovom vnímaní, a taktiež detailnejší

pohľad na doterajší výskum v oblasti plasticity sluchového vnímania. Práca bude tiež doplnená krátkym popisom vybraných aplikácií sluchového výskumu.

1 Formulácia úlohy

Táto práca nadväzuje na štúdiu „Sound localization with a preceding distractor“ (KOPČO, N., BEST V., SHINN-CUNNINGHAM, B. G., 2007) a na prácu „Neurálna plasticita a riadenie strategickej pozornosti pri priestorovom sluchovom vnímaní“ (TOMORIOVÁ, B., 2008).

Prvá, teoretická časť práce sa venuje prehľadu problematiky sluchového vnímania s dôrazom na plasticitu sluchového vnímania a témy s ňou súvisiace ako lokalizácia zvukov v horizontálnej a vertikálnej rovine, efektu precedencie a vplyvu pozornosti na priestorové počutie, ako aj praktickej aplikácii sluchového výskumu.

Druhá časť popisuje experimentálnu procedúru naprogramovanú v programovacom jazyku Matlab určenú na otestovanie vplyvu kontextuálnej plasticity na ľudských subjektoch. Taktiež obsahuje zhrnutie, analýzu a interpretáciu výsledkov experimentu.

2 Teoretické poznatky

2.1 Lokalizácia zvukov

Priestorové sluchové vnímanie je pre nás životne dôležité. Umožňuje nám sluchovo analyzovať okolité prostredie a lokalizovať v ňom objekty, ktoré sú pre nás dôležité alebo nebezpečné. Taktiež zohráva veľkú úlohu pri vnímaní reči – v hlučnom prostredí nám pomáha zamerať sa na jeden konkrétny zdroj zvuku a potlačiť okolitý hluk.

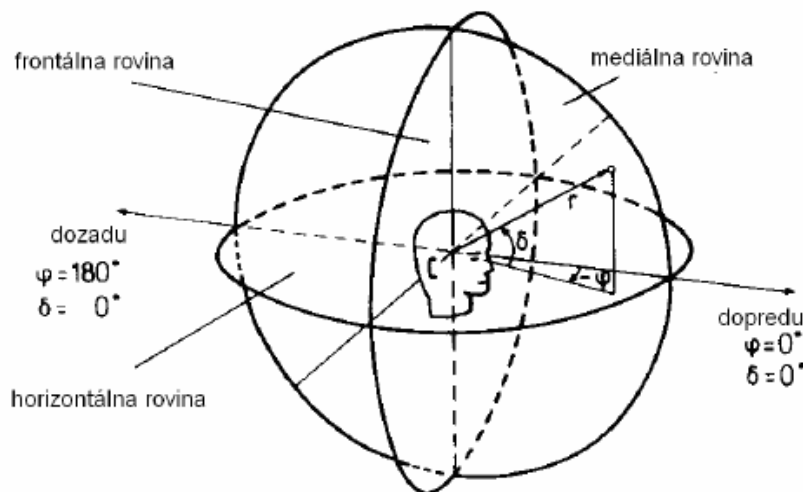
Oproti vizuálnemu priestorovému vnímaniu má sluchové tú výhodu, že pokrýva celý priestor a umožňuje nám tak vnímať aj objekty mimo nášeho zorného poľa, napríklad za nami. Funguje teda ako určitý varovný systém (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

Poloha zdroja zvuku sa určuje troma súradnicami (obr. 2 – 1) (BLAUERT, J., 1983):

- azimut – horizontálna odchýlka od nejakého referenčného bodu,
- elevácia – vertikálna odchýlka od nejakého referenčného bodu,
- vzdialenosť,

pričom referenčným bodom je zvyčajne stred tváre.

Sluchové vnímanie priestoru je v určitom zmysle zložitejšie ako zrakové. Rôzne body vo vizuálnom poli sa totiž priamo premietajú na príslušné miesta na sietnici, takže už v najskoršom štádiu spracovania vizuálneho vstupu existuje určitá informácia o polohe vnímaného objektu. Sluchový systém však musí polohu zdroja zvuku „vypočítať“. Akýmsi ekvivalentom sietnice je v sluchovom systéme bazilárna membrána v štruktúre nazvanej slimák (lat. kochlea) nachádzajúcej sa vo vnútornom uchu. Je to miesto, kde sa vibrácie spôsobené zvukmi menia na nervové impulzy. Na úrovni bazilárnej membrány sa však nedá zistiť, odkiaľ zvuk prichádza, pretože pozícia zdroja zvuku sa na jej povrch priamo nepremieta. Dá sa však zistiť z akých frekvencií zvuk pozostáva. Bazilárna membrána je totiž tonotopicky organizovaná – nekóduje polohu, ale frekvenciu (BEAR, M. F.,



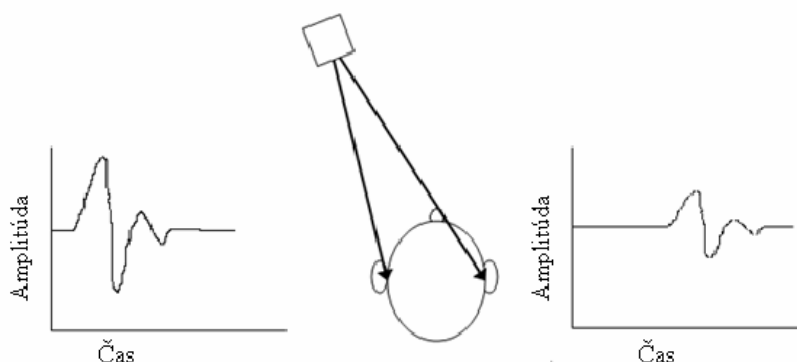
Obr. 2–1 Systém súradníc používaný v sluchových experimentoch: r je vzdialenosť, ϕ je azimut a δ je elevácia (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001). Informácia o polohe zdroja zvuku sa preto získa až v neskoršom štádiu spracovania sluchového vnemu. Medzi lokalizáciou zvuku vo vertikálnej a v horizontálnej rovine je rozdiel, využívame na to rôzne mechanizmy. Zvuk pohybujúci sa vertikálne dokážeme lokalizovať aj pomocou jedného ucha, zvuk pohybujúci sa horizontálne však lokalizujeme kombinovaním zvukov prichádzajúcich do oboch uší (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

2.1.1 Lokalizácia zvukov v horizontálnej rovine

Lokalizácia zvukov v horizontálnej rovine je založená na tom, ako je zvuk šíriaci sa z určitého miesta v priestore vnímaný v ľavom a v pravom uchu. Mozog spracuje informácie z oboch uší a určia sa rozdiely, pričom podstatné sú rozdiely v čase (angl. interaural time difference, ITD), v akom daný zvuk prišiel do jedného a do druhého ucha, a taktiež rozdiely v intenzitách (angl. interaural level difference, ILD), s akými znel v jednom a druhom uchu (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001) (obr. 2–2). Sluchový systém dokáže pomocou týchto „binaurálnych pomôcok“ (binaurálny, t. j. „obojušný“,

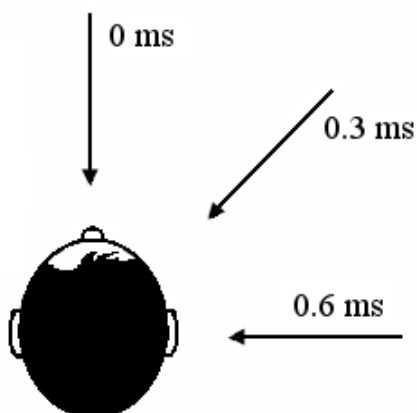
súvisiaci s oboma ušami) určiť smer, z ktorého zvuk prichádza na základe toho, že v uchu, ktoré sa nachádza bližšie k zdroju zvuku, zaznie zvuk skôr a hlasnejšie, ako v uchu na druhej strane. Keďže binaurálne pomôcky sú parametrami pri lokalizácii zdroja zvuku, v nasledujúcom texte bude pre ne používaný aj výraz „lokalizačné parametre“.



Obr. 2–2 Schematické znázornenie zdroja zvuku na azimutálnej rovine okolo hlavy: Zvuk dorazí do ľavého ucha skôr a preto vznikne interaurálny rozdiel v čase a zvuk v pravom uchu má menšiu intenzitu ako v ľavom, čo vedie k interaurálnemu rozdielu v intenzitách (YOST, W. A., 2000).

Zvuk dorazí do ucha, ktoré je bližšie k zdroju zvuku o niečo skôr ako k druhému, pretože prechádza kratšiu dráhu. Časový rozdiel sa pohybuje v desatinách milisekúnd. Napríklad pre hlavu so šírkou 20 cm zvuk prichádzajúci kolmo sprava dosiahne ľavé ucho o 0.6 ms neskôr ako pravé (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001) (obr. 2–3). ITD je maximálne pre zvuky prichádzajúce z boku a minimálne pre zvuky prichádzajúce spredu, resp. zozadu.

V mozgovom kmeni existujú špecializované neuróny citlivé na rôzne ITD, vďaka ktorým dokážeme danému zvuku priradiť jeho polohu v priestore. Rýchlosť, akou sa šíri zvuk, je relatívne konštantná, nezávisí na výške tónu (frekvencii). Z toho vyplýva, že pre danú polohu zdroja zvuku je ITD pre rôzne frekvencie rovnaké (LINDSAY, P. H., NORMAN. D. A., 1977). V prípade, že nepočujeme nástup zvuku, je určenie ITD zložitejším problémom, pretože tento zvuk počujeme naraz v oboch ušiach. Môžeme však porovnávať rozdiel medzi časmi, v ktorých rovnaká fáza zvukovej vlny dostane do jednotlivých uší (BEAR,



Obr. 2–3 ITD v závislosti od horizontálnej polohy zdroja zvuku (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001), čím dostávame interaurálny fázový rozdiel (angl. interaural phase difference, IPD) a ten už je závislý na frekvencii stimulu (YOST, W. A., 2000).

ILD je spôsobené zvukovým tieňom, ktorý vrhá hlava. Zvukový tieň vzniká pri určitej interakcii medzi zvukovou vlnou a prekážkou, ktorá jej stojí v ceste. Ak je prekážka oveľa väčšia ako vlnová dĺžka prichádzajúceho zvuku, vlna sa odrazí, ak je prekážka malá, vlna cez ňu prejde len s malými zmenami. Ak je však približne rovnaká, časť sa odrazí a časť v určitej vzdialenosti za objektom pokračuje relatívne bez zmeny. Tesne za objektom sa však vytvorí oblasť, kde nie sú takmer žiadne alebo len zoslabené vlny a táto oblasť sa nazýva zvukový tieň (YOST, W. A., 2000) a je prinajmenšom taká veľká ako vlnová dĺžka prichádzajúceho zvuku. Ak napríklad zvuk s vlnovou dĺžkou 2 metre (čo odpovedá frekvencii približne 175 Hz) prejde cez objekt veľkosti 1 meter, na druhej strane objektu sa vytvorí približne 2-metrová kužeľovitá oblasť s malou alebo žiadnou intenzitou zvuku (YOST, W. A., 2000). Vďaka tomu, že aj hlava vrhá zvukový tieň, vznikajú rozdiely v intenzitách, s akými znie ten istý zvuk v jednom a druhom uchu a to nám pomáha pri lokalizácii zvukov.

Pre zvuk znejúci spredu je ILD minimálne (resp. nulové), pre zvuk znejúci zo strany je

zase maximálne. Podobne ako neuróny citlivé na rôzne ITD, existujú aj neuróny citlivé na rôzne ILD, ktoré prispievajú k určeniu polohy zdroja zvuku. Určovanie ILD má význam pri vysokofrekvenčných zvukoch, pretože zvuky nízkych frekvencií nevytvárajú zvukový tieň. ILD je teda na rozdiel od ITD frekvenčne závislé, rastie s rastúcou frekvenciou (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

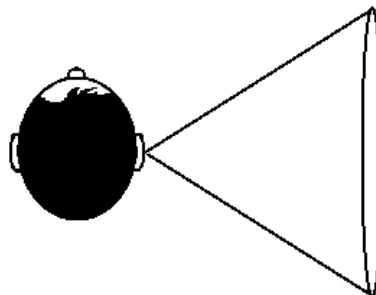
Keďže určovanie ILD pre zvuky nízkych frekvencií nemá význam, mozog túto pomôcku využíva hlavne pri lokalizácii zvukov vyšších frekvencií (približne nad 2000 Hz). Naopak, ITD/IPD je vhodnejšie pre zvuky nižších frekvencií. Preto môžeme zhrnúť, že zvuky v rozsahu približne 20 až 2000 Hz lokalizujeme pomocou časových rozdielov (ITD) a zvuky z intervalu 2000 až 20 000 Hz pomocou rozdielov v intenzite (ILD) (BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., 2001).

2.1.2 Kužel'nejednoznačnosti a monaurálne pomôcky

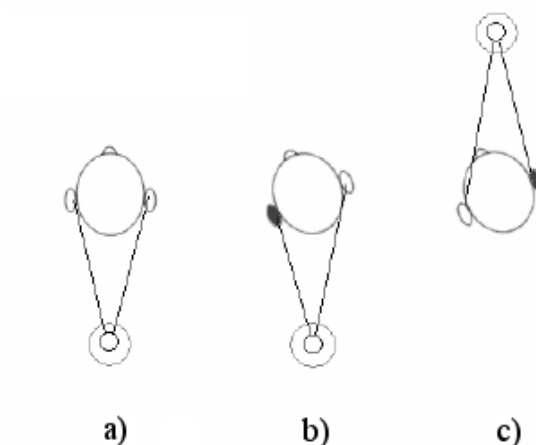
ITD a ILD zohrávajú pri lokalizácii zvukov najdôležitejšiu úlohu, no napriek tomu sa na ne nemôžeme úplne spoľahnúť. Problém totiž spočíva v tom, že neurčujú polohu zdroja zvuku úplne jednoznačne, keďže jednému konkrétnemu ITD aj ILD odpovedá viacero bodov v priestore. Pre ilustráciu, nulové ITD môže odpovedať zvuku, ktorý prichádza buď priamo spredu alebo zozadu. Vo všeobecnosti body s rovnakými interaurálnymi rozdielmi vytvárajú povrch kužela (ilustrovaného na obr. 2–4), ktorý sa nazýva kužel'nejednoznačnosti (YOST, W. A., 2000). V praxi to znamená, že síce nemáme problém „uhádnuť“ uhol vzhľadom na imaginárnu spojnicu uší, ale často nedokážeme určiť či zvuk prichádza spredu alebo zozadu, zhora alebo zdola.

Medzi ďalšie spôsoby, ktoré nám pomáhajú určiť zdroj zvuku, patrí napríklad pootočenie alebo naklonenie hlavy (LINDSAY, P. H., NORMAN. D. A., 1977), čím sa kužel' posunie a nejednoznačnosť v smere hore resp. dolu alebo vpredu resp. vzadu, sa vyrieši (obr. 2–5).

Hlavnou pomôckou pri lokalizácii okrem ITD a ILD je však posúdenie zmien v spektrálnej charakteristike zvuku, ktoré vznikli odrazmi zvukových vln od hlavy a uší. Tieto pomôcky



Obr. 2–4 Kužel nejednoznačnosti, pohľad zhora: Body na jeho povrchu majú rovnaké ITD a ILD.



Obr. 2–5 Pohyby hlavy slúžiace na rozlíšenie polohy zdroja zvuku na kuželi nejednoznačnosti. Ak by bol zdroj zvuku na azimute 180° (t.j. za hlavou), bolo by ťažké rozhodnúť, či zvuk ide z 0° alebo zo 180° , kvôli tomu, že obidve pozície majú rovnaké ITD aj ILD. Pootočením hlavy doľava sa ľavé ucho dostalo bližšie k zdroju a preto je jasné, že zvuk šiel zozadu (b). Ak by šiel spredu, bližšie by bolo pravé ucho (c).

pomáhajú hlavne pri lokalizácii vo vertikálnej rovine.

2.1.3 Lokalizácia vo vertikálnej rovine

Pri lokalizácii zvukov vo vertikálnej rovine nám interaurálne rozdiely v intenzitách a časoch nepomôžu. Kľúčovú úlohu v tomto prípade zohráva ušnica (lat. pinna). Zvuky, ktoré k nej prichádzajú, sa na jej záhyboch rôznym spôsobom odrážajú. Odrazený zvuk potom

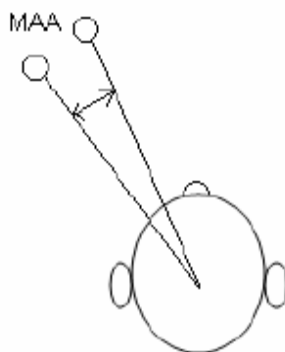
vstupuje do sluchového kanála jednak tienený a jednak s určitým omeškaním v závislosti od jeho polohy vo vertikálnej rovine (BLAUERT, J., 1983). Ak uvažujeme komplexnejšie zvuky, napr. šumy, jednotlivé frekvencie budú rôznym spôsobom potlačené a omeškané, čím sa zmení spektrum prichádzajúceho zvuku. Zvuk je teda určitým spôsobom filtrovaný. Transformáciu, ktorou zvuk prejde, popisujú tzv. smerové prenosové funkcie (angl. head-related transfer function, HRTF).

2.1.4 Minimálny počuteľný uhol

S lokalizáciou úzko súvisí priestorová rozlíšiteľnosť. Najmenší uhol medzi dvoma zdrojmi zvuku, ktorý sme schopní rozlíšiť, sa nazýva minimálny počuteľný uhol (angl. minimal audible angle, MAA, obr. 2 – 6). Najlepšiu priestorovú rozlíšiteľnosť máme pre zvuky prichádzajúce spredu, kde má MAA hodnotu približne 1° . Pre širokospektrálne zvuky sa smerom do strán rozlíšiteľnosť zhoršuje až k hodnote približne 5° (COLBURN S., 1996). MAA je taktiež závislé od frekvencie stimulu, najvyššiu hodnotu má pre frekvencie v intervale 2 až 4 kHz (YOST, W. A., 2000). Vysoké MAA, a teda zlá rozlíšiteľnosť v tomto intervale pravdepodobne súvisí s tým, že tento interval je prelomom medzi ITD a ILD ako pomôckami pri lokalizácii (YOST, W. A., 2000). Žiadna z pomôcok preto nie je dost spoľahlivá na to, aby bola presnosť rovnaká ako pre iné frekvencie.

2.1.5 Smerová prenosová funkcia (HRTF)

Zvuky sa odrážaním netransformujú len na ušnici, ale nezanedbateľný vplyv má aj tvar pliec a hlavy počúvajúceho. To, ako bol zvuk na svojej ceste od zdroja po sluchový kanál celkovo ovplyvnený, je možné určiť na základe rozdielu medzi spektrom zvuku pri zdroji a spektrom toho istého zvuku vo vonkajšom uchu. Jedným zo spôsobov ako túto zmenu merať, je napríklad použitie malých mikrofónov, ktoré sa vložia do sluchového kanála (YOST, W. A., 2000). Transformáciu, ktorou zvuk prejde od zdroja až po bubienok je možné popísať pomocou smerovej prenosovej funkcie (angl. head-related transfer function,



Obr. 2–6 Schématické znázornenie minimálneho počuteľného uhla (MAA)

HRTF) (YOST, W. A., 2000). Hlavné zmeny v HRTF sa objavujú pri vyšších frekvenciách stimulov, čo súvisí s interakciou medzi vlnovou dĺžkou stimulu a veľkosťou záhybov ucha (MOORE, B. C. J., 1996).

Každému bodu v priestore zodpovedá dvojica HRTF, jedna pre pravé a druhá pre ľavé ucho. Ak poznáme HRTF pre daný bod v priestore, vieme simulovať akýkoľvek zvuk prichádzajúci z toho bodu. Keďže HRTF závisí od tvaru hlavy a uší, je individuálna pre každého jedinca. Ak sa potom pri simulácii používa HRTF nameraná na inom človeku, vnímané pozície sa môžu od skutočných pozícií líšiť. Preto sa vo výskume súvisiacom s lokalizáciou zvukov používajú individualizované HRTF.

Ak sa HRTF merajú v miestnosti, prirodzene zahŕňajú aj odrazy od stien, podlahy atď. Pri simulácii sú niekedy tieto odrazy nežiadúce a je potrebné ich odstrániť. Na základe toho rozdeľujeme HRTF na echoické (s odrazmi) a anechoické (bez odrazov). Anechoické HRTF sa môžu vytvoriť z echoických „odrezaním“ impulznej odozvy po prvom impulze.

2.1.6 Efekt precedencie

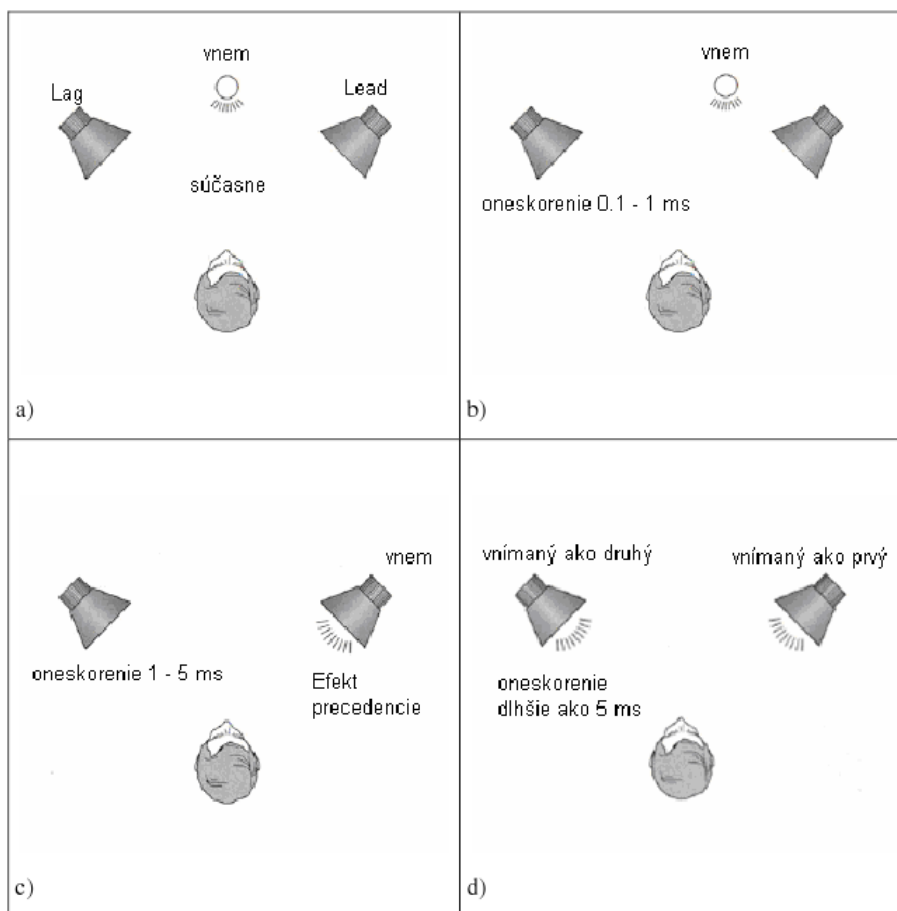
Lokalizácia zvukov v miestnostiach, kde sa zvuk odráža od stien, podlahy a ďalších objektov, je podstatne zložitejšia ako lokalizácia zvukov na otvorenom priestranstve. Mohlo by sa zdať, že skutočná poloha zvuku sa v chaose odrazov musí strácať, sluchový systém však dokáže rozlíšiť priamy zvuk od odrazeného a určí to na základe času, v ktorom dorazia k uchu. Odrazenému zvuku to trvá dlhšie, pretože prechádza dlhšiu dráhu. Sluchový systém preto pri lokalizácii berie do úvahy len prvý zvuk (priamy) a druhý potláča. Táto preferencia prvého zvuku a potlačenie druhého sa nazýva efekt precedencie (angl. precedence effect) alebo tiež „law of the first wavefront“ (angl.) (YOST, W. A., 2000) a prejavuje sa iba pri určitom oneskorení jedného zvuku voči inému. Napr. u jednoduchých zvukov v podobe kliknutí (šum dlhý 2 ms) sa prejavuje pri oneskorení 1 až 5 ms (MOORE, B. C. J., 1996), u zložitejších zvukov tiež pri väčšom oneskorení.

Potlačenie ozveny však neznamená, že zvuk s ozvenou a zvuk bez ozveny nebude rozlíšiteľný. Potlačenie echa sa prejavuje v tom, že echo sa už nevníma ako samostatný zvuk a že sa potláča alebo úplne stráca informácia o jeho pozícii v priestore (MOORE, B. C. J., 1996).

Efekt precedencie môžeme demonštrovať v laboratórnych podmienkach pomocou dvoch reproduktorov umiestnených v rovnakej vzdialenosti od poslucháča, ale v rôznych azimutoch. Z týchto reproduktorov prehráme sekvenciu dvoch stimulov, každý z iného reproduktora, pričom reproduktor, z ktorého bol prehraný prvý stimul, nazveme vedúcim (angl. lead) a druhý reproduktor oneskoreným (angl. lag). Ak je oneskorenie medzi stimulmi nulové, zvuk je vnímaný zo stredu medzi vedúcim a oneskoreným reproduktorom. Predlžovaním oneskorenia sa vnem posúva smerom k vedúcemu reproduktoru až dosiahne hranicu (pri opozdení približne 1 ms), keď je druhý zvuk úplne potlačený, kedy sa prejaví efekt precedencie. U oneskorení väčších ako 5 ms sú už vnímané oba zvuky samostatne (obr. 2–7).

Efekt precedencie môžeme pozorovať hlavne u širokospektrálnych zvukov, akými sú

napríklad šumy, reč alebo hudba. U úzkospektrálnych zvukov je efekt menej zreteľný (BLAUERT, J., BRAASCH, J., 2005). V závislosti od typu stimulu sa mení aj hranica, pri ktorej začínajú byť oba stimuly vnímané samostatne. U veľmi krátkych stimulov sa môže effect precedencie stratiť už pri oneskorení len mierne presahujúcom 1 ms, naopak pri organovej hudbe sa môže táto hranica posunúť až na 80 ms (BLAUERT, J., BRAASCH, J., 2005).



Obr. 2–7 Efekt precedencie: Ak umiestnime reproduktory každý z jednej strany a prehráme zvuk v oboch súčasne, zvuk budeme vnímať tak, akoby znel v strede medzi nimi (a). Ak v jednom prehráme zvuk o niečo neskôr (0,1 až 1 ms), zvuk budeme vnímať akoby prichádzal z miesta bližšie k reproduktoru, z ktorého zaznel prvý zvuk (b). Ak predĺžime oneskorenie medzi zvukmi na 1 až 5 ms, zvuk budeme počuť tak, akoby prichádzal len z vedúceho reproduktora – tu sa prejavuje efekt precedencie (c). Ak predĺžime oneskorenie ešte viac, vnímame už 2 zvuky, každý z jedného reproduktora (d) (FRANCIS, G.).

Efekt precedencie sa nemusí prejavovať ihneď, na jeho vybudovanie môže byť potrebný určitý

čas (MOORE, B. C. J., 1996). Napr., ak je druhý stimul oneskorený voči prvému o 8 ms, stimuly sú vnímané ako oddelené. Ak sa však tento pár stimulov prezentuje opakovane, napr. štyrikrát za sekundu, po určitom čase už druhý stimul nie je vnímaný ako samostatný stimul, to znamená, že sa vybuďoval effect precedencie.

Efekt precedencie slúži na potlačenie odrazov zvuku a tým pomáha zvuk lokalizovať v rôznych prostrediach s možnými odrazmi zvukov (v miestnostiach, a pod.). Z tohto pohľadu postupné vybudovanie efektu môže predstavovať prispôsobovanie sa prostrediu, v ktorom sa aktuálne nachádzame. Opakovaná prezentácia dvoch stimulov postupne „presvedčí“ sluchový systém, že druhý stimul je len ozvenou.

Zmena akustického prostredia teda pomáha vybudovať efekt precedencie. Prispôsobenie sa novému akustickému prostrediu v sebe zahŕňa aj stratu reprezentácií platných pre pôvodné prostredie. Ak je napr. vedúci stimul prehrávaný z nejakého reproduktora na ľavej strane a oneskorený stimul z reproduktora na pravej strane, po niekoľkých opakovaníach sa efekt precedencie vybuďuje. Ak sa potom pozície vedúceho a oneskoreného zvuku vzájomne vymenia, tento efekt zmizne a každý zvuk bude vnímaný samostatne (MOORE, B. C. J., 1996). Po niekoľkých opakovaníach sa potom opäť vybuďuje a stimuly budú opäť vnímané ako jeden.

Téma efektu precedencie sa tak vďaka adaptácii, ktorá je s ňou spojená, prelína s témou plasticity sluchového priestorového vnímania. Efekt precedencie je pravdepodobne najznámejší príklad toho, ako môže lokalizáciu nejakého zvuku ovplyvniť predchádzajúci zvuk.

2.1.7 Simulácia sluchového priestoru a lateralizácia

Štúdie zaoberajúce sa lokalizáciou zvukov často využívajú virtuálny sluchový priestor (t. j. simuláciu sluchového priestoru cez slúchadlá) namiesto skutočného.

Výhoda využitia slúchadiel spočíva v tom, že je cez ne možné generovať a prezentovať zvuky s rôznymi ITD a ILD. Postačuje, ak je jeden v jednom zo slúchadiel zvuk prehraný

skôr a hlasnejšie ako v druhom. Vplyv týchto lokalizačných parametrov sa dá sledovať samostatne (prehraním zvuku do oboch slúchadiel naraz, ale s rôznou hlasitosťou, alebo naopak s rovnakou hlasitosťou, ale s určitým časovým posunom). V skutočnom prostredí by to nebolo možné, keďže ITD a ILD sú prepojené a ak by sme zmenili jeden z týchto parametrov, automaticky sa zmení aj druhý.

Ďalšou výhodou je aj to, že ak je zvuk prezentovaný cez slúchadlá, je pravdepodobnejšie ako v reálnom prostredí, že pri opakovaných prezentáciách sa do uší subjektov dostáva ten istý zvuk. V reálnom prostredí je zložitejšie skontrolovať, aký zvuk subjekty v skutočnosti počuli a či sa na ceste od zdroja po ucho subjektu nejako nezmenil.

Simulácia sluchového priestoru cez slúchadlá sa zdá byť jednoduchou záležitosťou, snažíme sa v sluchovom kanáli vytvoriť takú vlnovú krivku, aká v ňom vzniká je pri prezentácii zvuku v reálnom prostredí, a vtedy by vnem mal byť rovnaký. Dosiahnuť to však nie je jednoduché. Darí sa celkom dobre simulovať zvuky z rôznych smerov, tie sú však väčšinou vnímané akoby vznikali v hlave (na spojnici oboch uší) a nie mimo nej. Subjekty preto musia počutý zvuk externalizovať – nejakým spôsobom premietnuť do priestoru vôkol nich, čo je neprirodené a môže mať vplyv na lokalizáciu. Preto ak sa v experimentoch skúmajúcich lokalizáciu zvukov používa simulácia, často sa od subjektov požaduje skôr určiť vnímaný posun do strany a nie konkrétny azimut, z ktorého zvuk vnímajú. Preto sa v tomto prípade namiesto pojmu lokalizácia používa pojem lateralizácia (YOST, W. A., 2000).

Keď sa mení ITD alebo ILD prezentovaných zvukov, zvukový obraz sa pohybuje vo vnútri hlavy (akoby sa v reálnom prostredí pohyboval v priestore) (YOST, W. A., 2000). Ak zmeníme ITD tak, že vnímaný obraz sa posunie do strany, pomocou určitej zmeny v ILD ho vieme vrátiť späť. Táto ekvivalencia efektu ITD a ILD na laterálnu pozíciu sa anglicky nazýva „time-intensity trading“ (voľne preložené do slovenčiny ako „zameniteľnosť času a intenzity“).

Ak sa pri simulácii prezentuje zvuk pozmenený pomocou individualizovaných HRTE, čiže

pozmenený tak, ako keby prešiel odrazmi od pliec a hlavy ako v skutočnom prostredí, zvuk sa už väčšine ľudí javí ako skutočne priestorový a presnosť lokalizácie je veľmi vysoká (YOST, W. A., 2000). Cieľom virtuálnych sluchových prostredí je síce simulovať zvuky tak, aby boli čo najpodobnejšie zvukom v skutočnom prostredí, dosiahnuť to je však relatívne náročné. Preto sa často používa jednoduchšia verzia, pri ktorej virtuálne prostredie nie je priamo prispôbené konkrétnemu človeku. Lokalizačné parametre pre danú pozíciu vo virtuálnom priestore tak presne nezodpovedajú lokalizačným parametrom pre tú istú pozíciu pri počúvaní v reálnom prostredí, v ktorom sú tieto parametre pre človeka prirodzené. Výhodou však je, že človek sa na tieto nové lokalizačné parametre dokáže pomocou dlhodobého alebo aj krátkodobého tréningu do určitej miery adaptovať a nepresnosti v lokalizácii tak klesajú (SHINN-CUNNINGHAM, B. G., STREETER, T., GYSS, J., 2001). To opäť poukazuje na plasticitu priestorového sluchového vnímania, ktorá je detailnejšie popísaná v kapitole 2.3.

2.2 Pozornosť a priestorové počutie

Štúdie ukázali, že plasticita priestorového sluchového vnímania môže byť do určitej miery ovplyvnená pozornosťou. V tejto kapitole sú popísané tieto štúdie, ale tiež základné vlastnosti pozornosti a rôzne spôsoby jej riadenia.

2.2.1 Vlastnosti pozornosti

Náš sensorický systém je vystavený veľkému množstvu podnetov – rôznym obrazom, zvukom a pod. Nie všetky však vnímame rovnako detailne. Niektoré sú pre nás dôležité, iné zase nie. Keďže nie je možné, aby mozog súčasne spracovával také množstvo podnetov, v priebehu spracovávania musia tieto podnety prejsť akýmsi filtrom, ktorý časť z nich prepustí na ďalšie spracovávanie a iné nie. Za takýto filter môžeme považovať pozornosť (PASHLER, H., 1999).

Definovať pozornosť je však do značnej miery obtiažne. Nie len preto, že zahŕňa množstvo

rôznych aspektov, ale aj preto, že stále nie je jasné, či pozornosť ako koncept, resp. pozornosť sama o sebe, vôbec existuje (PASHLER, H., 1999).

Pozornosť je charakterizovaná niekoľkými základnými vlastnosťami. Je obmedzená, to znamená, že ju nie je možné venovať všetkým podnetom naraz, a je selektívna, čo značí, že z množstva podnetov sa vyberú niektoré, ktoré budú ďalej spracovávané. V odbornej literatúre sa vizuálna pozornosť prirovnáva k pódiovému reflektoru (EYSENCK, M. W., KEANE, M. T., 2000). To, čo je reflektorom osvetlené, detailne spracujeme, a to, čo nie je, ignorujeme.

Ak hovoríme, že niečomu venujeme pozornosť, zvyčajne tým myslíme to, že ju niekam vedome zameriavame. Je to cielený proces, preto hovoríme o tzv. strategickej (endogénnej) pozornosti. Niekedy sa však stane, že nás nejaký podnet vyruší (napríklad náhly hlasný zvuk) a bez našej vedomej kontroly pritiahne na seba pozornosť. Tento fenomén sa označuje ako automatická (exogénna) pozornosť.

Pozornosť je možné rozdeliť na základe jej 3 komponentov: selekcie, vigilancie a riadenia (PARASURAMAN, R., 2000):

- Pri selekcii sa vynára otázka, na základe čoho pozornosť vyberá. Či sa pozornosť zameriava na určitú oblasť priestoru, na jednotlivé objekty, alebo na vlastnosti jednotlivých objektov. Zdá sa, že selekcia môže byť založená na každej z týchto troch možností (TREISMAN, A., 2004).
- Druhý komponent, vigilancia (bdelosť), predstavuje udržiavanie pozornosti na cieľovom objekte (PARASURAMAN, R., 2000).
- Pozornosť môže byť udržiavaná na nejakom objekte, ale tiež je možné ju presunúť na iný objekt. Táto vlastnosť je tretím komponentom pozornosti – riadením. Pozornosť môžeme riadiť viacerými spôsobmi (zrakovo, sluchovo a pod.). S tým súvisí aj otázka, aký je rozdiel medzi tým, ak je pozornosť riadená unimodálne (napr. sluchová pozornosť riadená sluchom resp. zraková zrakom) a krosmodálne (napr. sluchová pozornosť riadená zrakom, resp. zraková sluchom).

2.2.2 Multimodálne vnímanie a krosmodálne interakcie

Výskum súvisiaci s pozornosťou sa v minulosti väčšinou zaoberal len jedným zmyslom (modalitou). Študovalo sa napríklad selektívne počúvanie, alebo sa skúmala pozornosť pri vizuálnom vnímaní a pod. Pozornosť bola chápaná ako vlastnosť špecifická pre každú z jednotlivých modalít a nezávislá od ostatných modalít (DRIVER, J., SPENCE, C., 2004). Svoje okolie však vnímame viacerými zmyslami (multimodálne) a medzi nimi prebiehajú rôzne interakcie, ktoré by sme mali brať do úvahy. Takéto interakcie sa nazývajú krosmodálnymi interakciami.

Typickým príkladom multimodálneho vnímania je vnímanie reči. Ak sa hovoriaci nachádza v hlučnom prostredí, je pre nás zložité porozumieť mu. Samotné vnímanie sluchom nestačí, preto si pomáhame aj zrakom – v praxi to znamená, že sledujeme pohyb jeho pier, jeho gestá, mimiku. Vizuálna informácia dokáže podstatne ovplyvniť to, čo počujeme. Dôkazom toho je McGurkov efekt (McGURK, H., MacDONALD, J., 1976). Tento efekt sa väčšinou demonštruje na videu s detailným záberom na tvár človeka, ktorý vyslovuje slabiku „ga“, z reproduktorov však namiesto toho znie slabika „ba“. Úlohou subjektu je povedať, čo počuje. Zvyčajnou odpoveďou nie je slabika znejúca z reproduktorov, avšak ani slabika vyslovovaná človekom na videu. Počutá a videná informácia totiž spolu interagujú a výsledkom je, že subjekt počuje slabiku „da“.

Vizuálna informácia neovplyvňuje len to, čo počujeme, ale aj to, odkiaľ to počujeme. Známym príkladom je tzv. „bruchomluvecký“ efekt (SPENCE, C, DRIVER, J., 2000). Bábku vidíme pohybovať perami a preto sa nám zdá, že hovorí ona a nie človek, ktorý ju ovláda. Tento efekt sa často skúma aj experimentálne, pričom úlohou subjektu v experimente je lokalizovať zvuk, s ktorým je niekedy počas experimentu súbežne prezentovaný aj vizuálny stimul. Porovnanie lokalizácie zvukov v prípadoch, keď bol spolu so zvukom prezentovaný aj vizuálny stimul voči prípadom, kde bol prezentovaný len zvuk, poukazuje na vplyv vizuálnej informácie.

Doteraz spomínané príklady hovorili o tom, ako vizuálna informácia ovplyvňuje sluchové

vnímanie. Avšak sluchová informácia taktiež dokáže ovplyvniť to, čo vidíme. Ak subjektu prezentujeme dva pohybujúce sa vizuálne objekty, ktoré sa v určitom okamihu pretnú, subjekt ich vníma tak, že prešli jeden cez druhý a pokračovali ďalej vo svojich trajektóriách. Ak však pri stretnutí objektov prezentujeme aj sluchový stimul, vnem je taký, že vizuálne objekty sa od seba odrazili a zmenili svoju trajektóriu (RECANZONE, G., 2004).

2.2.3 Riadenie pozornosti

Mechanizmy pozornosti pomáhajú človeku vyberať dôležité objekty alebo javy zo zašumených a mäťúcich prostredí (SPENCE C., DRIVER J., 1994). Jedným zo spôsobov skúmania tohto výberu sú štúdie riadenia pozornosti. Pozornosť je privedená na určitý objekt (resp. oblasť v priestore a pod.) a skúma sa, ako ovplyvnila vnímanie daného objektu (resp. objektov v danej oblasti).

Existuje množstvo spôsobov, ako by sa dal navrhnuť experiment skúmajúci riadenie pozornosti. Táto podkapitola objasní metódy, ktoré sa zvyknú pri návrhu takýchto experimentov využívať a predstaví základné pojmy používané na popis experimentálnych procedúr.

V tejto práci sa bude prevažne spomínať tzv. priestorová pozornosť, t.j. pozornosť zameraná na určitú oblasť v priestore. Objekt, ktorý bude v experimente privádzať pozornosť, budeme nazývať vodítko (angl. cue). Vodítkom pri riadení priestorovej pozornosti môže byť napríklad nejaký vizuálny resp. sluchový stimul (bliknutie, pípnutie a pod.) prezentovaný priamo v oblasti, na ktorú má byť pozornosť zameraná, alebo tiež šípka prezentovaná v strede obrazovky ukazujúca na danú oblasť a pod. Predpokladáme, že subjekt presunul svoju pozornosť, či už cielene alebo automaticky, na miesto predikované vodítkom. Po uplynutí určitého časového intervalu od nástupu vodítka je prezentovaný cieľový stimul, na ktorý má subjekt reagovať (pri lokalizačných štúdiách je to zvuk, ktorý má subjekt lokalizovať). Často sa v experimentoch sleduje, aký vplyv má na výsledky dĺžka časového intervalu medzi vodítkom a cieľovým stimulom (t.j. vplyv množstva času poskytnutého na presun pozornosti). Na označenie časového intervalu medzi nástupom prvého stimulu

(vodítka) a druhého stimulu (cieľa) sa používa skratka SOA (z angl. stimulus-onset-asynchrony).

Pozornosť môže byť na cieľ privedená automaticky alebo cielene, na základe čoho rozoznávame automatické (exogénne, stimulom ovládané) a strategické (endogénne, ciele, vôľou ovládané) riadenie.

Automatický presun pozornosti na oblasť, z ktorej je prezentované vodítko, väčšinou nie je potrebné nejak zvlášť vyvolávať a skôr sa predpokladá, že k nemu automaticky dôjde po prezentácii vodítka, ktoré na seba upúta pozornosť. Je však tiež možné, že častou prezentáciou vodítka sa stráca jeho zaujímavosť a k presunu pozornosti v skutočnosti nedochádza.

Druhý typ presunu pozornosti, strategický, sa väčšinou v experimente dosahuje tak, že vodítko do určitej miery pomáha subjektu v úlohe, ktorú má v experimente vykonávať, a preto je preňho výhodné riadiť sa ním a cielene zameriavať svoju pozornosť na oblasť, ktorú vodítko predpovedá. Napr., ak je úlohou subjektu lokalizovať zvuk a subjekt je informovaný o tom, že vodítko stále ukáže na tú stranu, z ktorej bude daný zvuk prezentovaný, je preňho výhodné sústrediť svoju pozornosť na stranu predpovedanú vodítkom. Pri strategickom riadení pozornosti je často subjektom poskytnutá aj informácia o informatívnosti vodítka – t.j. do akej miery je možné vodítku dôverovať (napr. na koľko percent predikuje pri lokalizácii správnu stranu).

Ak zameranie resp. orientovanie pozornosti na cieľ sprevádza aj pohľad naň, jedná sa o tzv. otvorené orientovanie (angl. overt orienting). Orientovanie pozornosti bez presunu pohľadu na cieľ sa nazýva skryté orientovanie (angl. covert orienting) (SPENCE C., DRIVER J., 1994). Pri experimentoch so skrytým orientovaním je často nejakým spôsobom kontrolovaný smer pohľadu subjektu – väčšinou je v inštrukciách k experimentu uvedené, aby sa subjekt pozeral na nejaký fixačný bod umiestnený priamo pred ním a často sú odklony pohľadu od fixačného bodu počas experimentu aj sledované (napr. pomocou prístroja snímajúceho pohyb očí), aby sa mohli dáta, ktoré nespĺňajú túto podmienku

neskôr vyradiť. Smer pohľadu totiž môže mať vplyv na sluchové vnímanie (DRIVER, J., SPENCE, C., 2004).

Štúdie selektívnej pozornosti sú často zamerané na vizuálnu pozornosť. Známe sú štúdie skrytého orientovania, v ktorých subjekty majú reagovať na objavenie sa cieľového vizuálneho stimulu (napr. bliknutie svetielka) v jednej z viacerých možných pozícií v priestore. Predtým, ako je svetelný stimul prezentovaný, je pozornosť subjektu privedená na určitú oblasť v priestore (väčšinou ľavý resp. pravý polpriestor) pomocou nejakého vodička, napr. pomocou nejakého periférneho záblesku alebo v strede umiestnenej šípky ukazujúcej doprava resp. doľava. Keďže sa skúma skryté orientovanie pozornosti, subjekty nemajú spolu s pozornosťou presúvať smer pohľadu. Tieto experimenty ukázali, že ak bol cieľový stimul prezentovaný v oblasti predpovedanej vodičkom, subjekty ho vedeli lepšie detekovať (SPENCE C., DRIVER J., 1994). Priestorová pozornosť teda pri vizuálnom vnímaní predstavuje výhodu, zlepšuje vnímanie vizuálneho objektu.

Štúdií vizuálnej pozornosti je mnoho, sluchová pozornosť však ostáva viac-menej v úzadí (SCHARF, B., 1998). Podobný experiment, ako vyššie uvedený, bol viackrát prevedený aj pre sluchovú pozornosť – subjekt mal detekovať namiesto cieľového svetielka cieľový zvuk, pričom jeho pozornosť bola riadená na určitú oblasť v priestore. Tu boli však výsledky odlišné od predošlého príkladu – cieľové zvuky prichádzajúce z predpovedanej oblasti neboli detekované lepšie (SPENCE C., DRIVER J., 1994). Je však potrebné brať do úvahy, že lepšie vnímanie objektu nemusí odpovedať len jeho lepšej detekcii. Pre sluchové vnímanie boli prevedené aj rôzne obmeny tohto experimentu, kde úlohou subjektu nebolo detekovať zvuk, ale napríklad lokalizovať ho. V experimente, kde boli cieľové zvuky a vodička prezentované v ľavom alebo v pravom polpriestore vzhľadom k subjektu a kde úlohou subjektu bolo rozlíšiť, či cieľový zvuk prichádza zhora resp. zdola alebo spredu resp. zozadu, boli odpovede subjektu rýchlejšie, ak cieľový zvuk prišiel z toho polpriestoru, ktorý predpovedalo vodičko (SPENCE C., DRIVER J., 1994). Na rozdiel od štúdií detekcie zvukov sa teda pri štúdiách diskriminácie zvukov ukázala výhoda priestorovej pozornosti. V spomínanej štúdií nebola pozornosť riadená len unimodálne (sluchová pozornosť slu-

chovým vodítkom), ale aj krosmodálne (sluchová pozornosť vizuálnym vodítkom), čo odkazuje na častú tému štúdií riadenia pozornosti – či privedenie pozornosti niekam pomocou stimulu určitej modalily pozitívne ovplyvní stimuly prichádzajúce z danej oblasti, aj keď nebudú rovnakej modalily ako vodítko. Ináč povedané, či nám pomôže, ak zameriame niekam svoju pozornosť na základe toho, že na danom mieste napr. blikne svetielko, lepšie vnímať len svetielka alebo aj zvuky z tohto miesta.

Ako už naznačila spomínaná štúdia a aj mnohé ďalšie, pozitívny efekt sa prejavuje nie len v unimodálnych, ale aj v krosmodálnych prípadoch. Prezentácia vodítka jednej modalily môže vyvolať skryté presuny automatickej pozornosti v smere vodítka, ktoré spôsobia, že následne prezentované podnety, či už rovnakej alebo inej modalily, prichádzajúce z vodítkom predpovedanej oblasti alebo z jej blízkosti, budú spracované lepšie. Ukázalo sa tiež, že výhody pozornosti klesajú so zvyšujúcou sa vzdialenosťou cieľového podnetu od vodítka (SPENCE, C., McDONALD, J., 2004).

2.3 Plasticita v priestorovom sluchovom vnímaní

Samotný pojem plasticity je intuitívne jasný, evokuje schopnosť meniť sa, prispôbovať sa, pretvárať sa. Keďže sa táto práca zaoberá štúdiom priestorového sluchového vnímania, pojmom plasticita tu bude označovaná zmena v štruktúre alebo vo funkcii binaurálneho sluchového systému. Viaceré štúdie ukazujú, že priestorové sluchové vnímanie nie je statické, ale dokáže sa meniť vplyvom skúseností. V tejto kapitole bude popísané prečo tieto zmeny vznikajú, aké zmeny v sluchovej dráhe tomu podliehajú a akými spôsobmi môže byť plasticita študovaná.

2.3.1 Príčiny plasticity

Poloha zdroja zvuku v priestore nie je priamo premietnutá na kochleu, mozog ju musí odvodiť na základe toho, ako prichádzajúci zvuk interagoval s hlavou a s ušami – pomocou interaurálnych rozdielov v časoch (ITD) a intenzitách (ILD) a amplitúdového spektra

v každom uchu (viď. kapitoly 2.1.1 a 2.1.3). Hodnoty týchto sluchových lokalizačných parametrov musí mozog asociovať s odpovedajúcim miestom v priestore. Sú však tieto asociácie nemenné? Bude konkrétnym hodnotám lokalizačných parametrov odpovedať stále to isté miesto v priestore? Na jednej strane, ak má byť lokalizácia správna a konzistentná, správne naučené asociácie by sa meniť nemali. Už naučená asociácia sa však môže stať nesprávnou a vtedy by sa sluchový systém mal dokázať zmene prispôbiť, to znamená priradiť polohu v priestore nové odpovedajúce hodnoty lokalizačných parametrov.

Adaptácia prebieha napríklad v detstve, keď človek rastie – dochádza pri tom k anatomickým zmenám hlavy. Rast hlavy ovplyvňuje ITD (uši sa dostávajú ďalej od seba a zvyšuje sa tým oneskorenie, s akým zvuk dorazí do druhého ucha) a ILD, mení sa tiež tvar vonkajšieho ucha, čo vplýva na spektrálne charakteristiky. Plasticita je preto v tomto období nevyhnutná (MOORE, D. R., KING, A. J., 2004).

Ďalším príkladom, prečo by plasticita binaurálneho systému mala existovať je, že sa pohybujeme sa v rôznych akustických prostrediach – niekedy na otvorenom priestranstve, inokedy v rôzne veľkých miestnostiach, kde sa zvuk odráža, čo teoreticky komplikuje lokalizáciu zvukov. To, že dokážeme relatívne bez problémov správne lokalizovať zvuk nezávisle od prostredia, naznačuje, že sluchový systém sa s tým vie nejakým spôsobom vysporiadať a dokáže sa adaptovať.

Nemusíme však brať do úvahy len prirodzené zmeny súvisiace s vývojom. Ak napríklad dôjde k poškodeniu sluchu v jednom uchu alebo v nejakej časti dráhy spracovania zvuku, konkrétne hodnoty sluchových parametrov už opäť odpovedajú inému miestu v priestore. Bolo by veľkou výhodou (možno niekedy aj nevyhnutnosťou pre prežitie organizmu), ak by sa mozog dokázal na tieto nové hodnoty parametrov nejakým spôsobom adaptovať.

Pod plasticitou binaurálneho sluchového systému budeme teda chápať akúkoľvek zmenu v štruktúre alebo funkcii binaurálneho sluchového systému vyvolanú zmenenými vstupmi (vyskytujúcimi sa či už prirodzene alebo ako dôsledok rastu hlavy), alebo ako dôsledok prezentovania abnormálnych vstupov – pričom abnormálny vstup môže byť vyvolaný

klinicky (chorobou) alebo experimentálne (prekrytím jedného ucha) (MOORE, D. R., KING, A. J., 2004).

2.3.2 Anatomický lokus priestorovej plasticity v sluchovej dráhe

Plasticita prejavujúca sa ako zmeny v lokalizácii zvukov môže teoreticky prebiehať na rôznych úrovniach spracovania sluchového podnetu. Najčastejšie sa plasticita skúma v sluchovej priestorovej mape lokalizovanej v mozgovej štruktúre nazývanej stredný mozog. Plasticita sa skúmala na ľuďoch aj na zvieratách a jej neurálna báza je asi najlepšie zmapovaná u mozgu sovy. Aj keď sa jednotlivé oblasti lokalizačnej dráhy v mozgu sovy a človeka líšia, pochopenie plasticity priestorovej sluchovej mapy sovy môže pomôcť pochopiť obdobnú plasticitu u človeka.

Na ceste spracovávaní sluchového podnetu od kochley až po sluchový kortex sú jednotlivé oblasti prevažne tonotopicky organizované (rôzne frekvencie sa spracovávajú v samostatných kanáloch), na určitom mieste v strednom mozgu sa však jednotlivé frekvenčné kanály zbiehajú a vytvárajú topograficky organizovanú mapu sluchového priestoru. Táto mapa pozostáva z neurónov naladených na konkrétne hodnoty lokalizačných parametrov, teda na konkrétne pozície v priestore.

Miesto, kde sa táto mapa v lokalizačnej dráhe v mozgu sovy vytvára, sa nazýva „externé jadro Colliculu inferior“ (ICX) (SHAW, D., McEACHERN, J., 2000), do ktorého prichádzajú výstupy z centrálného jadra (ICC) pre jednotlivé frekvencie. Táto sluchová mapa je potom premietnutá do ďalšej štruktúry, nazvanej optické tektum (u cicavcov tiež nazývanom aj Colliculus superior), kde sa k nej pridáva aj vizuálna mapa (a ďalšie senzorické mapy), pričom tieto mapy sú vzájomne zarovnané a vytvárajú tak jednotnú multimodálnu reprezentáciu priestoru (SHAW, D., McEACHERN, J., 2000) (CARR, C., 2002). Táto mapa slúži na generovanie orientačných pohybov (je zodpovedná napríklad za to, že sa pozrieme na miesto, odkiaľ sme počuli zvuk) (CARR, C., 2002). Multimodálna reprezentácia priestoru sa na neurálnej úrovni prejavuje tak, že v tekte sú neuróny, ktoré okrem

sluchových stimulov reagujú aj na vizuálne stimuly a ich vizuálne a sluchové receptívne polia sú navzájom zarovnané. Ak poznáme polohu vizuálneho receptívneho poľa takého neurónu, vieme na základe toho povedať, na aké hodnoty lokalizačných sluchových parametrov by mal daný neurón za normálnych okolností reagovať. Týmto spôsobom je potom možné sledovať zmeny, ktoré v ladení neurónov vzniknú (KNUDSEN, E. I., ZHENG, W., DEBELLO, W. M., 2000), čo vlastne znamená sledovať plasticitu.

V doterajších výskumoch ohľadom binaurálnej plasticity sa skúmali zmeny hlavne na tejto úrovni. Mapa v optickom tekte však nie je jediným miestom, kde môže k binaurálnej plasticite dochádzať. Plasticita sa hľadá aj v sluchovom kortexe (KING, A. J., SCHNUPP, J. W. H., DOUBELL, T. P., 2001).

Zarovnanie vizuálnej a sluchovej mapy v optickom tekte má svoj význam. Keďže priestorová mapa v tekte slúži na riadenie orientačných pohybov, musí byť reprezentácia priestoru pre jednotlivé modality jednotná. Ak vnímaná poloha zdroja zvuku nezodpovedá skutočnej (resp. vizuálne vnímanej), mozog sa snaží tento rozdiel eliminovať. Dominantná je pri tom vizuálna mapa a sluchová sa jej prispôsobí. V praxi to vyzerá tak, že ak napríklad vidíme, že zdroj zvuku je priamo pred nami, ale počujeme ho znieť napr. z 20-tich stupňov sprava, vnímaná poloha zvuku sa posunie podľa toho, čo hovorí vizuálna mapa, t.j. do stredu.

Vizuálna mapa je v takýchto senzorických konfliktoch spoľahlivejšia pravdepodobne vďaka tomu, že je projekciou sietnicovej mapy, kým sluchová mapa sa musí vypočítať z hodnôt sluchových parametrov (POPPER, A. N., FAY, R. R., 2005).

Typickým príkladom na dominanciu vizuálnej mapy je bruchomluvecký efekt, spomínaný už v kapitole 2.2.2. Vnem polohy zdroja zvuku sa posunie podľa vizuálneho vnemu.

Fakt, že sluchové vnímanie priestoru sa takto prispôsobuje vizuálnemu, inšpiroval k mnohým experimentom, v ktorých bola súbežne so zvukom prezentovaná nejaká vizuálna informácia a sledovalo sa, ako ovplyvní vnímanú polohu zvuku, alebo vizuálna informácia predstavovala spätnú väzbu o správnosti vnímanej polohy zdroja zvuku.

Sluchové priestorové vnímanie sa však nekalibruje iba na základe vizuálnej spätnej väzby. Kalibrácia sa môže v neprítomnosti vizuálnej spätnej väzby udiat' aj vo vyšších mozgových oblastiach. Jednou z kalibračných spätných väzieb na tejto úrovni je napr. propiocepčia (uvedomovanie si polohy tela a častí tela) informujúca sluchový systém o polohe hlavy a tela v priestore (RAUSCHECKER, J., 2003).

2.3.3 Spôsoby štúdia plasticity

Ako bolo spomenuté už v predošlej kapitole, výskum plasticity prebieha jednak na ľudských subjektoch, ale z veľkej časti aj na zvieratách. Jedným z najzaujímavejších živočíšnych druhov pre tento typ výskumu sú sovy (KNUDSEN, E. I., ZHENG, W., DEBELLO, W. M., 2000). Pre sovy ako nočné predátory je lokalizácia zvukov životne dôležitá. Je pre ne špecifické to, že nedokážu takmer vôbec pohybovať očami a keď chcú zamerať pohľad na zdroj zvuku (svoju potenciálnu korisť), musia otočiť hlavu daným smerom (MOORE, D. R., KING, A. J., 2004), čo je pre experimenty relatívne ľahko merateľný spôsob odpovedania. Pohyby hlavy sovy sa potom vyhodnocujú a určí sa presnosť lokalizácie. Veľká časť experimentov spomínaných v tejto kapitole bola prevedená práve na sovách.

Existuje viacero spôsobov vyvolávania plasticity. Spomedzi nich najvýznamnejšími sú:

- prekrytie jedného ucha
- posun vizuálneho poľa
- dlhodobé vystavenie konštantnému zvuku
- efekt precedencie

Schopnosť sluchového systému adaptovať sa môžeme sledovať napríklad tak, že určitým spôsobom zmeníme hodnoty lokalizačných parametrov (ITD, ILD a pod.), ktoré vyvolá zvuk znejúci z konkrétneho miesta v priestore. Jedným zo spôsobov, ako to dosiahnuť, je napríklad prekrytie jedného ucha (KING, A. J., PARSONS, C. H., MOORE, D.R., 2000). Je jednoduché si predstaviť, ako sa tým zmení napr. ILD pre zvuk znejúci z určitého miesta.

Mozog je naučený, že ak zaznie zvuk o niečo hlasnejšie v pravom uchu ako v ľavom, zvuk musí prichádzať odniekiaľ sprava. Ak pravé ucho prekryjeme, zvuk prichádzajúci sprava bude znieť hlasnejšie v ľavom uchu, čo spôsobí zmätok v lokalizácii, obzvlášť ak je k dispozícii vizuálna spätná väzba, ktorá hovorí, kde sa objekt skutočne nachádza. Cieľom je sledovať, či sa sluchový systém dokáže prispôbiť zmeneným podmienkam, t.j. či už naučené mapovanie dokáže lokalizačné parametre (poloha) upraviť (premapovať) tak, aby lokalizácia bola presná.

Ukázalo sa, že ak sa sovám prekrylo jedno ucho, ich odpovede v podobe otočenia hlavy boli posunuté smerom k neprekrytému uchu (KNUDSEN, E. I., ZHENG, W., DEBELLO, W. M., 2000). Ak sa ucho nechalo prekryté dlhšiu dobu, mladé sovy (mladšie ako 2 mesiace) sa dokázali prispôbiť zmeneným hodnotám sluchových lokalizačných parametrov a po čase bola ich lokalizácia opäť správna. Staršie sovy to však nedokázali (MOORE, D. R., KING, A. J., 2004). Ak sa sovám adaptovaným na nové hodnoty lokalizačných parametrov ucho opäť odkrylo, lokalizácia bola opäť na začiatku nepresná (odpovede boli posunuté smerom k odkrytému uchu), po čase sa však posuny stratili a schopnosť správne lokalizovať zvuk sa u mladších sov zase obnovila (MOORE, D. R., KING, A. J., 2004).

Ak by sme chceli sledovať ako sa táto adaptácia prejavuje v mozgových štruktúrach, môžeme sa zamerať na priestorovú mapu v optickom tekte. Pri experimentoch s dlhodobým prekrytím ucha neuróny optického tekta zmenili ITD a ILD, na ktoré sú naladené, a sluchové receptívne polia neurónov sa zarovnali s vizuálnymi.

V experimentoch s prekrývaním ucha sa mohla adaptácia udiť vďaka tomu, že nesprávna sluchom vnímaná poloha zdroja zvuku sa upravovala na základe vizuálnej spätnej väzby, ktorá hovorila o tom, kde sa objekt skutočne nachádza. V ďalších experimentoch sa zisťovalo, či sa adaptácia udeje aj vtedy, ak nezmeníme sluchový vstup, ale vizuálny – keď sa sovám pomocou špeciálnych okuliarov, tzv. „priziem“, posunie vizuálne pole. Aj v tomto prípade došlo k adaptácii a sluchové receptívne polia sa v priebehu niekoľkých týždňov zarovnali s novými vizuálnymi. Po odstránení priziem sa neuróny naladili na normálne ITD a táto schopnosť sa netýkala len mladých jedincov (KNUDSEN, E. I.,

ZHENG, W., DEBELLO, W. M., 2000).

Posun vizuálneho poľa môže byť preto ďalším zo spôsobov vyvolávania plasticity. Posunom totiž vznikne konflikt medzi sluchovo a vizuálne vnímanou polohou zdroja zvuku, a keďže vizuálna spätná väzba má veľký vplyv na kalibráciu sluchovej priestorovej mapy (sluchová mapa sa snaží zarovnať s vizuálnou), vznikajú plastické zmeny.

U ľudí boli napríklad študované zmeny vo vertikálnej lokalizácii. Ako už bolo uvedené v kapitole 2.1.3, pri vertikálnej lokalizácii sú pomocníkmi zmeny v spektrálnej charakteristike zvuku, ku ktorým dochádza hlavne pri odrazoch na záhyboch vonkajšieho ucha. Ak boli spektrálne charakteristiky ovplyvnené prekrytím záhybov a vymodelovaním nových pomocou tvarovateľnej hmoty, viedlo to najprv zhoršeniu lokalizácie, po niekoľkých týždňoch sa však obnovila. To, že dôjde k adaptácii sa viac-menej očakávalo, zaujímavejšie však bolo zistenie, že po odstránení umelých záhybov boli subjekty schopné hneď lokalizovať zvuky s takou správnosťou ako pred začatím experimentu. Znamená to, že boli schopní používať 2 rôzne množiny hodnôt spektrálnych parametrov na určenie odpovedajúcej polohy vo vertikálnej rovine (KNUDSEN, E. I., ZHENG, W., DEBELLO, W. M., 2000).

Na vyvolanie plasticity sa ako ďalší zo spôsobov používa tiež dlhodobé vystavenie konštantnému zvuku. Zistilo sa, že ak bol subjektom prezentovaný konštantný zvuk s dlhším trvaním (napr. 4 minúty) – adaptor, ovplyvnilo to vnímanie po ňom nasledujúceho zvuku a to tak, že vnímaná poloha zvuku bola posunutá smerom od adaptoru (CARLILE, S., HYAMS, S., et al., 2001).

Často sa skúma aj plasticita súvisiaca s efektom precedencie (viď. kapitola 2.1.6). Experiment väčšinou prebiehal v anechoickej miestnosti s dvoma reproduktormi, z ktorých jeden bol určený na prehrávanie vedúceho zvuku a druhý na prehrávanie oneskoreného zvuku. Pri určitom oneskorení druhého zvuku bola sekvencia zvukov vnímaná len ako jeden zvuk prichádzajúci z vedúceho reproduktora (teda prejavil sa efekt precedencie). Ak sa vymenili reproduktory (z vedúceho reproduktora sa stal oneskorený a naopak), efekt

precedencie zmizol, ale po určitom čase sa opäť vybudoval (MOORE, B. C. J., 1996), čo poukazuje na plasticitu.

Spôsoby vyvolania plasticity sa dajú rozdeliť na tie, ktoré sú typu zdola-nahor (angl. bottom-up) a tie typu zhora-nadol (angl. top-down). Ak si predstavíme spracovávanie sluchového podnetu ako cestu od počiatočného senzorického až po nejaké zložitejšie spracovávanie, dlhodobé vystavenie konštantnému zvuku predstavuje príklad na vyvolanie plasticity typu zdola-nahor v tejto hierarchii. Pravdepodobne to súvisí s habituáciou priestorových reprezentácií – neuróny predstavujúce určitú polohu v priestore sa „unaví“. Vizuálna alebo akákoľvek iná spätná väzba je príklad na vyvolanie plasticity typu zhora-nadol – tým, že táto informácia hovorí o tom, kde by sa mal sluchový objekt nachádzať, ovplyvňuje nižšiu úroveň, čo sa prejaví ako premapovanie sluchovej priestorovej mapy. Ako vyvolanie plasticity typu zhora-nadol môžeme chápať aj také, ktoré súvisí so zameriavaním pozornosti.

2.3.4 Časové škály plasticity

Plastické zmeny môžu prebiehať na rôznych časových škálach. Študujú sa dlhodobé zmeny (vznikajúce v priebehu niekoľkých dní alebo týždňov), ako napríklad spomínané adaptácie na posunuté vizuálne pole, ale aj krátkodobé (vznikajúce v priebehu niekoľkých minút), ktoré predstavujú rýchlu adaptáciu na meniace sa prostredie. Predpokladá sa, že dlhodobé a krátkodobé adaptácie neprebiehajú v mozgu na tom istom mieste. Dlhodobé adaptácie ovplyvňujú sluchovú priestorovú mapu v optickom tekte, ako bolo ukázané aj na soviach – mapa sa premapovala. Krátkodobá adaptácia sa však pravdepodobne odohráva na vyššej úrovni lokalizačnej cesty, až v kortexe. Je možné, že sa pri nej v skutočnosti nemení reprezentácia priestoru (na dané hodnoty lokalizačných parametrov neodpovedá iný neurón ako pred adaptáciou), ale len mapovanie vnímanej polohy odpoveď subjektu (SHINN-CUNNINGHAM, B. G., 2000).

2.4 Aplikácie sluchového výskumu

Výsledky výskumu sluchu je možné aplikovať v rôznych oblastiach. Z množstva aplikácií vyberiem dve, ktoré súvisia s priestorovým sluchovým vnímaním ako aj s pozornosťou a plasticitou, a to kochleárne implantáty a sluchové displeje.

2.4.1 Kochleárne implantáty

Kochleárny implantát je malé elektronické zariadenie, ktoré pomáha ťažko alebo úplne nepočujúcim ľuďom poskytnúť určitý sluchový vnem. Kochleárne implantáty sa líšia od načúvacích strojčekov, pracujú na inom princípe. Načúvacie strojčky zvuky len zosilňujú, používajú sa preto v prípadoch, keď poškodenie nie je veľmi vážne. Úlohou kochleárnych implantátov však nie je zosilnenie zvuku (ktoré by pri vážnych poškodeniach sluchu ani nemalo význam), ale priama elektrická stimulácia sluchového nervu. Signály, ktoré sú po sluchovom nerve posielané do mozgu, mozog vníma ako zvuk (MOORE, B. C. J., 1996).

Na detailnejšie pochopenie funkcie kochleárneho implantátu je potrebné predstaviť si, ako funguje zdravý sluch. Zvuk prechádza cez vonkajšie, stredné a vnútorné ucho, kde sa rôznym spôsobom transformuje. Vo vnútornom uchu v štruktúre zvanej slimák (kochlea) sa vibrácie spôsobené zvukom pomocou tzv. vláskových buniek premieňajú na neurálne impulzy (viď. kapitola 2.1). Tie sa prenášajú do vyšších mozgových centier, kde sú interpretované ako zvuky (CLARK, G., 2003). Ak sú tieto vláskové bunky poškodené, sluchový systém nemá ako transformovať vlnenie na neurálne impulzy a dochádza k poruche sluchu. Kochleárny implantát teda obchádza normálny mechanizmus počutia (od vonkajšieho ucha až po vnútorné vrátane vláskových buniek).

Kochleárny implantát sa dá rozdeliť na vonkajšiu a vnútornú časť. Vonkajšia je umiestnená za vonkajším uchom a vnútorná je voperovaná pod kožu pacienta. Kochleárny implantát pozostáva z týchto častí (CLARK, G., 2003):

- Smerový mikrofón, ktorý premieňa zvuky na elektrické napätia, ktoré sa prenášajú

do malého rečového procesora pripevneného za uchom (alebo väčšieho pripevneného na opasku).

- Rečový procesor filtruje tento vstup do frekvenčných pásiem a kóduje rečový signál v jednotlivých časových okamihoch a tento kód je prenášaný rádiovými vlnami cez kruhový vysielač cez pokožku do prijímača-stimulátora implantovaného v spánkovej kosti.
- Prijímač-stimulátor dekoduje signál a vyprodukuje vzor elektrických prúdov v zväzku elektród vložených do vnútorného ucha, aby stimulovali vlákna sluchového nervu.

Pre návrh kochleárných implantátov je výskum priestorového sluchu kriticky dôležitý. Taktiež pomôže pri rozhodnutí, či je lepšie implantovať implantáty do oboch uší alebo len do jedného. Keďže priestorový sluch pomáha napríklad pri vnímaní reči v zašumenom prostredí, ľudia s dvoma implantátmi majú v tomto prostredí výhodu. Taktiež dokážu lepšie lokalizovať zvuky (DUNN, C. C., et al., 2006).

Zvuky vnímané pomocou kochleárneho implantátu sa líšia od zvukov vnímaných pri normálnom počutí. Signál, ktorý je vygenerovaný kochleárnym implantátom pomocou obmedzeného počtu stimulujúcich elektród, je relatívne obmedzený, nedokáže obsiahnuť všetky jemné variácie sluchového prostredia, napriek tomu je väčšina ľudí s implantátom schopná výborne porozumieť reči. Svoju úlohu v tom zohráva aj sluchový kortex, ktorý dopĺňa chýbajúce informácie a naučí sa interpretovať takto ochudobnený signál (SHEPHERD, R., et al., 2006). To je ďalší z prejavov plasticity sluchového systému. Je teda potrebný určitý čas, kým sa pacienti naučia počúvať pomocou implantátu, potom však dokážu porozumieť jednotlivým zvukom v prostredí a aj hovorenej reči.

Taktiež sa zistilo, že rozdielne sa na implantát adaptujú ľudia, ktorí stratili sluch pred alebo po získaní rečovej schopnosti (prelingválne alebo postlingválne nepočujúci). Postlingválne nepočujúci sa adaptovali veľmi rýchlo po implantácii, prelingválne nepočujúci v závislosti od toho, v akom veku dostali implantát. Čím boli mladší, tým bol efekt lepší (SHEPHERD,

R., et al., 2006).

2.4.2 Sluchové displeje

Asi najpoužívanejším spôsobom, ako preniesť informáciu z počítača človeku, je zobrazit' ju. Niekedy má však význam prezentovať informáciu aj iným zmyslom, napríklad sluchovo. Zariadenie, ktoré používa na prenos informácie z počítača človeku zvuk, sa nazýva sluchový displej. Často sa používa v prípadoch, ak je potrebné sledovať viacero informácií súčasne - napríklad pri vykonávaní nejakej úlohy súčasne monitorovať stav inej.

Sluchový displej môže byť použitý ako doplnok vizuálneho alebo samostatne. Je vhodný hlavne v prípade, keď treba detekovať zmenu nejakej premennej v čase. Hodí sa na rôzne výstražné informácie, sluchom ich ľahšie zaregistrujeme, pretože sluchovo vnímame celý priestor, kým vizuálne len časť priestoru. Jedným z konkrétnych príkladov využitia sluchových displejov je napríklad monitorovanie stavu pacienta počas anestézy (SANDERSON, P. M., WATSON, M. O., RUSSELL, W. J., 2005), keď je potrebné sledovať stav viacerých premenných – telesnú teplotu, krvný tlak, úroveň CO₂ v krvi, a pod. Anesteziológovia musia integrovať informácie z viacerých monitorov, aby mali prehľad o stave pacienta a prezentovanie niektorých premenných zvukovo im v určitom zmysle ich úlohu zjednodušuje. Ak prezentujeme viacero zvukových informácií súčasne, je pre nás jednoduchšie vyčleniť a zamerať sa na jednu z ostatných vtedy, ak sú priestorovo oddelené, na čo poukázal už Collin Cherry v 50-tych rokoch (CHERRY, E. C., 1953) (SHINN-CUNNINGHAM, B. G., STREETER, T., 2005). Ináč povedané, ak máme v konverzačnom šume počúvať jedného človeka, oveľa lepšie mu porozumieme, ak je priestorovo oddelený od ostatných. Ak má napríklad letový dispečer počúvať správy od dvoch pilotov a striedavo sa vedieť zamerať raz na jedného, raz na druhého, je výhodné, aby každý znel z jedného slúchadla. Typické oblasti, kde by sa ešte dalo vhodne aplikovať priestorové oddelenie zdrojov zvuku sú napríklad telekonferencie alebo multikanálové rádiokomunikácie (SHINN-CUNNINGHAM, B. G., 2001). V súvislosti s tým vznikli tzv. priestorové sluchové displeje, ktoré simulujú zvuky tak, ako keby prichádzali z rôznych

smerov.

Výskum priestorového sluchového vnímania a pozornosti je dôležitý pre návrh sluchových displejov a pre pochopenie toho, aké ďalšie výhody môžu prinášať. Predmetom výskumu je napríklad to, či sa použitím virtuálnych sluchových priestorových displejov dá dosiahnuť lepšie sluchové priestorové rozlíšenie (SHINN-CUNNINGHAM, B. G., STREETER, T., 2005).

3 Experimentálna časť

Tento experiment nadväzuje na štúdiu „Sound localization with a preceding distractor“ (KOPČO, N., BEST V., SHINN-CUNNINGHAM, B. G., 2007) a na experiment Ing. Beáty Tomoriovej k dizertačnej skúške (TOMORIOVÁ, B., 2008). Dáta sú namerané na 7 subjektoch.

3.1 Motivácia

V predošlej štúdiu (KOPČO, N., BEST V., SHINN-CUNNINGHAM, B. G., 2007) sa ukázalo, že ak bol distraktorom stimul pozostávajúci z viacerých po sebe nasledujúcich kliknutí, vyvolal väčšiu plasticitu ako stimul, ktorý pozostával iba z jedného kliknutia. V experimente B. Tomoriovej (TOMORIOVÁ, B., 2008) bolo použité ako distraktor jedine jedno kliknutie (resp. krátky šum, ktorý znel ako kliknutie) a bolo otestované aké SOA (rozdiel medzi nástupom dvoch po sebe nasledujúcich stimulov) a aký pomer distraktorových meraní k nedistraktorovým meraniam v rámci kola vyvolávajú najväčšiu plasticitu.

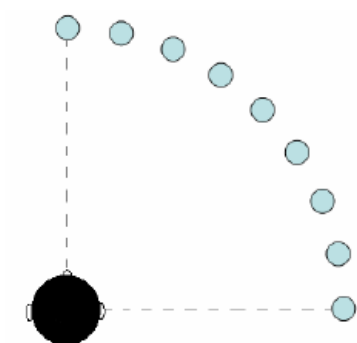
Cieľom tohto experimentu je s použitím SOA a distraktorových meraní k nedistraktorovým meraniam, ktoré vyvolávajú najväčšiu plasticitu, porovnať rôzne typy distraktorov, konkrétne jedno kliknutie, osem kliknutí a pseudonáhodný šum s rovnakým trvaním ako distraktor pozostávajúci s ôsmich kliknutí.

3.2 Hypotézy

- jedno kliknutie vyvolá približne rovnakú plasticitu ako vyvolalo v predošlom experimente pre rovnaké SOA a pomer distraktorových a nedistraktorových meraní,
- osem kliknutí vyvolá silnejšiu plasticitu ako jedno kliknutie,
- šum vyvolá slabšiu plasticitu ako jedno kliknutie.

3.3 Experimentálny aparát

Experimentálny aparát ostáva rovnaký ako u experimentu B. Tomoriovej (TOMORIOVÁ, B., 2008), oprtoto pôvodnému experimentu však bol premiestnený do zvukotesnej miestnosti. Subjekt je usadený v strede štvrtkruhu (3 – 1), ktorý tvorí rovnomerne rozostavených 9 reproduktorov (na pozíciách 0 až 90 stupňov). Dva krajné reproduktory sú určené len na prezentáciu distraktorových stimulov, ostatné na prezentáciu cieľových zvukov. Cieľové zvuky subjekt lokalizuje pomocou ukazovátka a polohu ukazovátka, hlavy subjektu a jednotlivých reproduktorov sníma kamera.



Obr. 3–1 Schéma priestorového usporiadania experimentu, pohľad zhora. Subjekt je usadený v strede štvrtkruhu tvoreného deviatimi rovnomerne rozostavenými reproduktormi (na obrázku sú schematicky znázornené kruhmi). Krajné reproduktory sú distraktorové – v priebehu kola z jedného z nich opakovane znie distraktor, ktorý vyvoláva plasticitu. Cieľový zvuk je prezentovaný z náhodného nedistraktorového reproduktora. Na obrázku je zobrazené otočenie subjektu vľavo.

3.4 Experimentálna procedúra

V úvode by som chcel vysvetliť niektoré pojmy, ktoré budú v tejto časti práce použité. Stimul je podnet, ktorý je subjektu prezentovaný a na ktorý by mal reagovať. V tomto experimente sú stimulmi výlučne zvuky. Meranie (angl. trial) pozostáva z prezentovania stimulov a odpovede subjektu na ne. V meraní sa môže vyskytnúť len jeden cieľový

stimul (t. j. taký, na ktorý subjekt odpovedá) alebo jeden distraktorový stimul (na ktorý subjekt neodpovedá, tento stimul je však potrebný na vyvolanie plasticity) nasledovaný cieľovým stimulom. Merania, v ktorých prezentujeme distraktor nazveme distraktorovými meraniami a merania, v ktorých plasticitu nevyvolávame nazveme nedistraktorovými.

Ako jednotlivé stimuly boli použité nasledovné zvuky:

- 1. typ distraktora – jedno kliknutie tvorené šumom s trvaním 2 ms,
- 2. typ distraktora – osem kliknutí, kde každé kliknutie je tvorené šumom s trvaním 2 ms (identickým s 1. distraktorom) a časový rozostup medzi jednotlivými kliknutiami je 125 ms,
- 3. typ distraktora – pseudonáhodný šum rovnakej dĺžky ako 2. typ distraktora a s rovnakou RMS energiou,
- cieľový stimul – identický s 1. typom distraktora, t. j. šum s trvaním 2 ms.

Experimentálna procedúra bola naprogramovaná v jazyku Matlab. Pozostáva zo 4 sedení.

Každé sedenie pozostáva zo 7 kôl, kde:

- v kolách s ID 1 a 5 je distraktorom jedno kliknutie,
- v kolách s ID 2 a 6 je distraktorom osem kliknutí,
- v kolách s ID 3 a 7 je distraktorom pseudonáhodný šum,
- a v kole s ID 4 sa nevyskytuje žiaden distraktor, pričom toto kolo je využívané ako referenčné, keďže sa v ňom nevytvára žiadna plasticita.

Kolá, v ktorých vyvolávame plasticitu (čiže obsahujú distraktorové merania) nazveme kolami distraktorovými a kolá, v ktorých plasticitu nevyvolávame (čiže obsahujú len nedistraktorové merania) nazveme nedistraktorovými kolami.

Každé kolo pozostáva zo 175 trialov, čo predstavuje 25 subkôl. Subkolo je časť kola, v ktorej sa prezentuje 7 meraní, kde z každého cieľového reproduktora je prehraný práve

jeden cieľový stimul. Poradie prehrávania stimulov z jednotlivých reproduktorov v rámci subkola je v náhodné.

Prvé 2 subkolá každého distraktorového kola pozostávajú len z nedistraktorových meraní, táto časť kola sa nazýva pre-adaptačná, keďže zatiaľ plasticita nie je vyvolávaná. Po tejto časti nasleduje adaptačná časť, v ktorej sa plasticita vyvoláva pomocou distraktorových meraní. Táto časť pozostáva z 20 subkôl, v ktorých 75% meraní je distraktorových a 25% meraní je nedistraktorových. Nedistraktorové merania sú medzi distraktorové náhodne zamiešané s rovnomernou distribúciou. Nedistraktorové merania v adaptačnej časti sú dôležité na „zmeranie“ vyvolanej plasticity a ich pomer voči distraktorovým bol vybratý ako pomer vyvolávajúci najväčšiu plasticitu spomedzi 3 rôznych pomerov v štúdiu B. Tomoriovej (TOMORIOVÁ, B., 2008). Po adaptačnej časti nasleduje post-adaptačná časť, ktorá pozostáva z 3 subkôl obsahujúcich len nedistraktorové merania.

V nepárnych kolách (ak kolá číslujeme v rámci celého experimentu, t. j. 1 až 28) je subjekt otočený vždy čelom k ľavému distraktorovému reproduktoru, z ktorého v týchto kolách znie distraktorový stimul, pokiaľ sa jedná o distraktorové kolo. V párnych kolách je subjekt vždy otočený k pravému distraktorovému reproduktoru, z ktorého, ak sa jedná o distraktorové kolo, znejú distraktové stimuly.

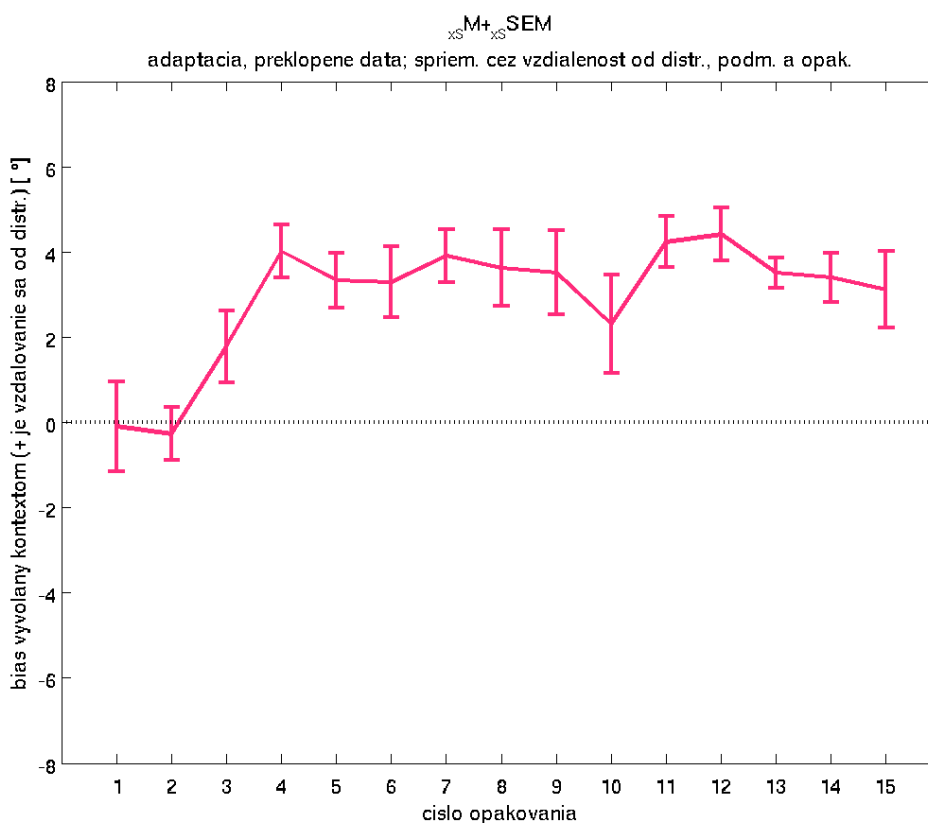
Jednotlivé typy kôl sú v rámci sedení vždy náhodne zamiešané, pričom v 1. a 3. sedení je subjekt pre príslušné typy kôl otočený k opačnému distraktorovému reproduktoru ako v 2. a 4. sedení, čo zabezpečuje, že každý typ kola sa vyskytne rovnako veľa krát pre jedno i druhé otočenie.

Časový rozdiel medzi prezentovaním distraktorového a nedistraktorového stimulu (angl. inter-stimulus interval, ISI) v celom experimente je 23 ms, čo u distraktorového merania s distraktorom typu 1 (jedno kliknutie) predstavuje SOA 25 ms.

3.5 Spracovanie a analýza dát

V tejto časti popíšem analýzy dát nameraných počas experimentu a výsledky, ktoré z týchto analýz vyplývajú. Výsledky analýz sú zhrnuté v grafoch.

Graf 3–2 zobrazuje adaptáciu odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách, dáta sú preklopené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky typy distraktových kôl a cez všetky opakovania. Na osi x sú nanesené čísla jednotlivých subkôl a na osi y posuny odpovedí v jednotlivých subkolách voči nedistraktorovým kolám. Posuny sú uvedené v stupňoch.



Obr. 3–2 Adaptácia odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách. Dáta sú preklopené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky typy distraktových kôl a cez všetky opakovania.

Z grafu 3–2 si môžeme všimnúť, v prvých 2 subkolách nedochádza takmer k žiadnym

posunom, keďže adaptácia ešte nezačala. V 3. subkole sa začína adaptácia, tá je však ešte slabá. V 4. subkole už adaptácia nastala a môžeme tu pozorovať plasticitu, ktorá sa až do konca adaptačnej časti udržuje približne na rovnakej úrovni. V 13. subkole (1. post-adaptačné subkolo) je možné pozorovať oslabenie plasticity v dôsledku ukončenia adaptácie (čiže ukončenia prezentácie distraktorových stimulov), plasticita však mierne pretrváva až do konca kola.

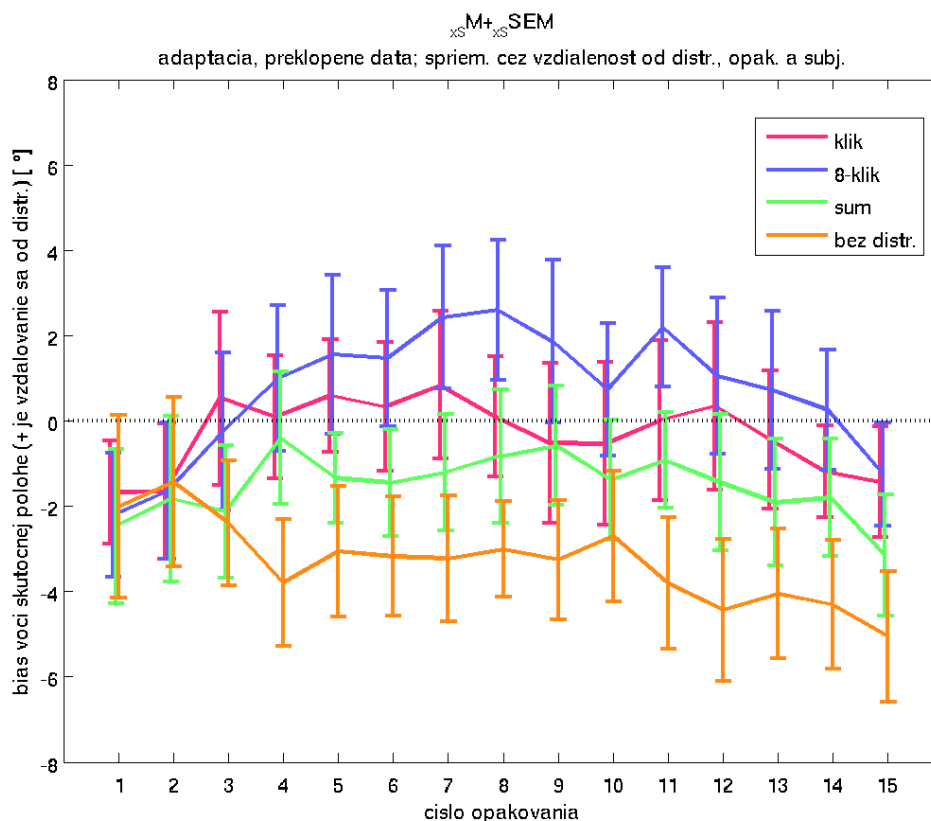
Graf 3–3 taktiež zobrazuje adaptáciu odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách, dáta sú preklopené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora a cez všetky opakovania, na rozdiel od predošlého grafu však sú spriemernené cez jednotlivé typy distraktových kôl. Na osi x sú nanesené čísla jednotlivých subkôl a na osi y posuny odpovedí v jednotlivých subkolách, nie však voči nedistraktorovým kolám, ale voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly. Posuny sú uvedené v stupňoch. Nedistraktorové kolá sú vykreslené oranžovou farbou a jednotlivé distraktorové kolá ružovou (jedno kliknutie), modrou (osem kliknutí) a zelenou (šum).

Z grafu 3–3 vyplýva, že najsilnejšia plasticita bola vyvolaná distraktorom typu 2 (osem kliknutí), o niečo slabšia plasticita vznikala u distraktora typu 2 (jedno kliknutie) a najsilnejšiu plasticitu spôsoboval distraktor typu 3 (šum).

Graf 3–4 prehľadovo zobrazuje plasticitu vyvolanú v jednotlivých typoch distraktorových kôl. Dáta sú preklopené a spriemernené cez všetky subjekty, cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a taktiež cez jednotlivé typy kôl. Na osi x sú nanesené jednotlivé typy distraktorových kôl a na osi y posuny odpovedí v jednotlivých subkolách voči nedistraktorovým kolám. Posuny sú uvedené v stupňoch.

Graf 3–4 potvrdzuje závery ku grafu 3–3.

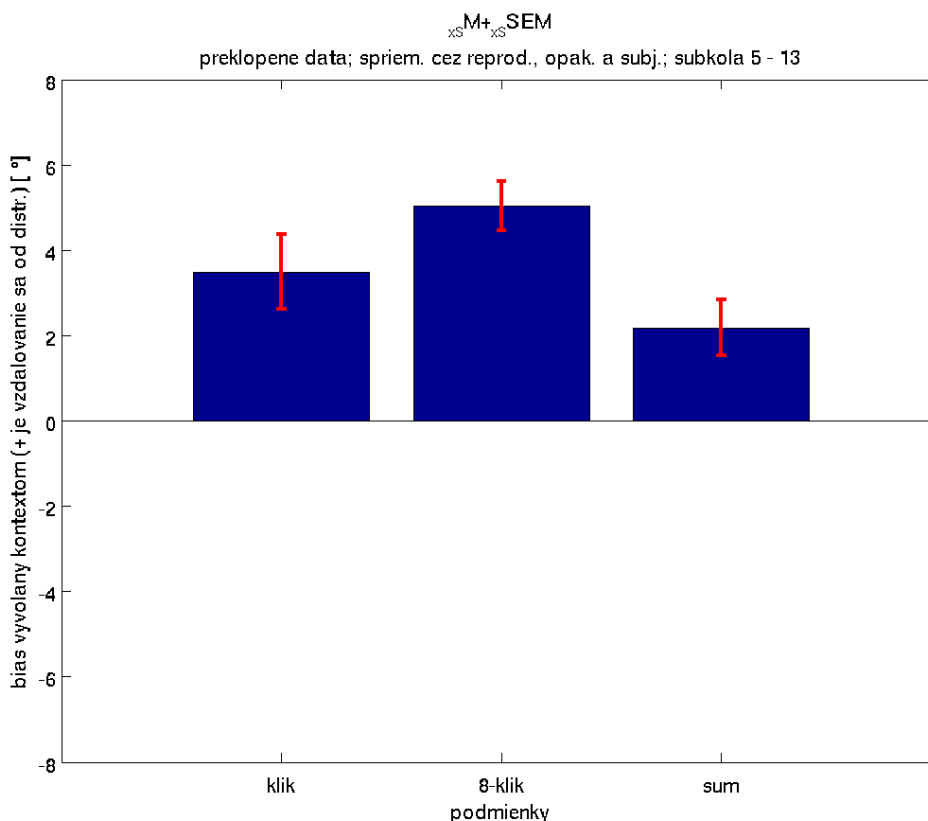
Graf 3–5 obsahuje 3 podgrafy, ktoré prehľadovo zobrazujú plasticitu vyvolanú v jednotlivých typoch distraktorových kôl pre jednotlivé subjekty. Dáta vo všetkých podgrafoch



Obr. 3–3 Adaptácia odpovedí všetkých 7 subjektov v jednotlivých subkolách. Dáta sú preklapené a spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy distraktových kôl.

sú spriemernené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a taktiež cez jednotlivé typy distraktových kôl. Na x-ových osiach grafov sú nanesené jednotlivé typy distraktorových kôl a na y-ových osiach posuny odpovedí v jednotlivých subkolách voči nedistraktorovým kolám. Posuny sú uvedené v stupňoch. Na prvom podgrafe sú dáta preklapené, druhý zobrazuje odpovede subjektov v kolách s otočením vľavo, v treťom podgrafe sú zobrazené odpovede subjektov v kolách s otočením vpravo.

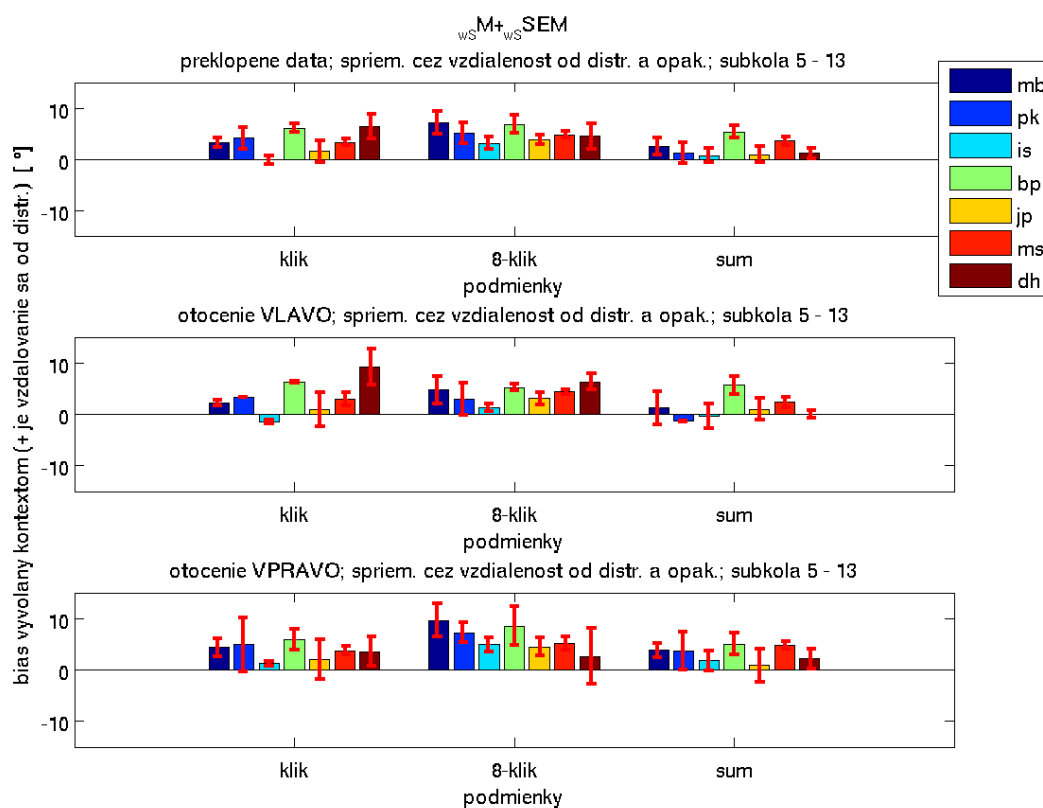
Vo všeobecnosti graf 3–5 potvrdzuje závery ku grafom 3–4 a 3–4, môžeme tu však pozorovať odlišnosti medzi jednotlivými subjektami, ktoré sú pravdepodobne spôsobené ich individualitou, fyziologickými odlišnosťami a rôznymi úrovňami koncentrácie. Taktiež



Obr. 3–4 Plasticita vyvolaná v jednotlivých typoch distraktorových kôl. Dáta sú preklopené a spriemernené cez všetky subjekty, cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy kôl.

môžeme pozorovať rozdiely medzi jednotlivými otočeniami, čo môže byť spôsobené držaním ukazovátko v tej istej (pravej) ruke počas obivoch otočení, čo mohlo mať za následok správne odpovedať na stimuly vychádzajúce z reproduktorov vzdialenejších od distraktora pri otočení vpravo.

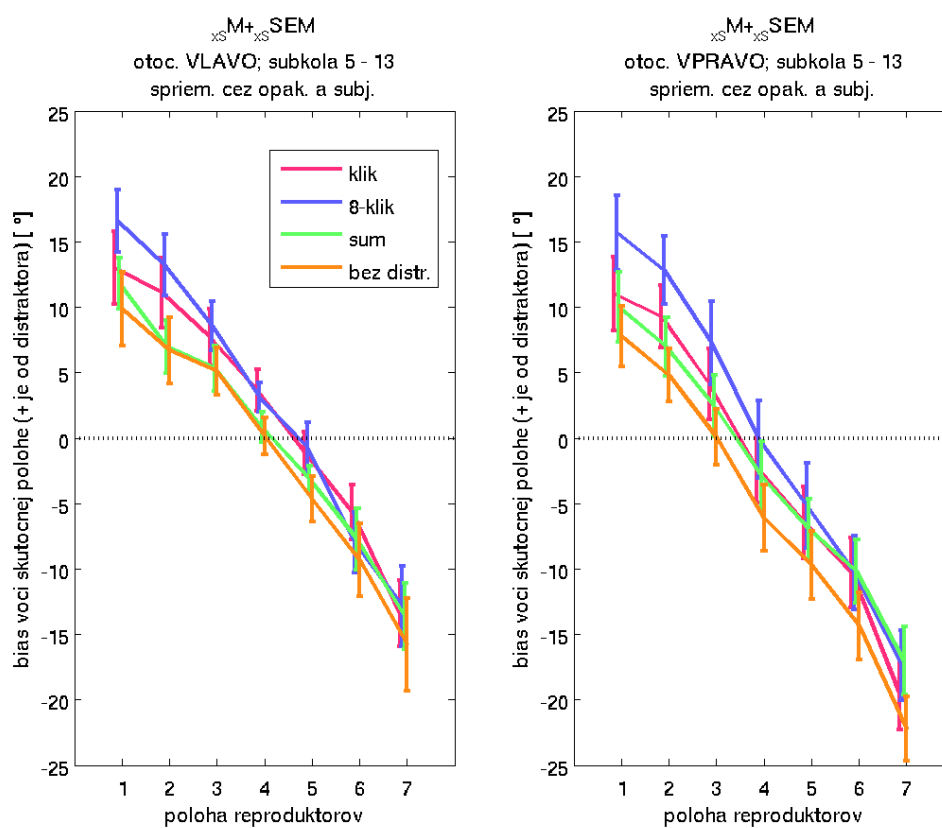
Graf 3–6 obsahuje 2 podgrafy, ktoré zobrazujú odpovede subjektov na cieľové stimuly znejúce z jednotlivých reproduktorov pre jednotlivé typy kôl. Dáta v oboch podgrafoch sú spriemernené cez všetky subjekty, cez všetky opakovania a taktiež cez jednotlivé typy kôl. Na x-ových osiach sú nanesené čísla jednotlivých reproduktorov, kde reproduktor 1 sa nachádza najbližšie k distraktoru a reproduktor 7 naopak najďalej. Na y-ových osiach sú nanesené posuny odpovedí v jednotlivých subkolách voči skutočnej polohe reproduktorov,



Obr. 3–5 Plasticita vyvolaná v jednotlivých typoch distraktorových kôl pre jednotlivé subjekty. Dáta sú spriemerené cez vzdialenosť cieľových reproduktorov od distraktorového reproduktora, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy distraktorových kôl.

z ktorých zneli cieľové stimuly. Posuny sú uvedené v stupňoch. Prvý podgraf zobrazuje odpovede subjektov v kolách s otočením vľavo a druhý podgraf zobrazuje odpovede subjektov v kolách s otočením vpravo.

V v druhom podgrafe grafu 3–6 si môžeme všimnúť, že u všetkých odpovedí subjektov pri otočení vpravo je odchýlka pre cieľové stimuly znejúce z reproduktorov vzdialenejších od distraktora o niekoľko stupov väčšia ako pri otočení vľavo. To potvrdzuje záver vyslovený ku grafu 3–5.



Obr. 3–6 Odpovede subjektov na cieľové stimuly znejúce z jednotlivých reproduktorov pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú spriemernené cez všetky subjekty, cez všetky opakovania a cez jednotlivé typy kôl.

4 Záver (zhodnotenie riešenia)

V práci je kladený dôraz na objasnenie princípov plasticity sluchového vnímania a popísanie uskotočneného experimentu, ktorý nadväzuje na predošlé štúdie a za cieľ si kladie prehĺbiť naše doterajšie poznatky o sluchovej plasticite.

Súčasťou práce je aj sumarizácia súvisiacich teoretických poznatkov a preskúmanie predchádzajúcich prístupov a riešení. Na základe týchto poznatkov bola vytvorená experimentálna procedúra, ktorá slúži na získavanie dát. Následne boli dáta namerané na siedmich dobrovoľníkoch.

Po ukončení meraní boli dáta „čistené“ a analyzované pomocou vyhodnocovacej procedúry. Výsledné údaje boli vynesené do grafov, z ktorých bolo jednoduché odčítať jednotlivé hodnoty a sformulovať závery. Všetky vyslovené hypotézy boli experimentom potvrdené.

Dá sa povedať, že práca splnila vytýčený cieľ a poskytla relevantné informácie o mechanizmoch plasticity sluchového vnímania. Zároveň ukázala možnosti pokračovania v skúmaní tejto oblasti.

Literatúra

BEAR, M. F., CONNORS, B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience: exploring the brain (second edition)*, Lipincott Williams and Wilkins, Baltimore, 2001.

BLAUERT, J., *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*. Cambridge, MA: MIT Press, 1983.

LINDSAY, P. H., NORMAN. D. A., *Human Information Processing*. Academic press, New York, 1977.

YOST, W. A., (2000), *Fundamentals of hearing: An introduction (4th ed.)*, New York: Academic Press.

COLBURN S., *Computational models of binaural processing*. In: Auditory Computation, Editors: H. Hawkins, T. McMullin, A. N. Popper and R. R. Fay, New York, 1996.

MOORE, B. C. J., *An Introduction to Psychology of Hearing, 4th. ed.* London: Academic, 1997.

BLAUERT, J., BRAASCH, J. (2005). *Acoustical communication: the Precedence Effect*, Proc. Forum Acusticum Budapest 2005, HU-Budapest.

SHINN-CUNNINGHAM, B. G., STREETER, T., GYSS, J., *Perceptual plasticity in spatial auditory displays*, Proceedings of the 7th International Conference on Auditory Display (ICAD2001), Espoo, Finland, p.181-184, (2001).

PASHLER, H., *The Psychology of Attention*, MIT Press, 1999.

EYSENCK, M. W., KEANE, M. T., *Cognitive Psychology: A Student's Handbook, 4th ed.*, Taylor & Francis, 2000.

PARASURAMAN, R., *Attentive Brain*, MIT Press, 2000.

TREISMAN, A., *Psychological issues in selective attention, in The cognitive neurosciences*, Gazzaniga, M, MIT Press 2004.

-
- DRIVER, J., SPENCE, C., *Crossmodal spatial attention: evidence from human performance*; In: Crossmodal space & crossmodal attention, Spence & Driver, OUP Oxford, 2004.
- McGURK, H., MacDONALD, J., (1976). *Hearing lips and seeing voices*, Nature 264, 746-748.
- SPENCE, C, DRIVER, J., *Attracting attention to the illusory location of a sound: reflexive crossmodal orienting and ventriloquism*. Neuroreport. 2000; 11:2057-2061.
- RECANZONE, G., *Acoustic stimulus processing and multimodal interactions in primates*; In: The cognitive neurosciences; Gazzaniga, M., MIT Press 2004.
- SPENCE C., DRIVER J., *Covert spatial orienting in audition: exogenous and endogenous mechanisms*. J Exp Psychol Hum Percept Perform 20: 555-574, 1994.
- SCHARF, B. (1998), *Auditory attention: the psychoacoustical approach*. In: Pashler, H., (ed.) Attention. Psychology Press, London, UK , pp.75 - 117. ISBN 9780863778131.
- SPENCE, C., McDONALD, J., *The Cross-Modal Consequences of the Exogenous Spatial Orienting of Attention*; In: Handbook of multisensory processes, Calvert, G., Spence, C., McDonald, J., 2004.
- MOORE, D. R., KING, A. J., *Plasticity of binaural systems*. In: T.N.. Parks, E.W Rubel, R.R. Fay & A.N. Popper (eds.) Plasticity of the Auditory System, Springer, New York (2004).
- SHAW, D., McEACHERN, J. (Eds), *Toward a theory of neuroplasticity*, Philadelphia, PA: Psychology Press, 2000.
- CARR, C., *Sounds, signals, and space maps*. Nature, 415:29-31, 2002.
- KNUDSEN, E. I., ZHENG, W., DEBELLO, W. M., *Traces of learning in the auditory localization pathway*. PNAS, October 24, 2000; 97(22): 11815 - 11820.

-
- KING, A. J., SCHNUPP, J. W. H., DOUBELL, T. P. (2001), *The shape of ears to come: dynamic coding of auditory space*. Trends in Cognitive Sciences. 5: 261-270.
- POPPER, A. N., FAY, R. R., *Sound Source Localization*, Springer, New York (2005).
- RAUSCHECKER, J., *Auditory reassignment*; In: Handbook of Neuropsychology: Plasticity and Rehabilitation, Boller, F. et al., Elsevier Health Sciences, 2003.
- KING, A. J., PARSONS, C. H., MOORE, D.R.: *Plasticity in the neural coding of auditory space in the mammalian brain*. Proc Natl Acad Sci, USA 2000.
- CARLILE, S., HYAMS, S., et al. (2001). *Systematic distortions of auditory space perception following prolonged exposure to broadband noise*. J Acoust Soc Am 110: 416-425.
- SHINN-CUNNINGHAM, B. G., *Adapting to remapped auditory localization cues: A decision-theory model*. Percept Psychophys, vol. 62, pp. 33-47, 2000.
- SANDERSON, P. M., WATSON, M. O., RUSSELL, W. J. (2005), *Advanced patient monitoring displays: Tools or continuous informing*. Anesthesia And Analgesia, 101 1: 161-168.
- CHERRY, E. C., 1953. *Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears*. J. Acoust. Soc. Am. 25, pp. 275-279.
- SHINN-CUNNINGHAM, B. G., STREETER, T.: *Spatial auditory display: Comments on Shinn-Cunningham et al.*, ICAD 2001. TAP 2(4): 426-429 (2005).
- SHINN-CUNNINGHAM, B. G. (2001). *Virtual auditory displays*, in *Handbook of Virtual Environments Technology*, K. Stanney (ed.), 65-92.
- CLARK, G., *Cochlear Implants: Fundamentals and Applications*, Springer, 2003
- DUNN, C. C., et al., *Advantages of Binaural Hearing*. In: S. Waltzman and T.Roland.(eds), *Cochlear Implants*, 2006.
- SHEPHERD, R., et al., *Consequences of deafness and electrical stimulation on the*
-

peripheral and central auditory system, In: Cochlear implants, S. Waltzman and T.Roland.(eds), 2006.

FRANCIS, G., *Sensory and perceptual processes*, prednášky k predmetu, dostupné na <http://www2.psych.purdue.edu/gfrancis/Classes/PSY310/L31b.pdf>

KNUDSEN, E., *Instructed learning in the auditory localization pathway of the barn owl*. Nature 2002;417(6886):322-8.

TOMORIOVÁ, B.: *Neurálna plasticita a riadenie strategickej pozornosti pri priestorovom sluchovom vnímaní. Písomná práca k dizertačnej skúške*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2008, 57 s.

KOPČO, N., BEST V., SHINN-CUNNINGHAM, B. G.: *Sound localization with a preceding distractor*. In: J Acoust Soc Am. 2007 Jan;121(1):420-32.

Zoznam príloh

Príloha A Obrazová príloha

Príloha B Používateľská príručka

Príloha C Systémová príručka

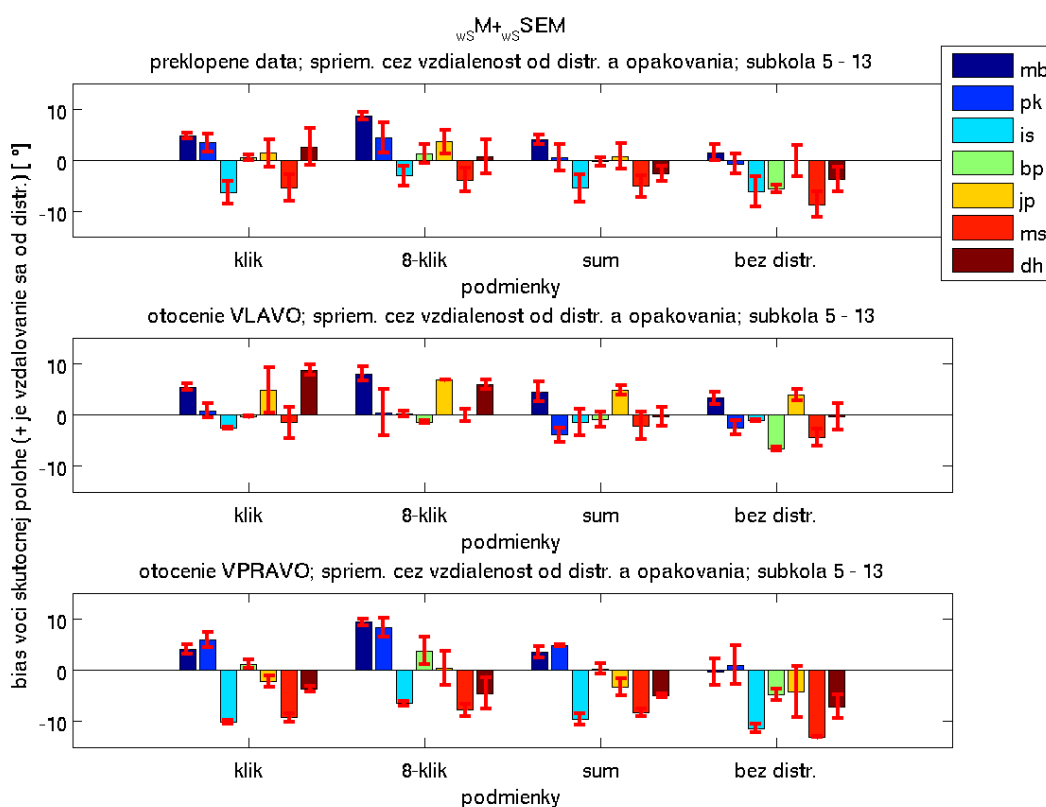
Príloha D Kompaktný disk (CD) obsahujúci diplomovú prácu v elektronickej podobe (vrátane príloh), zdrojové kódy programov a dáta namerané k experimentom

Príloha A – Obrazová príloha

Grafy k experimentom sú rozdelené do 2 častí. Prvá časť obsahuje 8 „spoločných“ grafov, to znamená, že sú generované z dát pre všetky subjekty. V druhej časti sa nachádza 42 grafov, z toho pre každý zo 7 subjektov je vygenerovaných 6 grafov, ktoré zobrazujú rôzne aspekty experimentu.

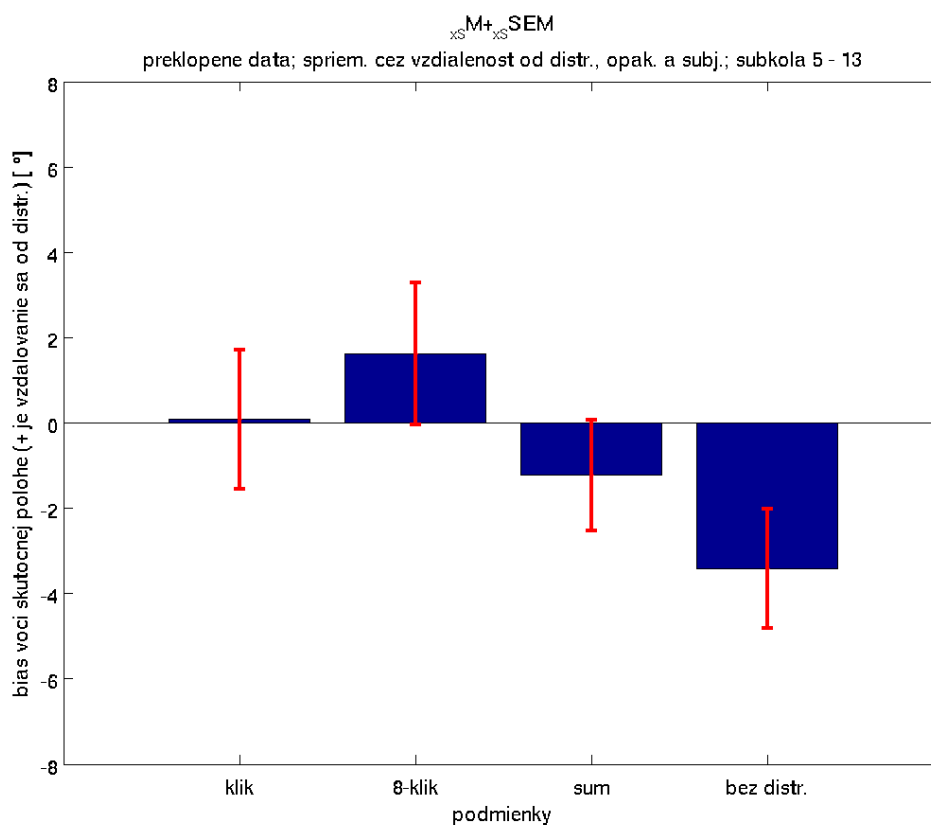
Spoločné grafy

Prvý graf (4–1) zobrazuje priemerný odklon odpovedí jednotlivých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Graf je rozdelený do 3 podgrafov, kde na prvom sú vykreslené preklopené dáta, druhý zobrazuje odpovede subjektov pri otočení vľavo a tretí pri otočení vpravo. Na x-ových osiach sú nanesené jednotlivé typy kôl a na y-ových osiach odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



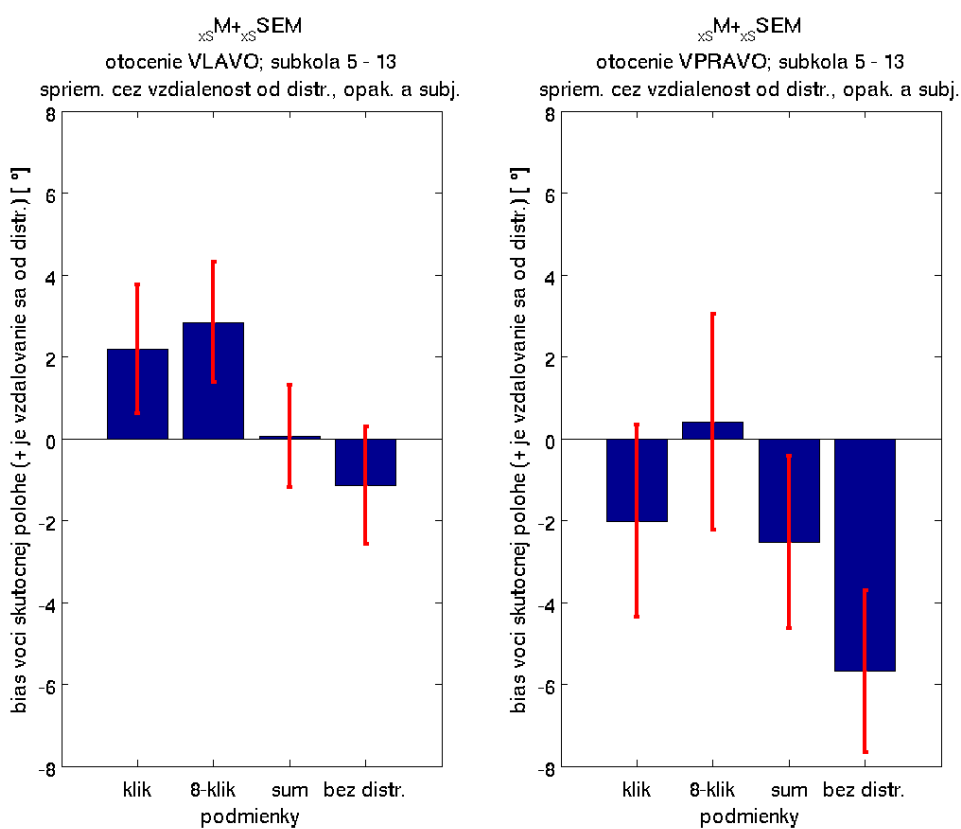
Obr. 4–1 Priemerný odklon odpovedí jednotlivých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl.

Druhý graf (4–2) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá. Na x-ovej osi sú nanesené jednotlivé typy kôl a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



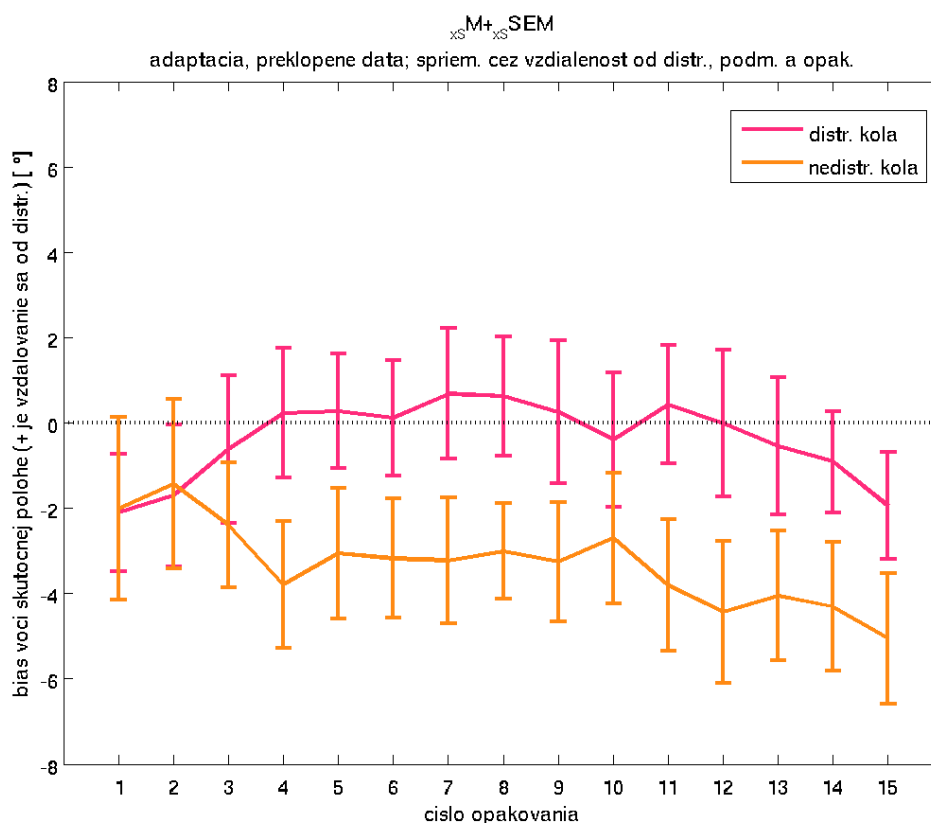
Obr. 4–2 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.

Tretí graf (4–3) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá. Graf je rozdelený do 2 podgrafov, kde na prvom sú vykreslené odpovede subjektov pri otočení vľavo a na druhom pri otočení vpravo. Na x-ových osiach sú nanosené jednotlivé typy kôl a na y-ových osiach odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



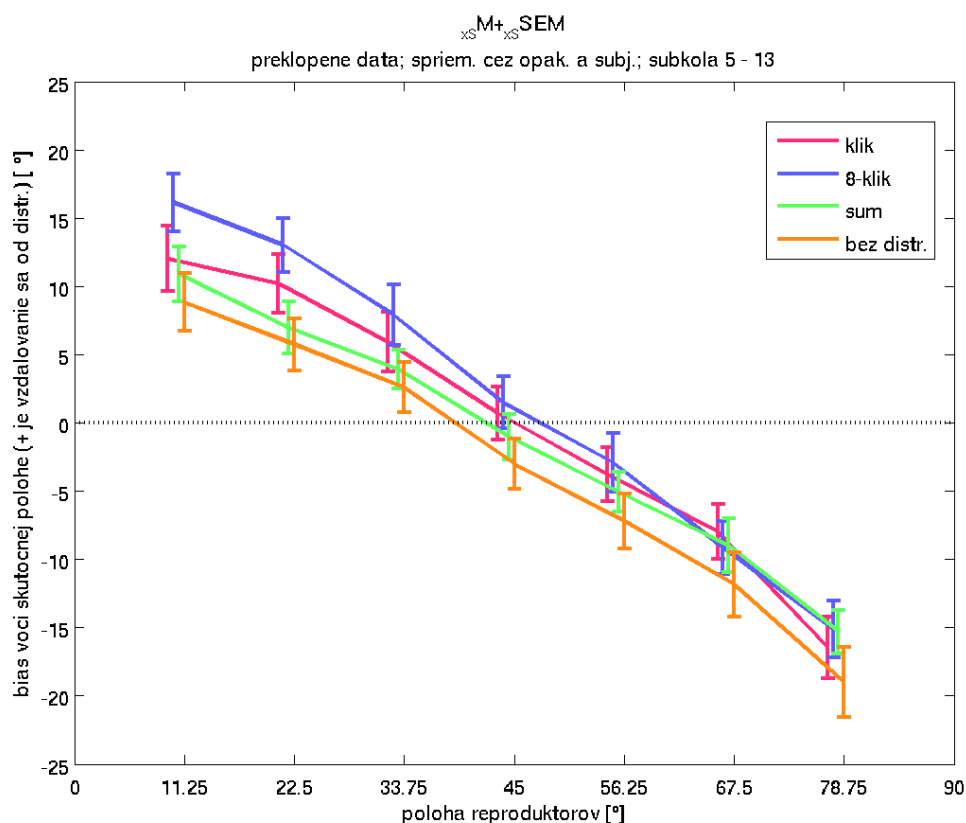
Obr. 4–3 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé typy kôl. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.

Štvrtý graf (4–4) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé subkolá. Dáta sú rozdelené na distraktorové a nedistraktorové kolá. Na x-ovej osi sú nanesené čísla jednotlivých subkôl a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



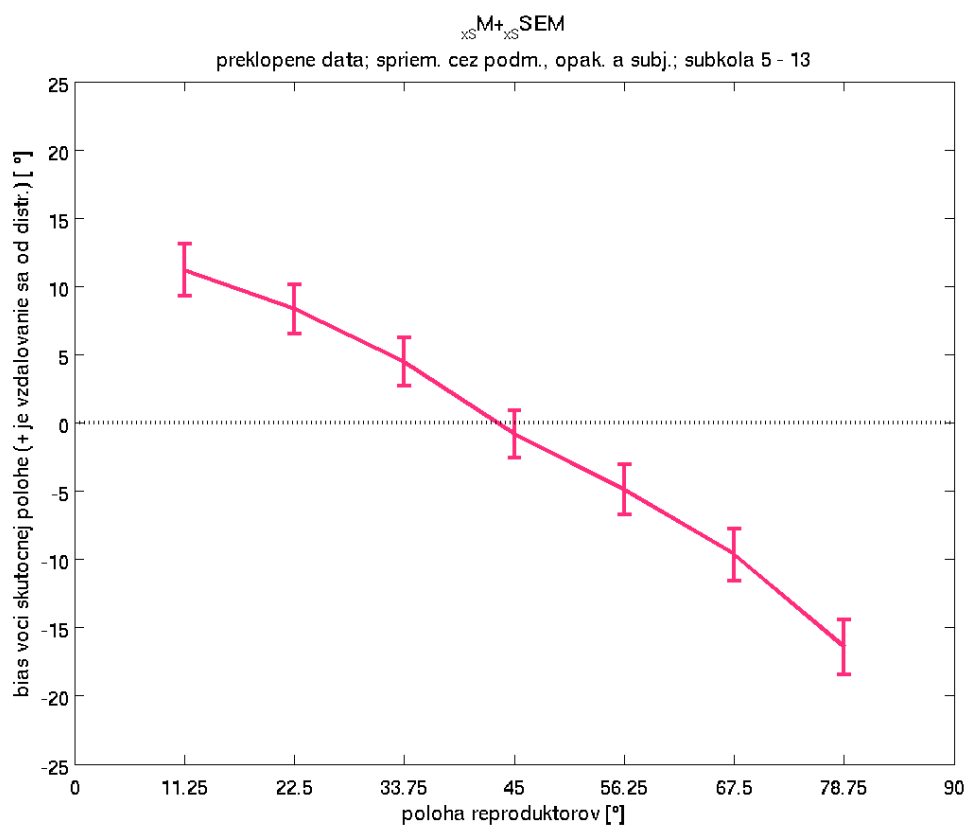
Obr. 4–4 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé subkolá. Dáta sú rozdelené na distraktorové a nedistraktorové kolá.

Piaty graf (4–5) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



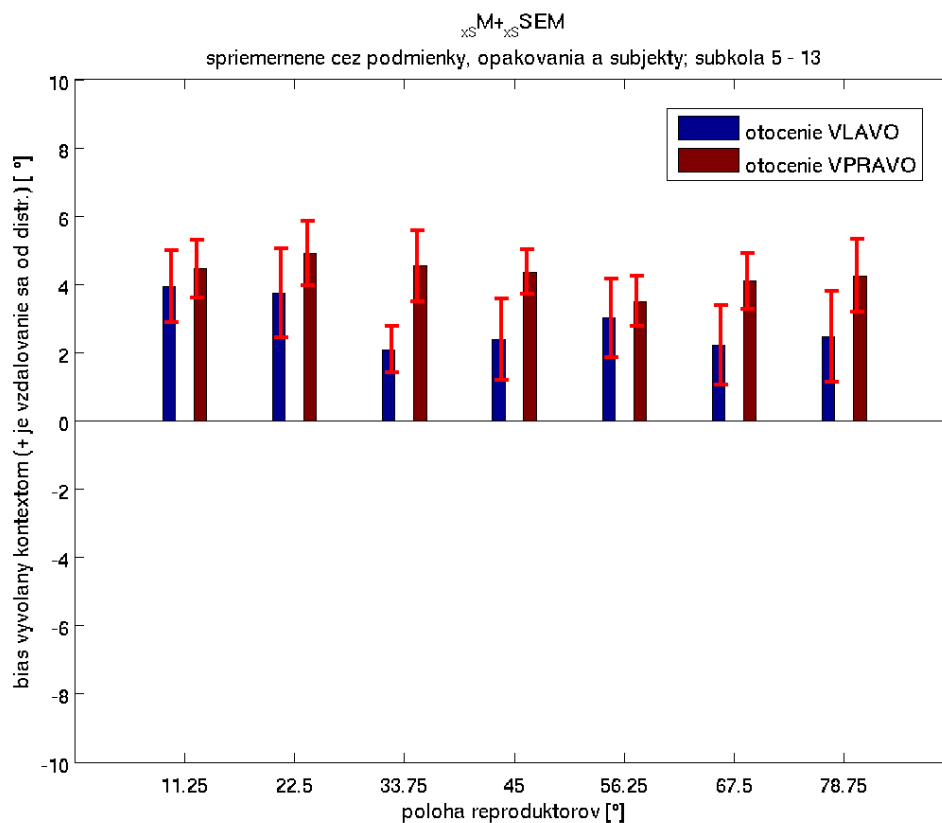
Obr. 4–5 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá.

Šiesty graf (4–6) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.



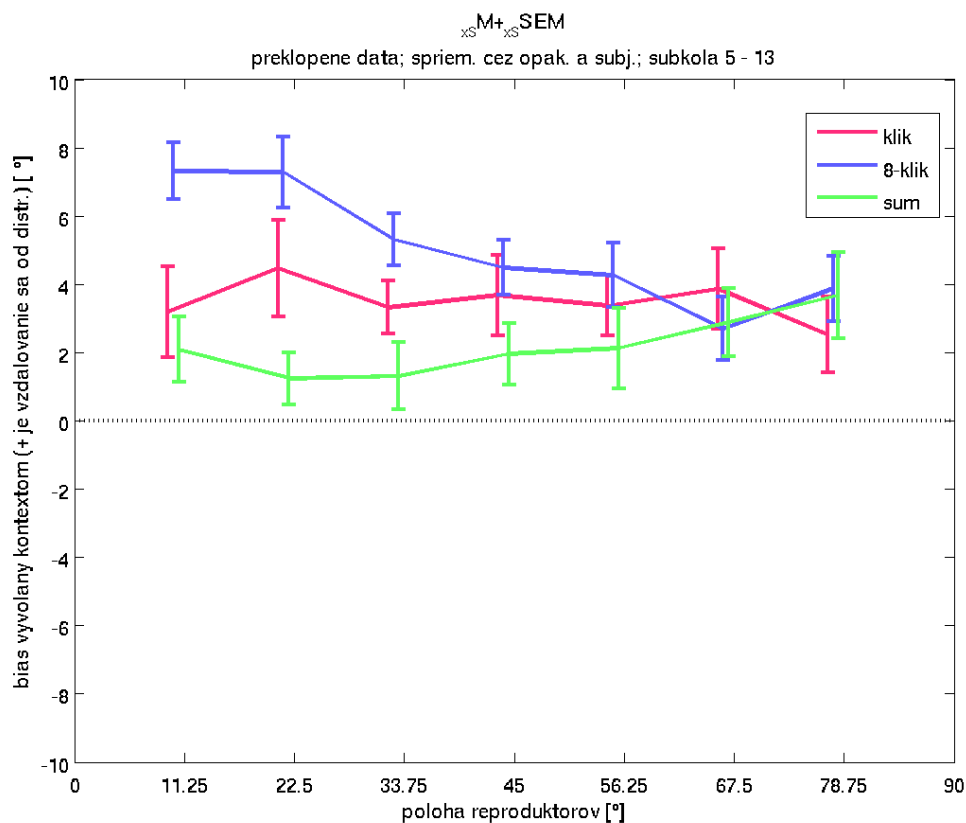
Obr. 4–6 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory.

Siedmy graf (4–7) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé otočenia. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči voči nedistraktorovému kolu.



Obr. 4–7 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé otočenia.

Ôsmy graf (4–8) zobrazuje priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé distraktorové kolá. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektov voči voči nedistraktorovému kolu.



Obr. 4–8 Priemerný odklon odpovedí všetkých subjektov voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé distraktorové kolá.

Grafy jednotlivých subjektov

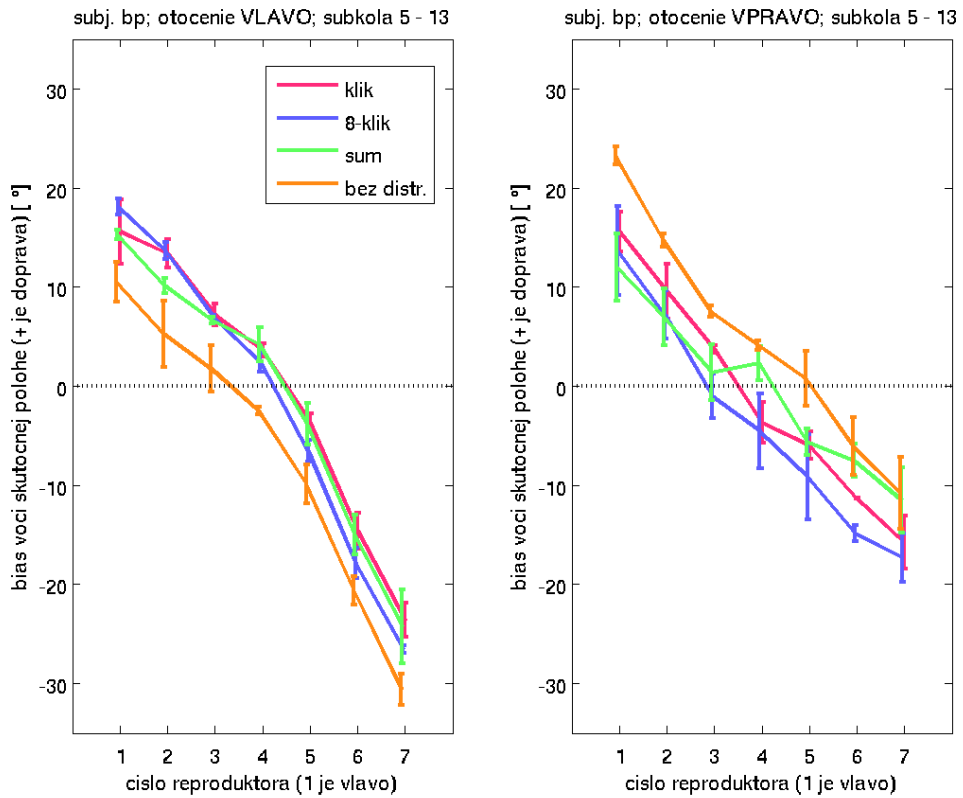
Grafy v tejto časti sú rozdelené do 7 skupín podľa subjektov. pre každý subjekt je vykreslených 6 grafov, kde:

- Prvý graf zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú rozdelené na jednotlivé kolá. Graf je rozdelený do 2 podgrafov, kde na prvom sú vykreslené odpovede subjektu pri otočení vľavo a na druhom pri otočení vpravo. Na x-ových osiach sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov, kde reproduktor 1 je najbližšie k distraktoru, a na y-ových osiach odklony odpovedí subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.
- Druhý graf zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú preklopené a rozdelené na jednotlivé kolá. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.
- Tretí graf zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé reproduktory. Dáta sú preklopené a rozdelené na jednotlivé distraktorové kolá. Na x-ovej osi sú nanesené polohy jednotlivých cieľových reproduktorov v stupňoch a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektu voči nedistraktorovému kolu.
- Štvrtý graf prehľadovo zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči nedistraktorovému kolu pre jednotlivé distraktorové kolá. Dáta sú preklopené. Na x-ovej osi sú nanesené jednotlivé distraktorové kolá a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektu voči nedistraktorovému kolu.
- Piaty graf zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči ne-

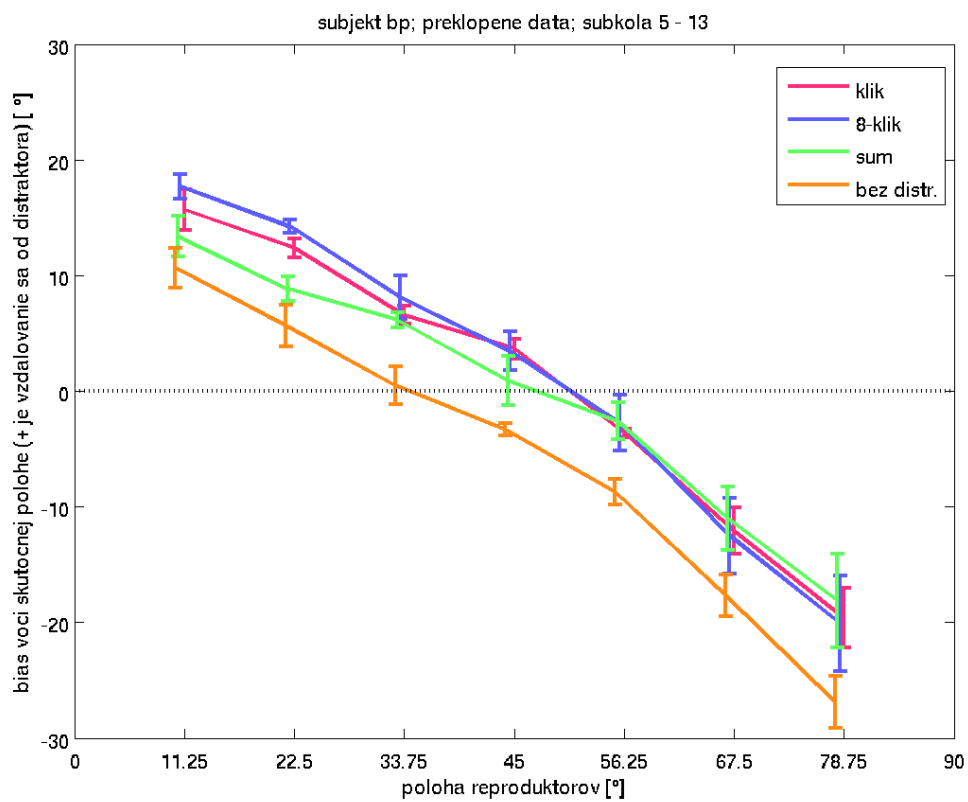
distraktorovému kolu pre jednotlivé subkolá. Dáta sú preklopené a rozdelené na jednotlivé distraktorové kolá. Na x-ovej osi sú nanesené čísla jednotlivých subkôl a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektu voči nedistraktorovému kolu.

- Šiesty graf zobrazuje priemerný odklon odpovedí príslušného subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly, pre jednotlivé subkolá. Dáta sú preklopené a rozdelené na jednotlivé kolá. Na x-ovej osi sú nanesené čísla jednotlivých subkôl a na y-ovej osi odklony odpovedí subjektu voči skutočnej polohe reproduktorov, z ktorých zneli cieľové stimuly.

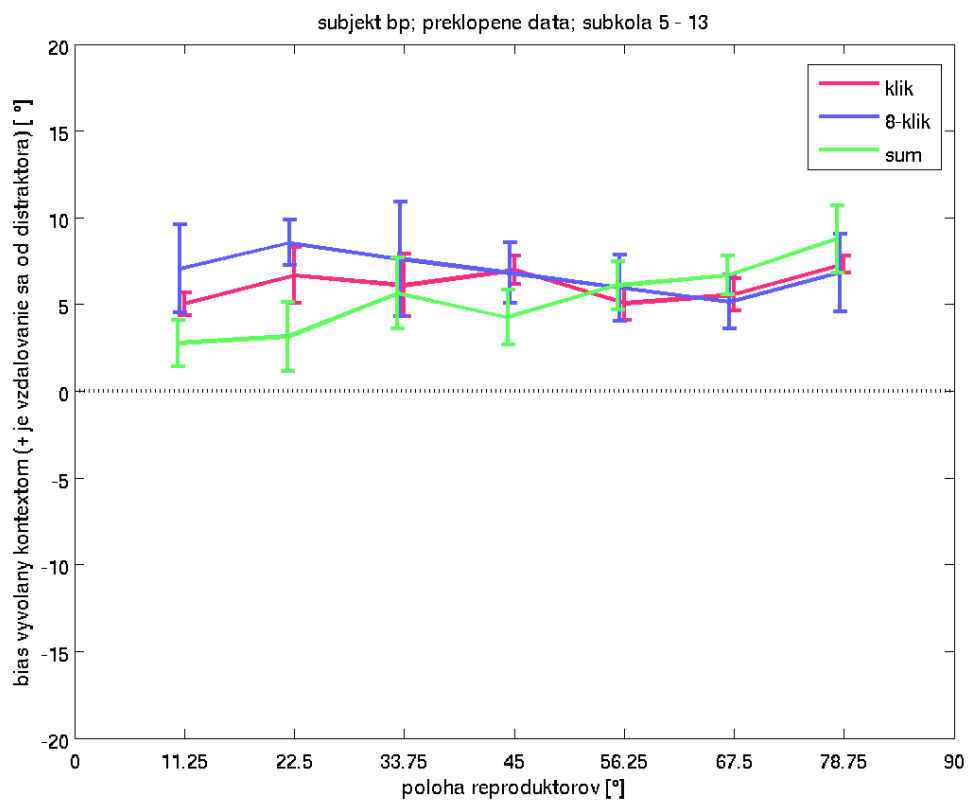
Subjekt „bp“



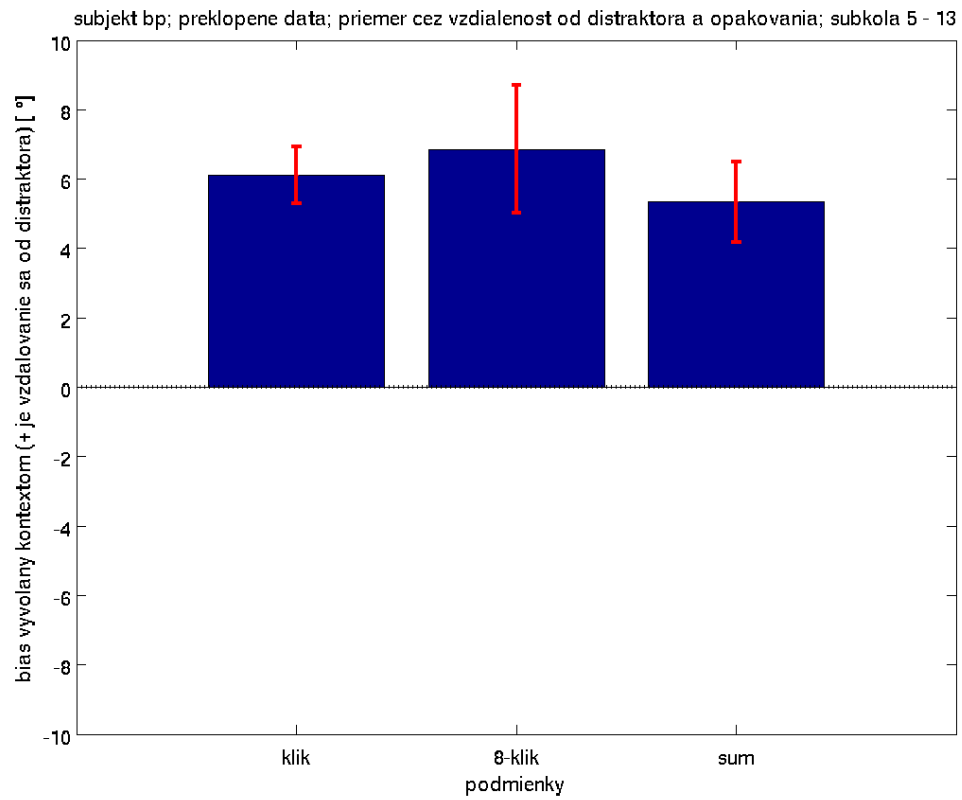
Obr. 4–9 Subjekt „bp“, graf 1.



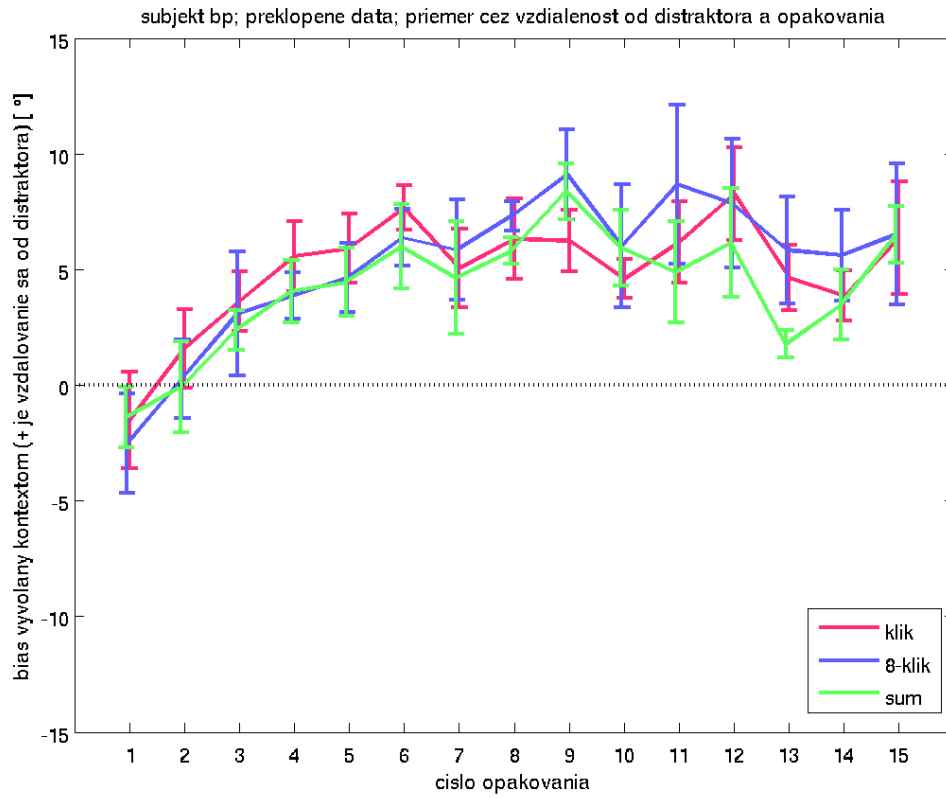
Obr. 4–10 Subjekt „bp“, graf 2.



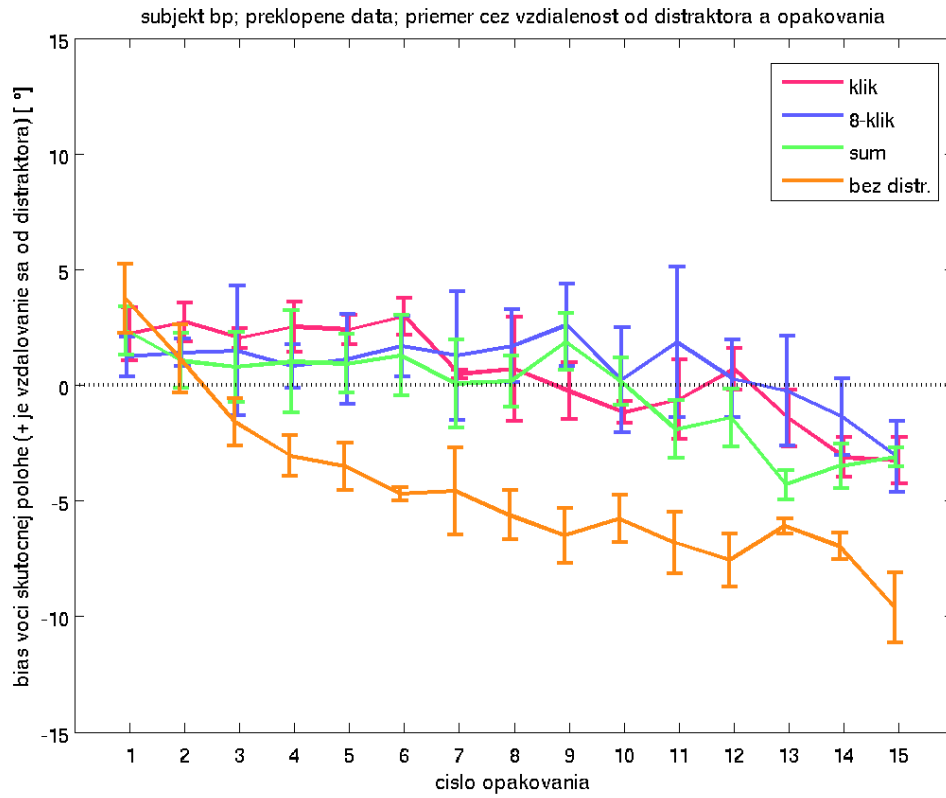
Obr. 4–11 Subjekt „bp“, graf 3.



Obr. 4–12 Subjekt „bp“, graf 4.

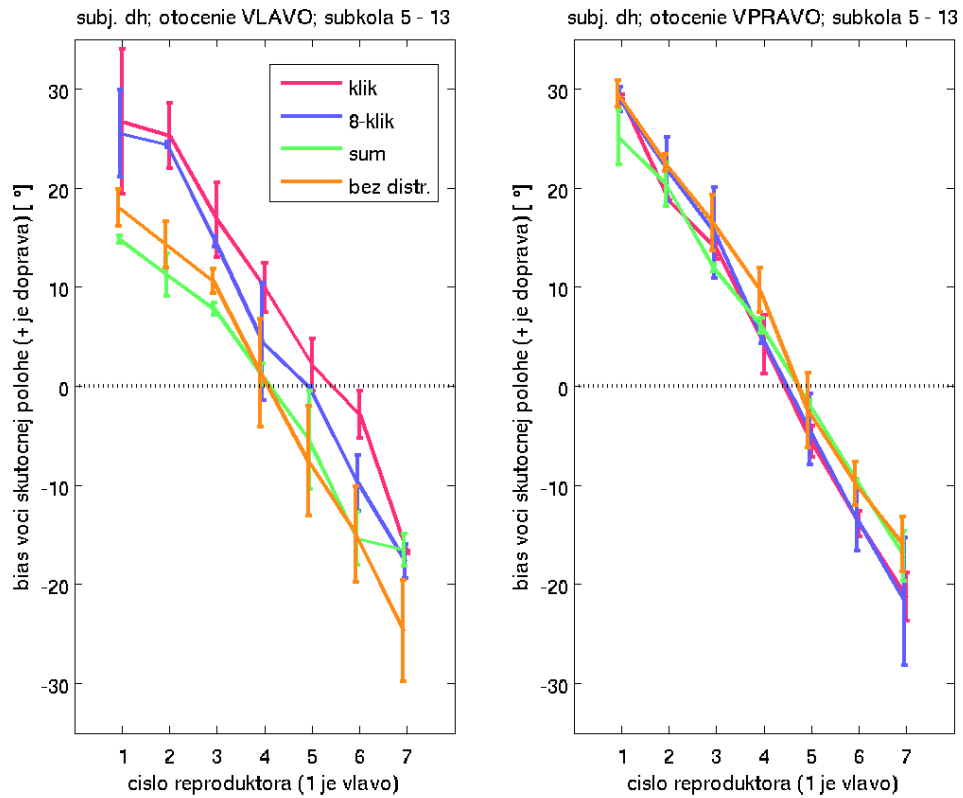


Obr. 4–13 Subjekt „bp“, graf 5.

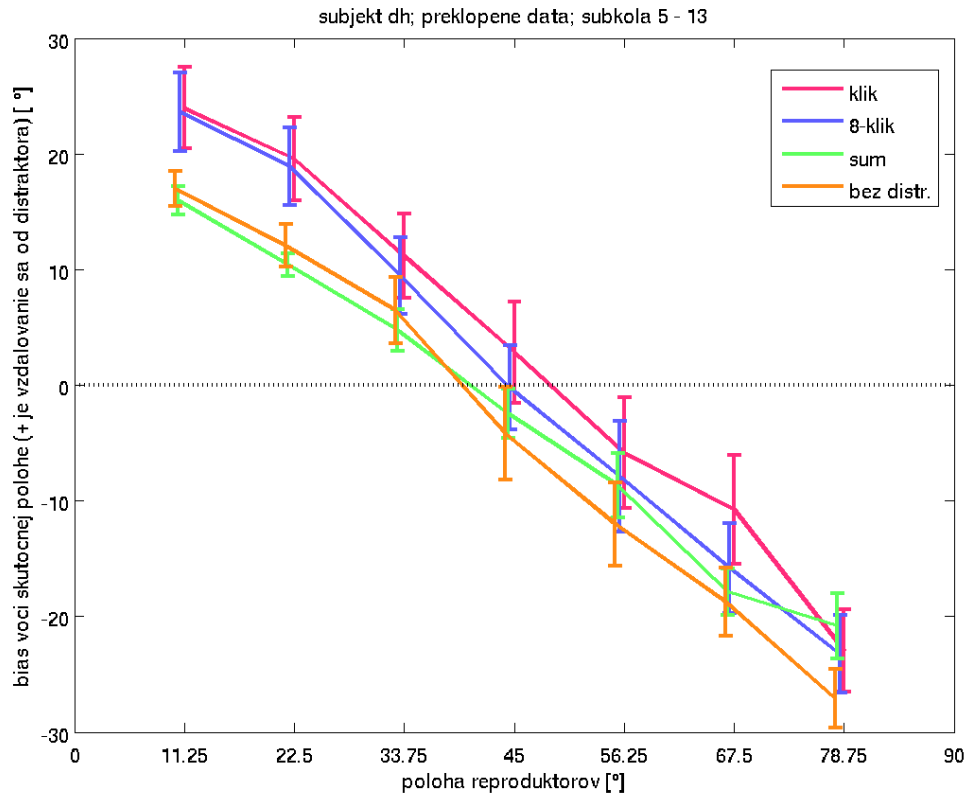


Obr. 4–14 Subjekt „bp“, graf 6.

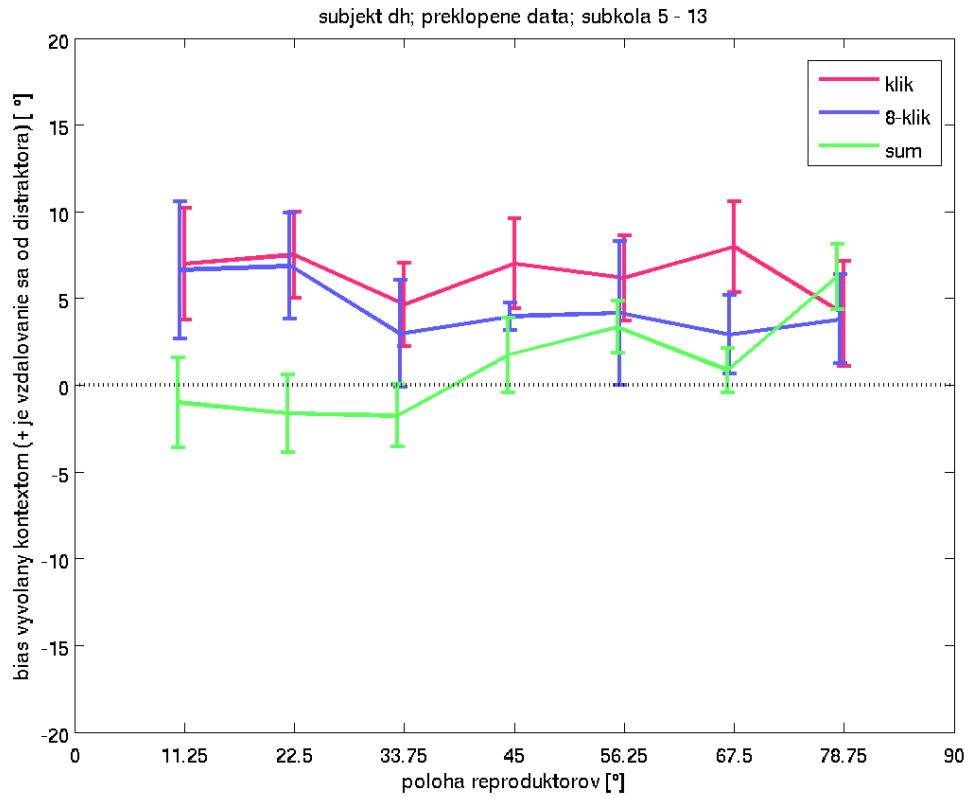
Subjekt „dh“



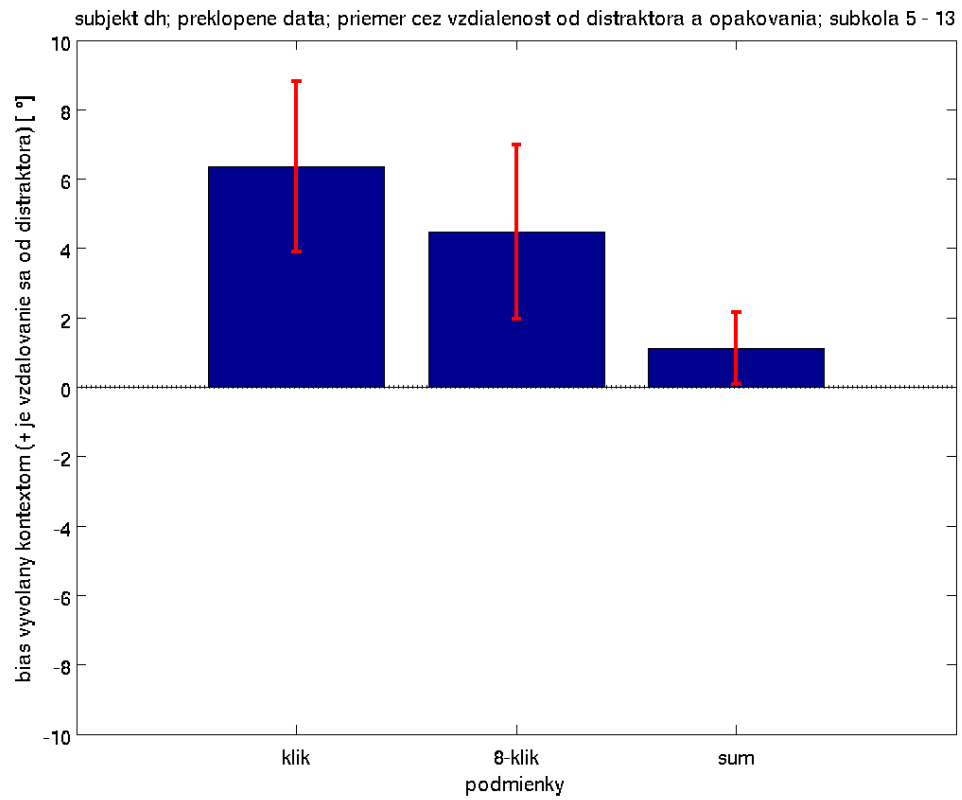
Obr. 4–15 Subjekt „dh“, graf 1.



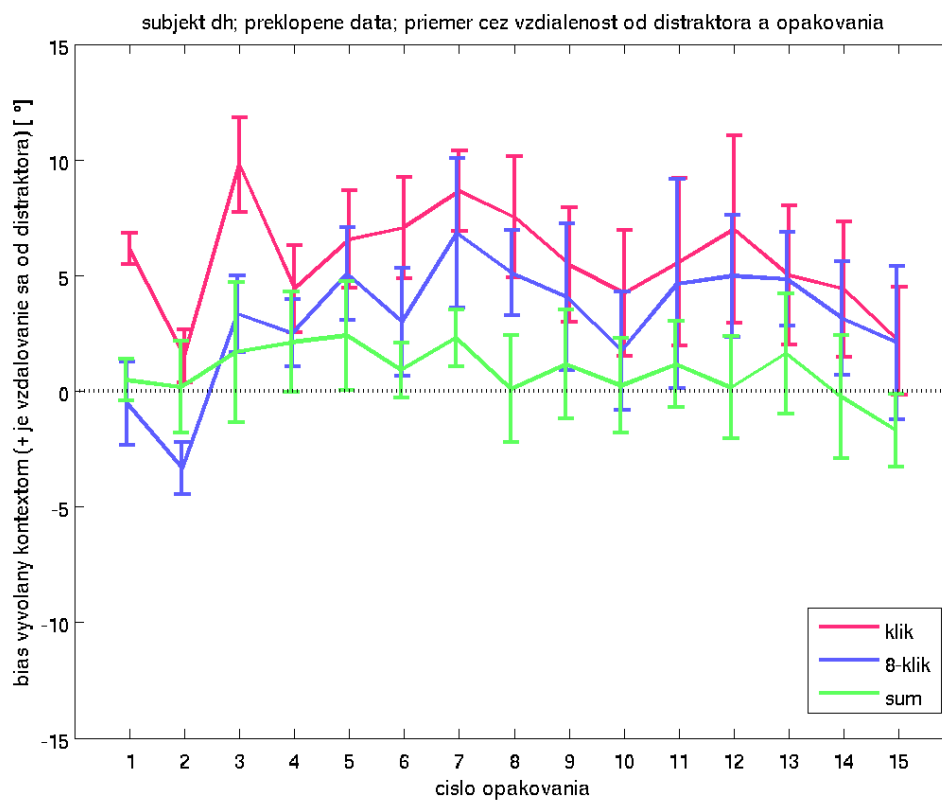
Obr. 4–16 Subjekt „dh“, graf 2.



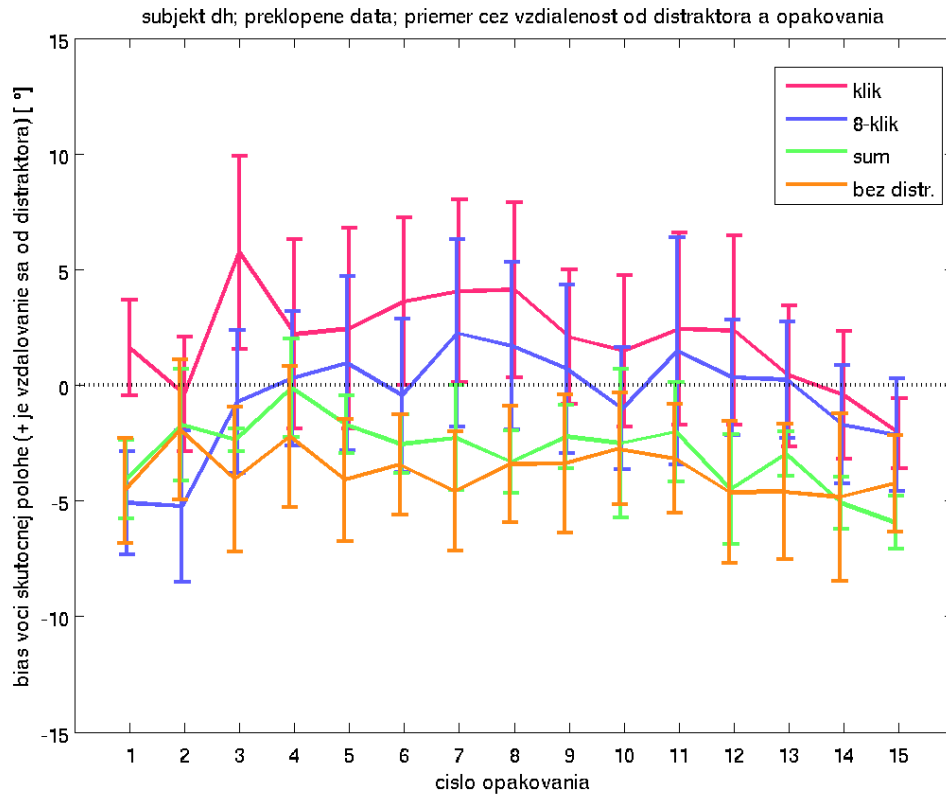
Obr. 4–17 Subjekt „dh“, graf 3.



Obr. 4–18 Subjekt „dh“, graf 4.

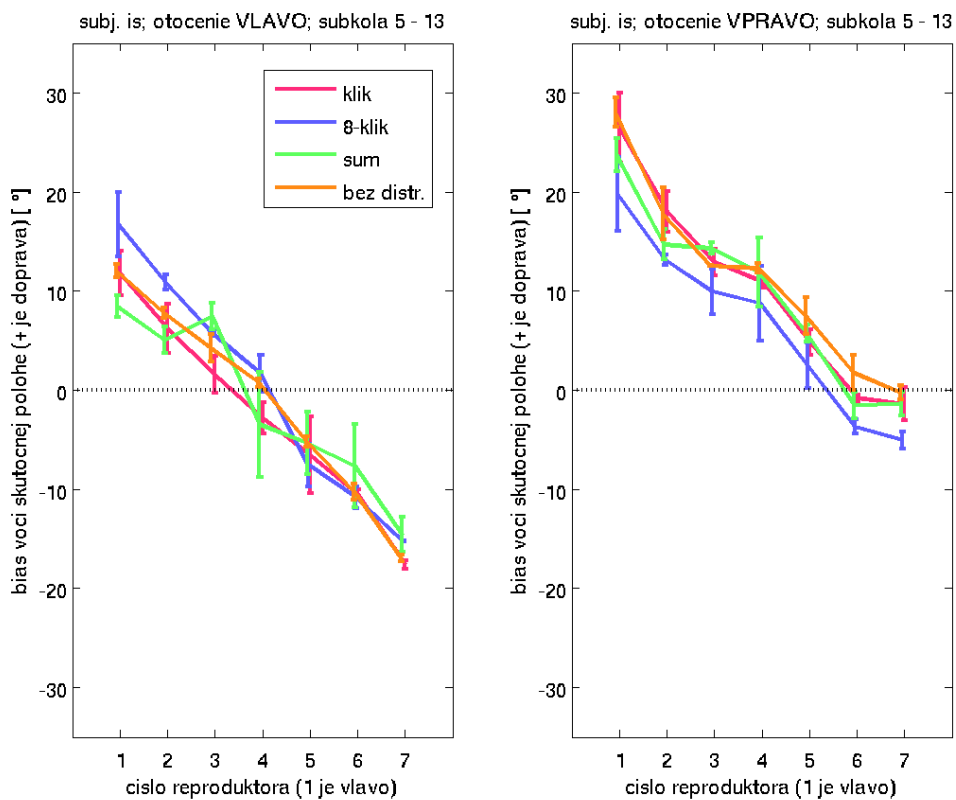


Obr. 4–19 Subjekt „dh“, graf 5.

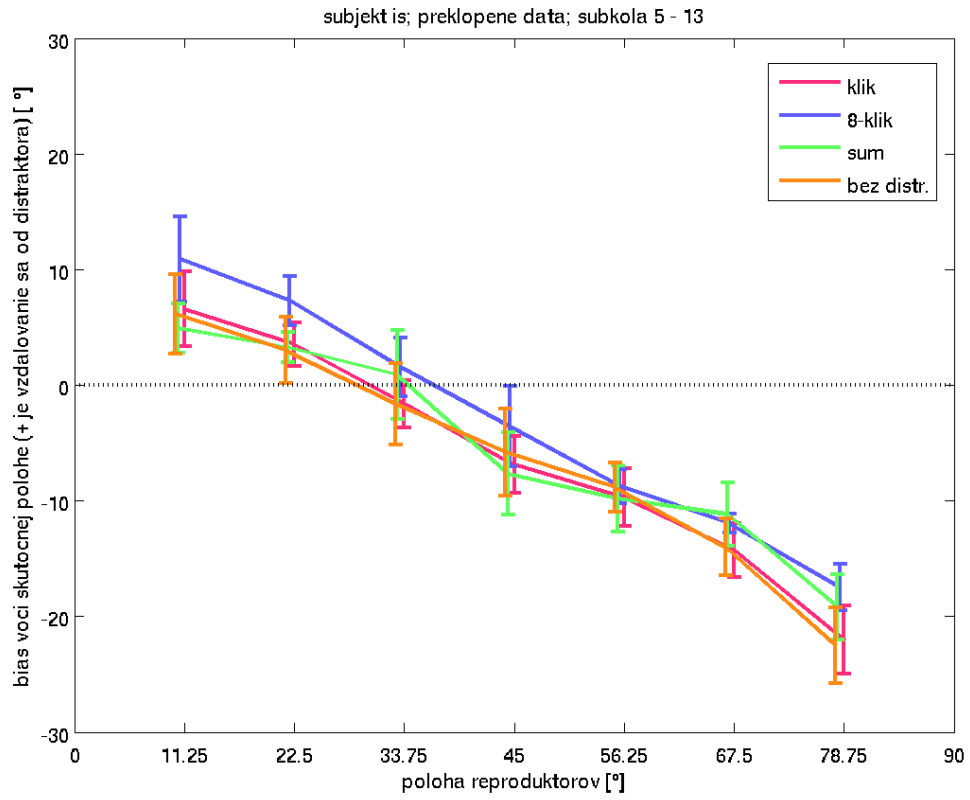


Obr. 4–20 Subjekt „dh“, graf 6.

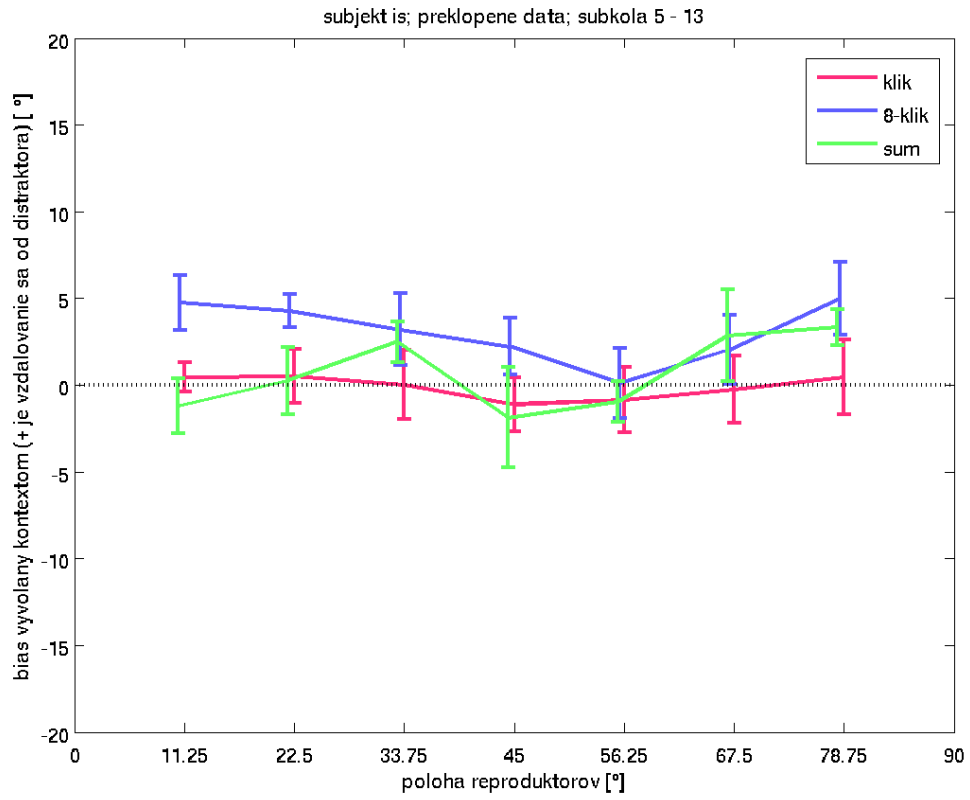
Subjekt „is“



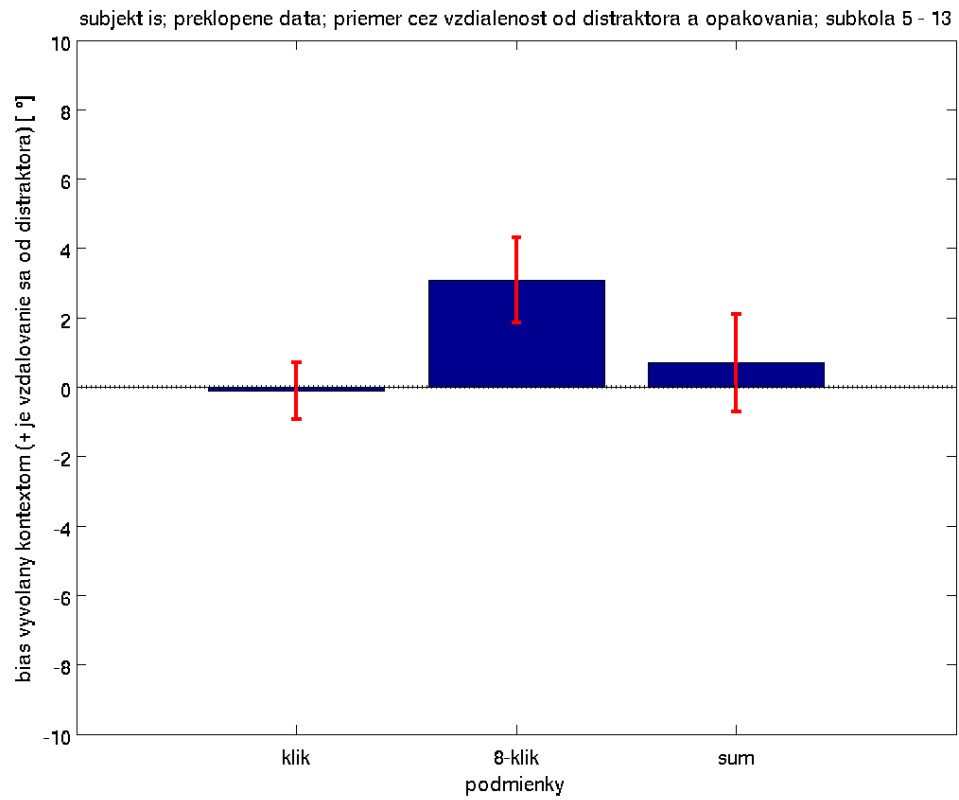
Obr. 4–21 Subjekt „is“, graf 1.



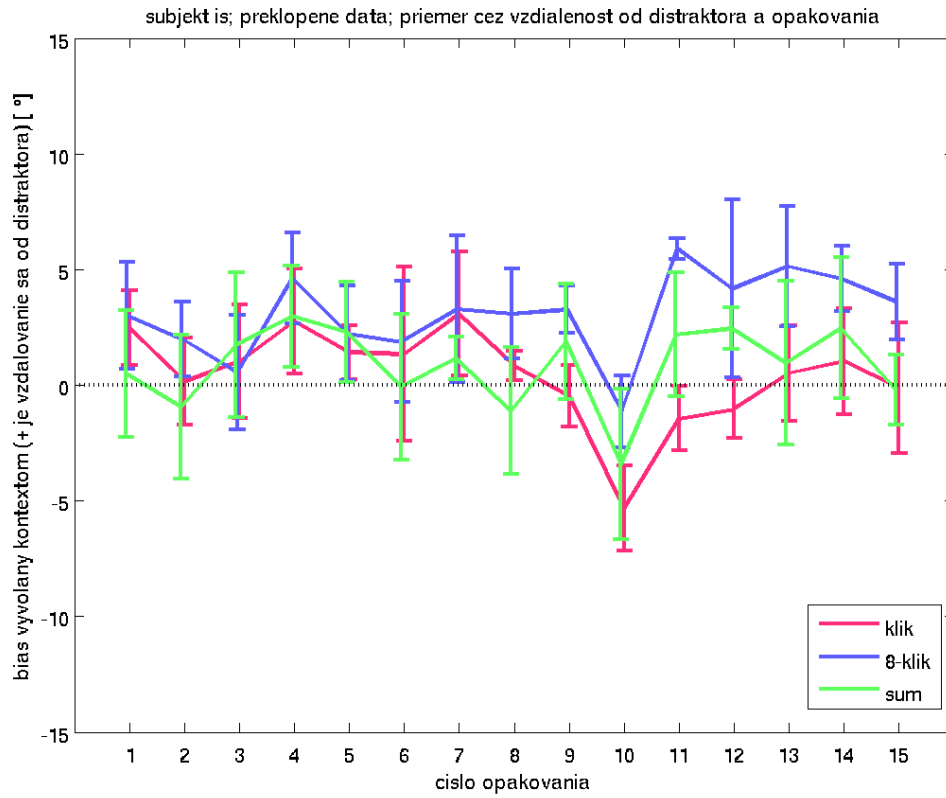
Obr. 4–22 Subjekt „is“, graf 2.



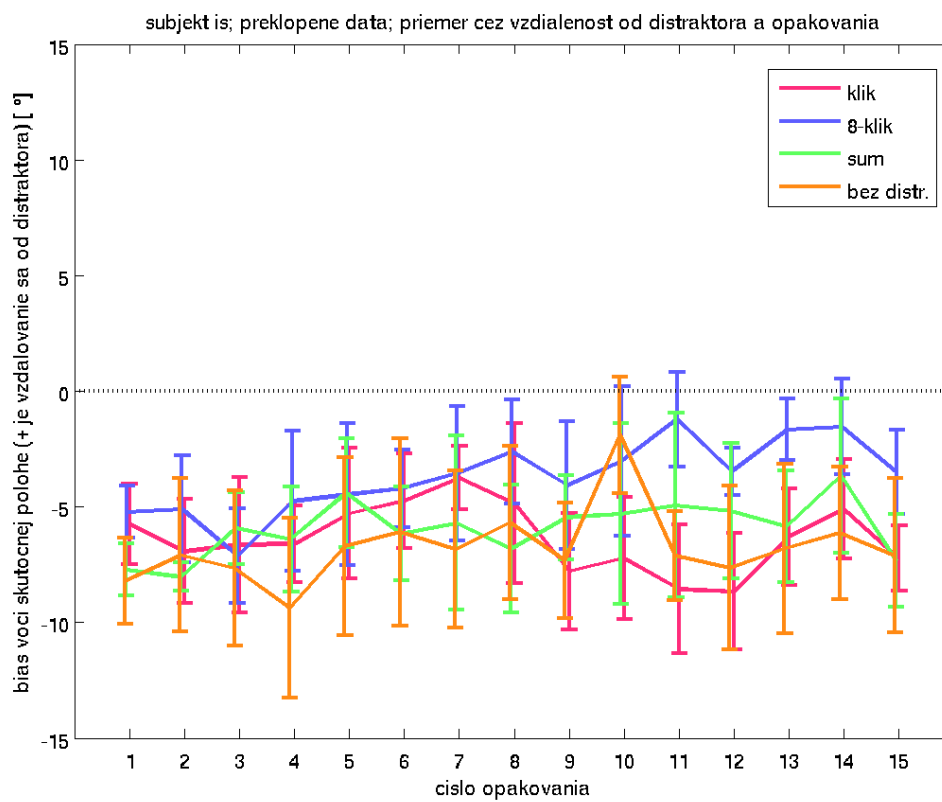
Obr. 4–23 Subjekt „is“, graf 3.



Obr. 4–24 Subjekt „is“, graf 4.

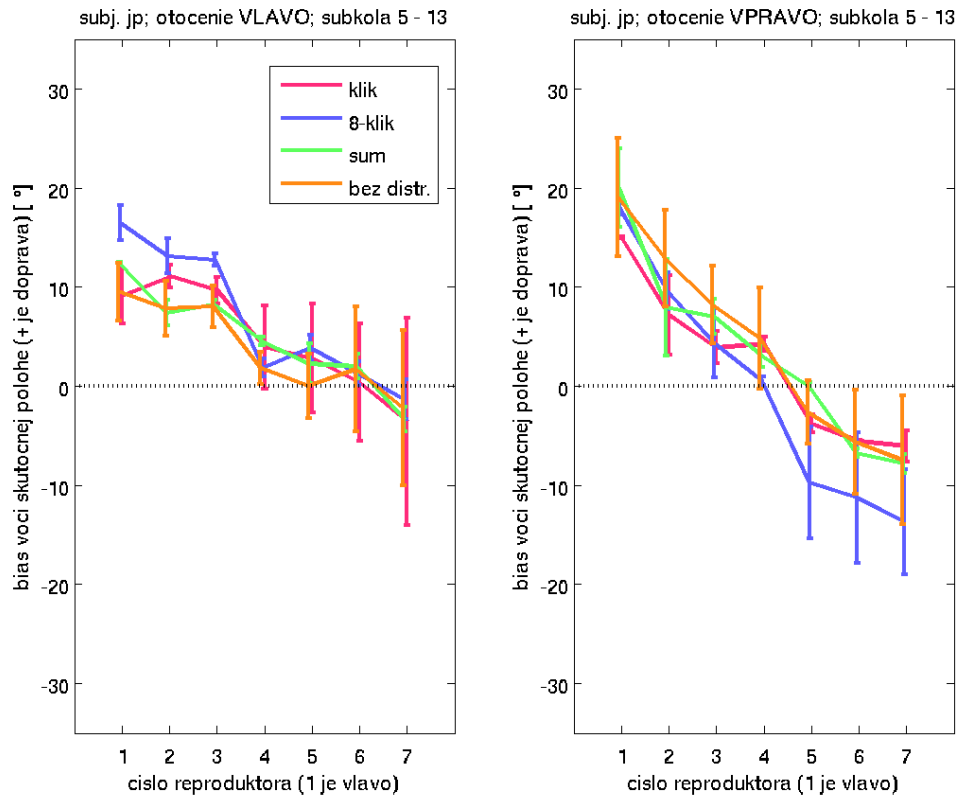


Obr. 4–25 Subjekt „is“, graf 5.

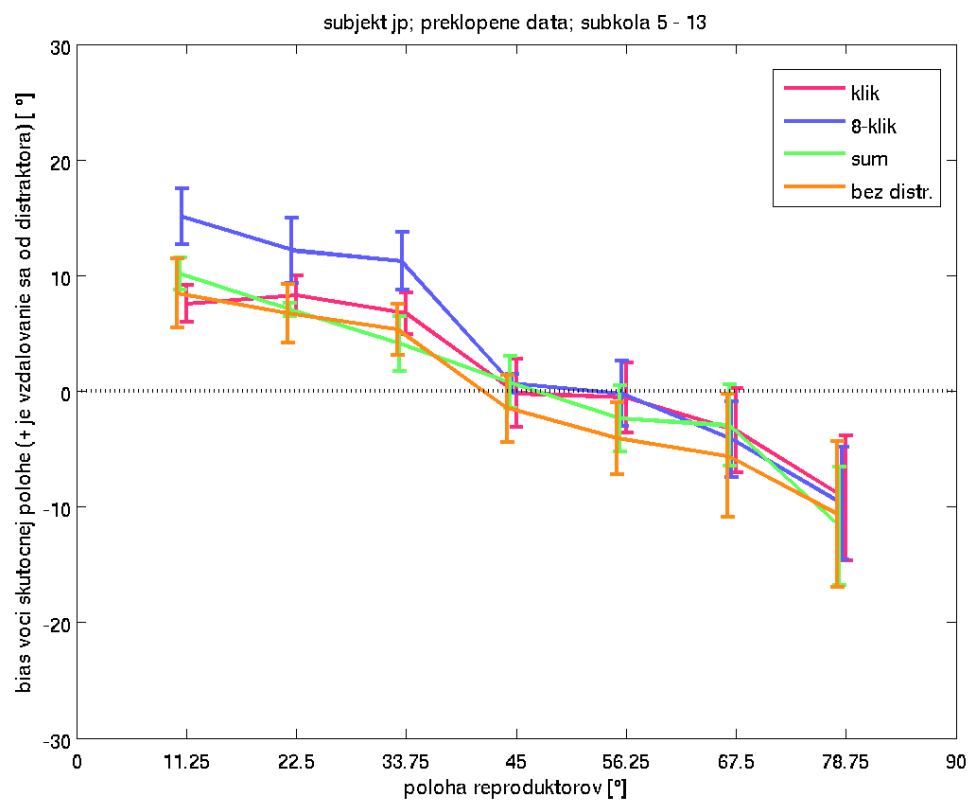


Obr. 4–26 Subjekt „is“, graf 6.

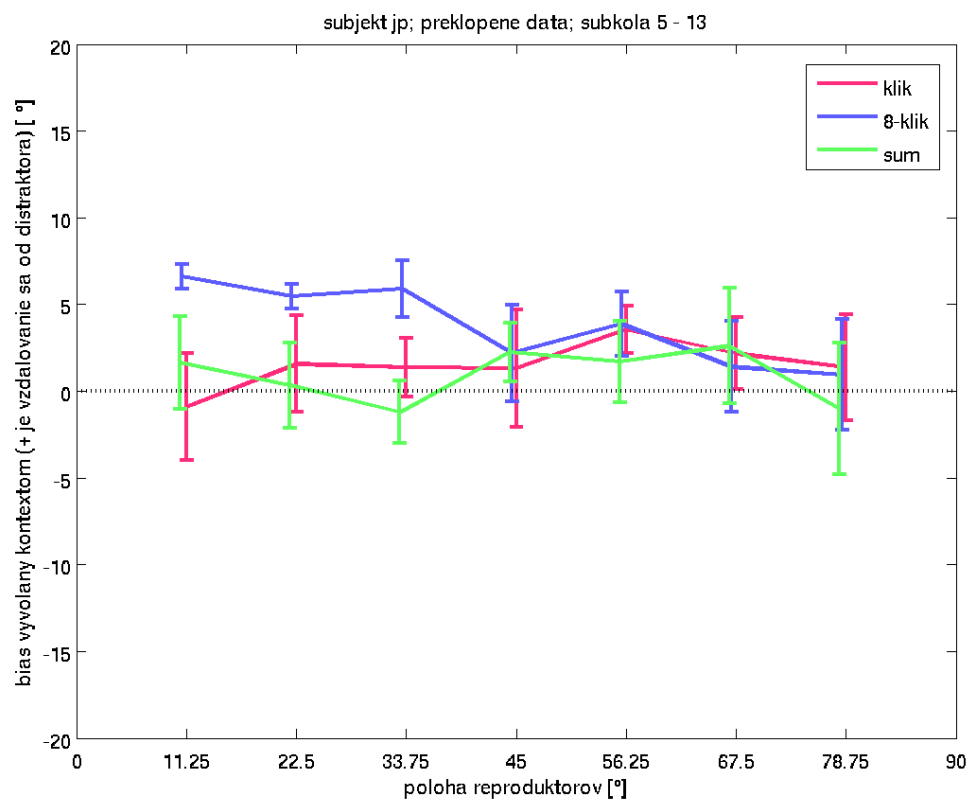
Subjekt „jp“



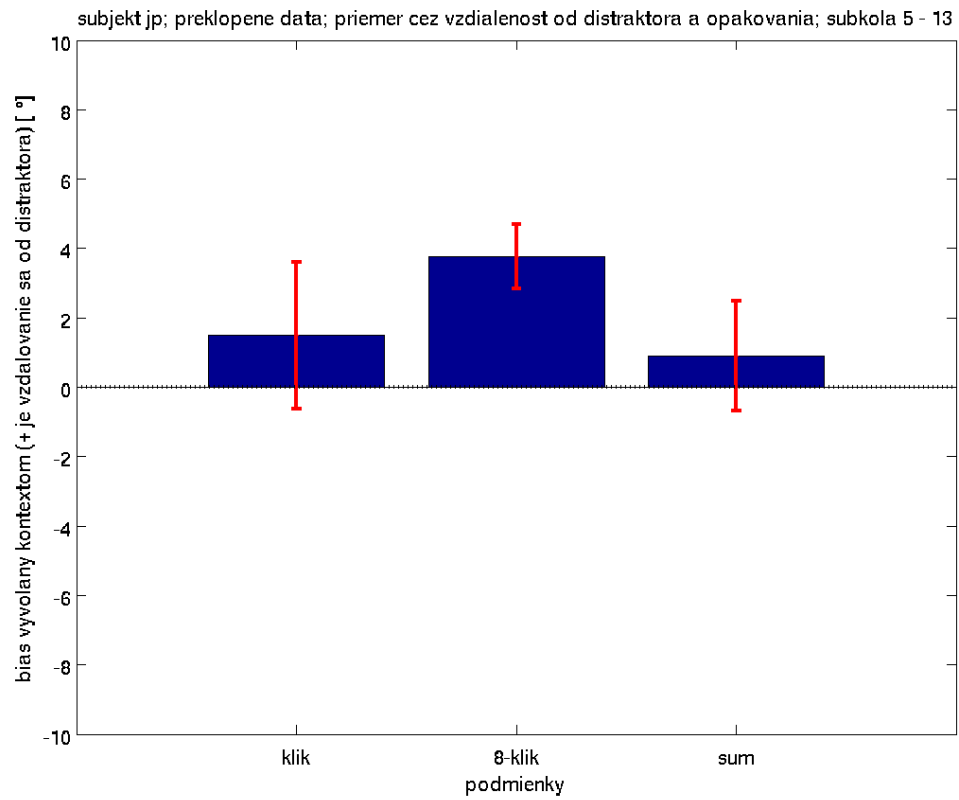
Obr. 4–27 Subjekt „jp“, graf 1.



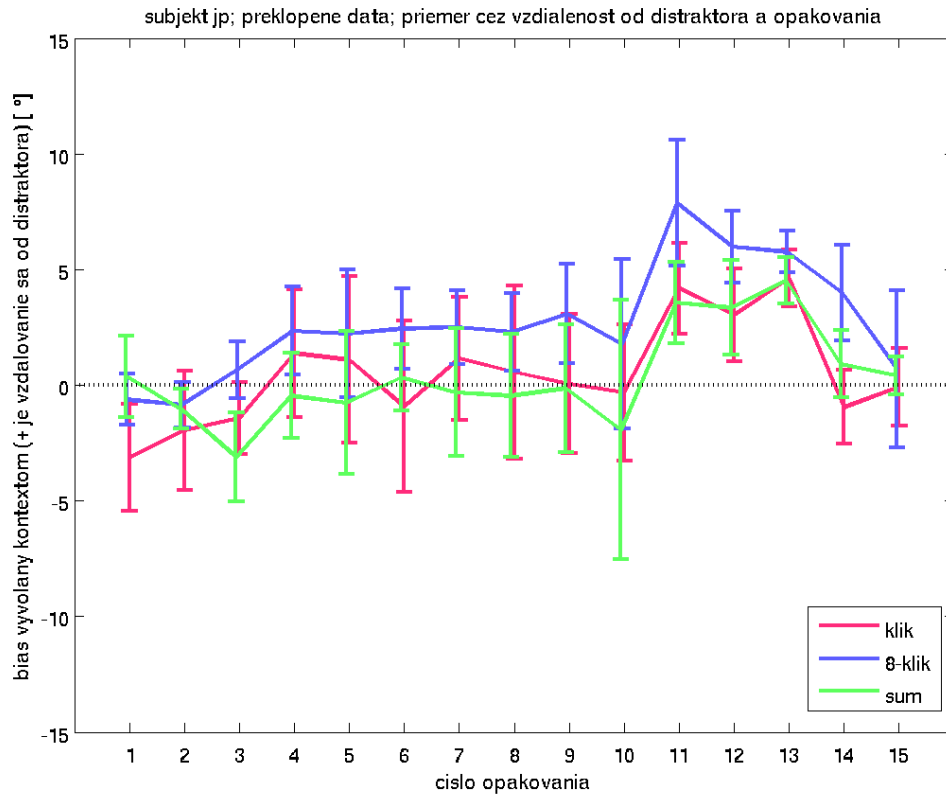
Obr. 4–28 Subjekt „jp“, graf 2.



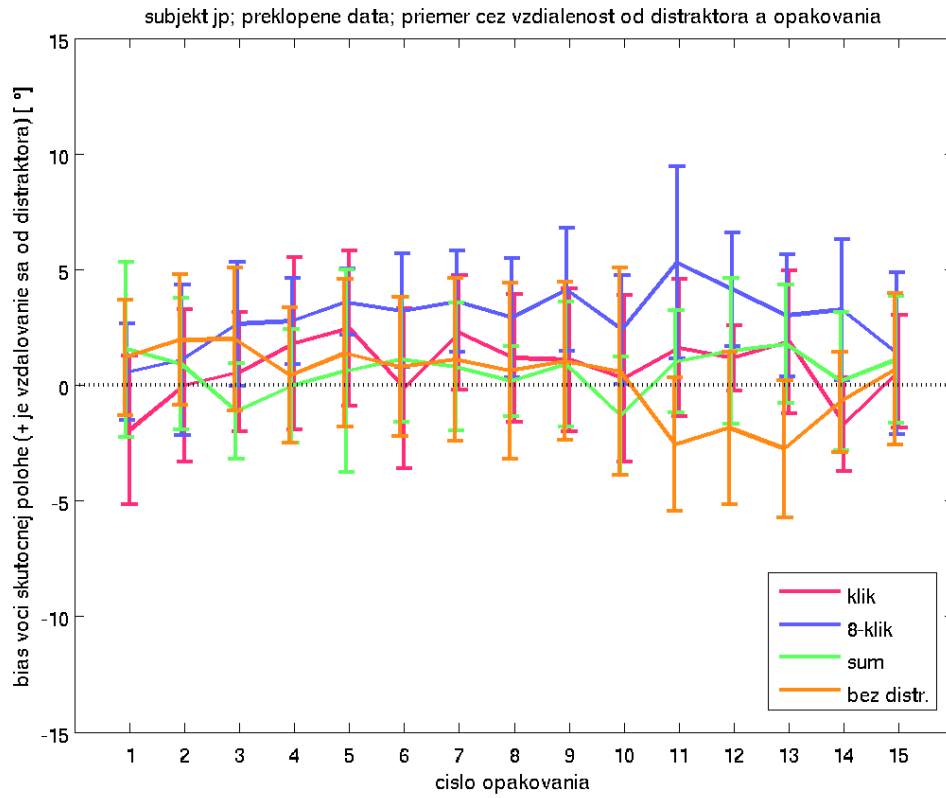
Obr. 4–29 Subjekt „jp“, graf 3.



Obr. 4 – 30 Subjekt „jp“, graf 4.

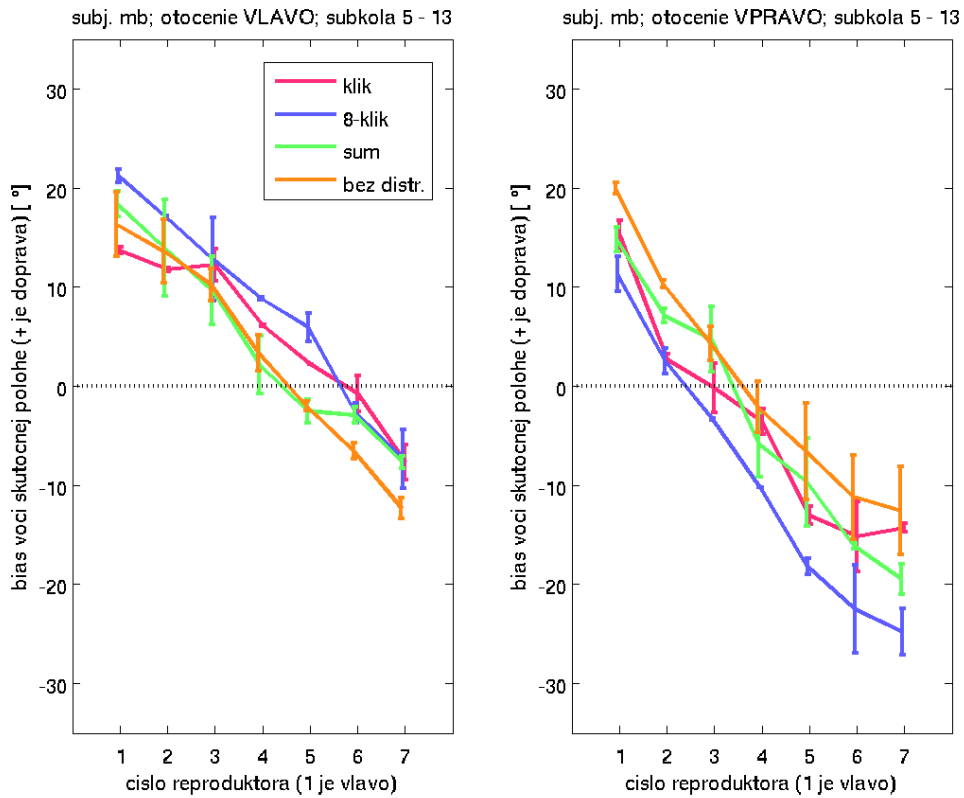


Obr. 4–31 Subjekt „jp“, graf 5.

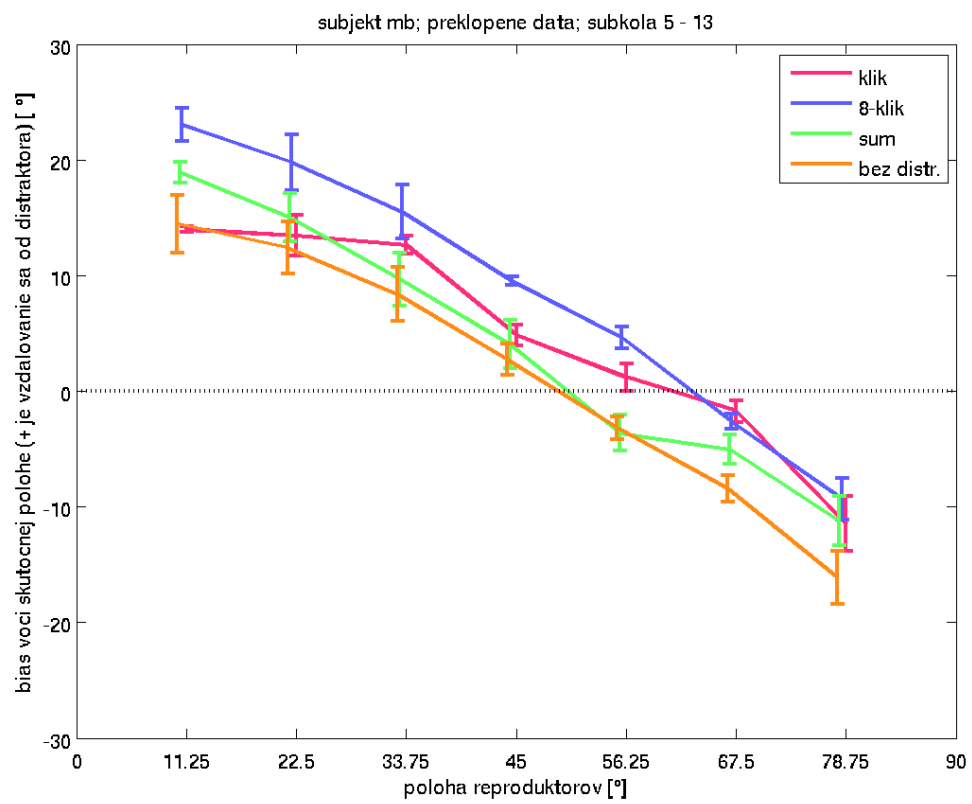


Obr. 4–32 Subjekt „jp“, graf 6.

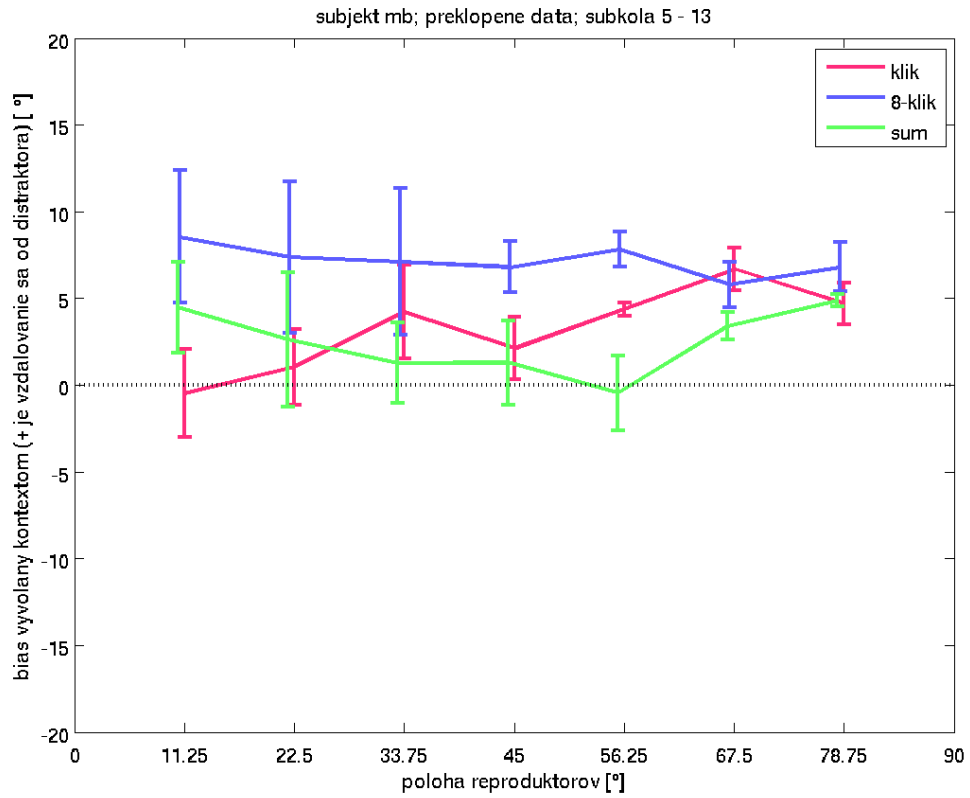
Subjekt „mb“



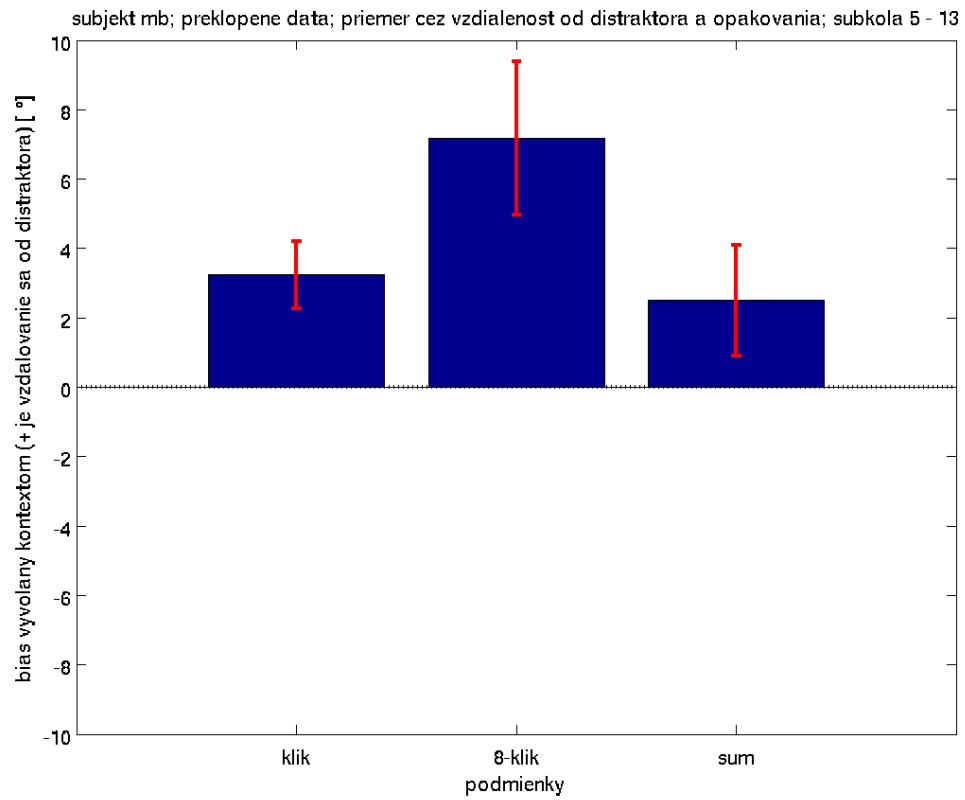
Obr. 4-33 Subjekt „mb“, graf 1.



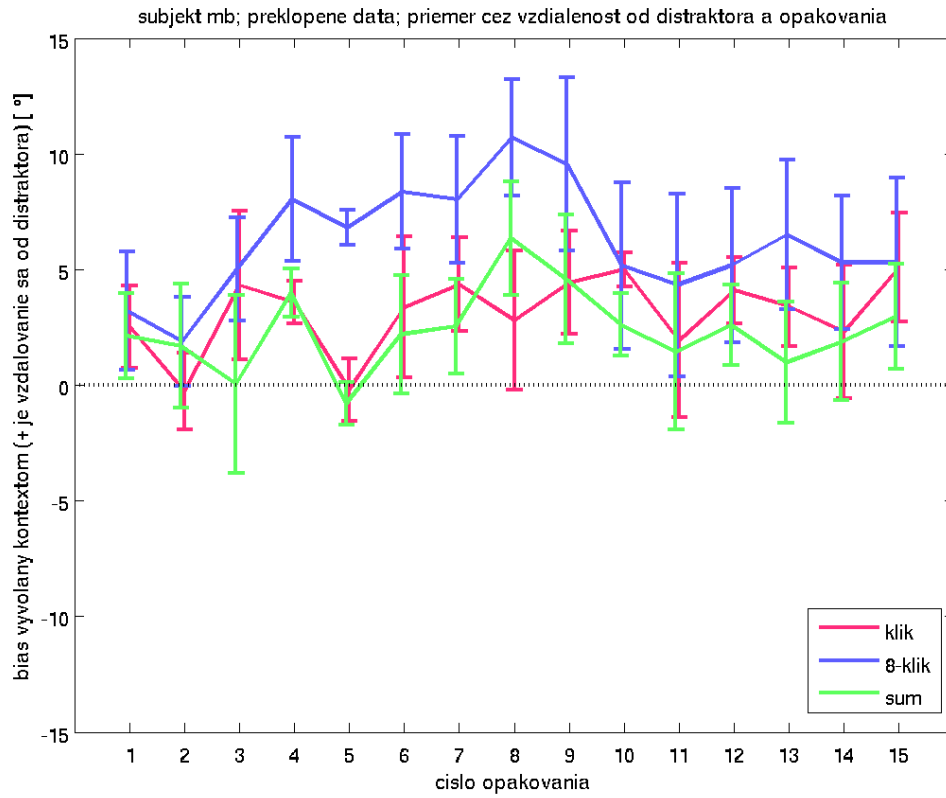
Obr. 4–34 Subjekt „mb“, graf 2.



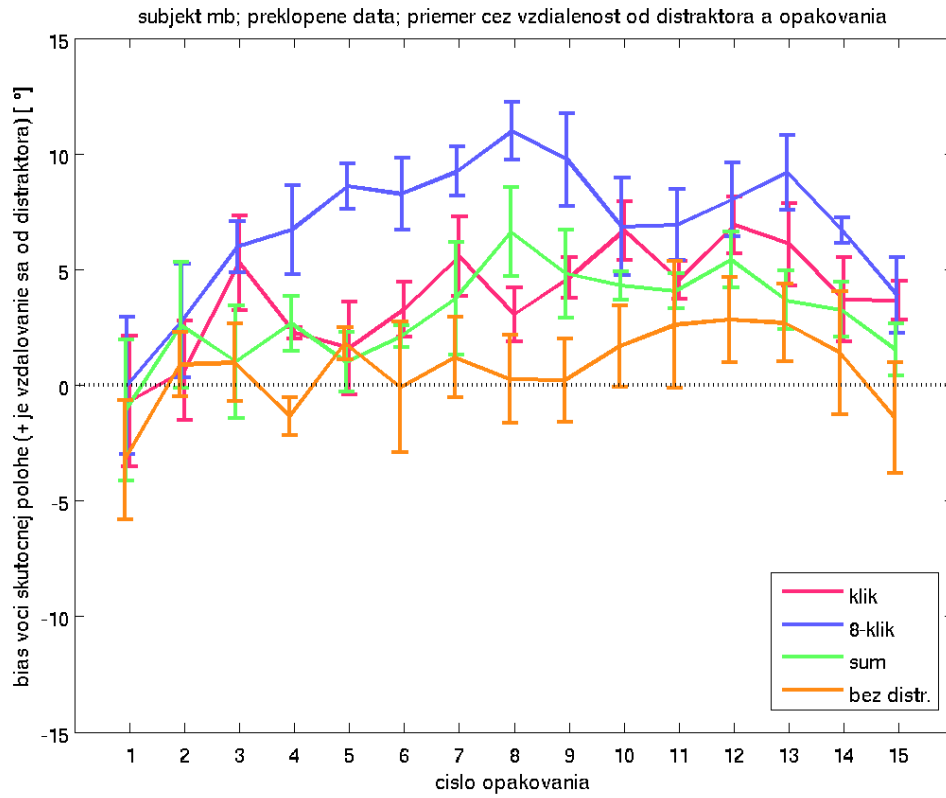
Obr. 4–35 Subjekt „mb“, graf 3.



Obr. 4–36 Subjekt „mb“, graf 4.

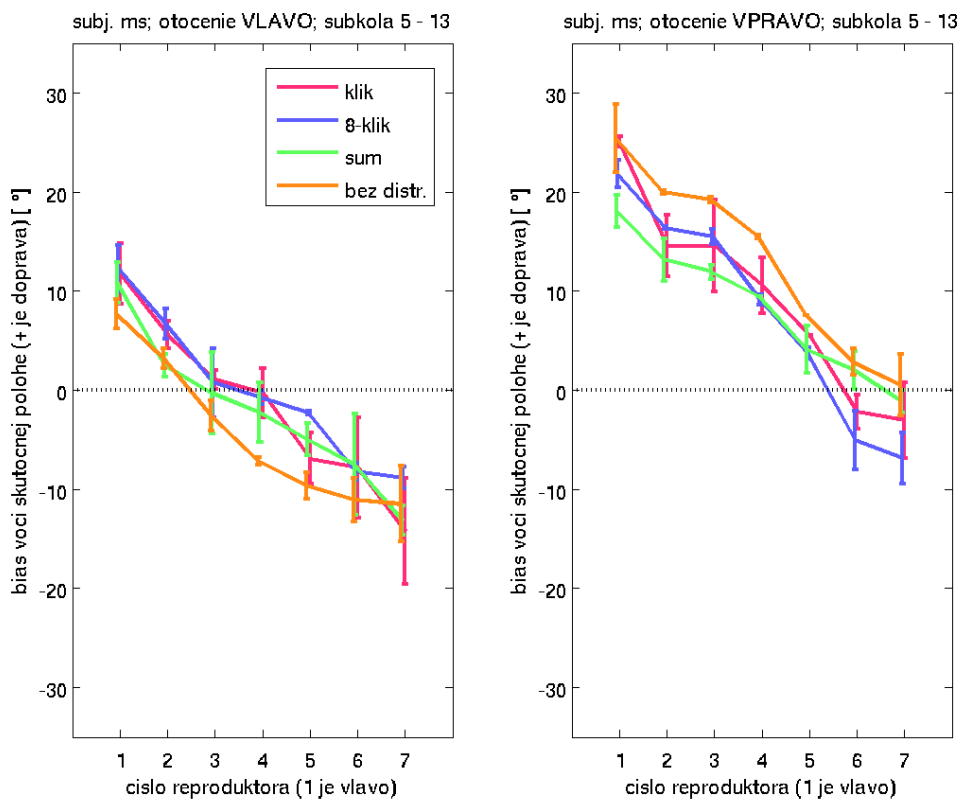


Obr. 4–37 Subjekt „mb“, graf 5.

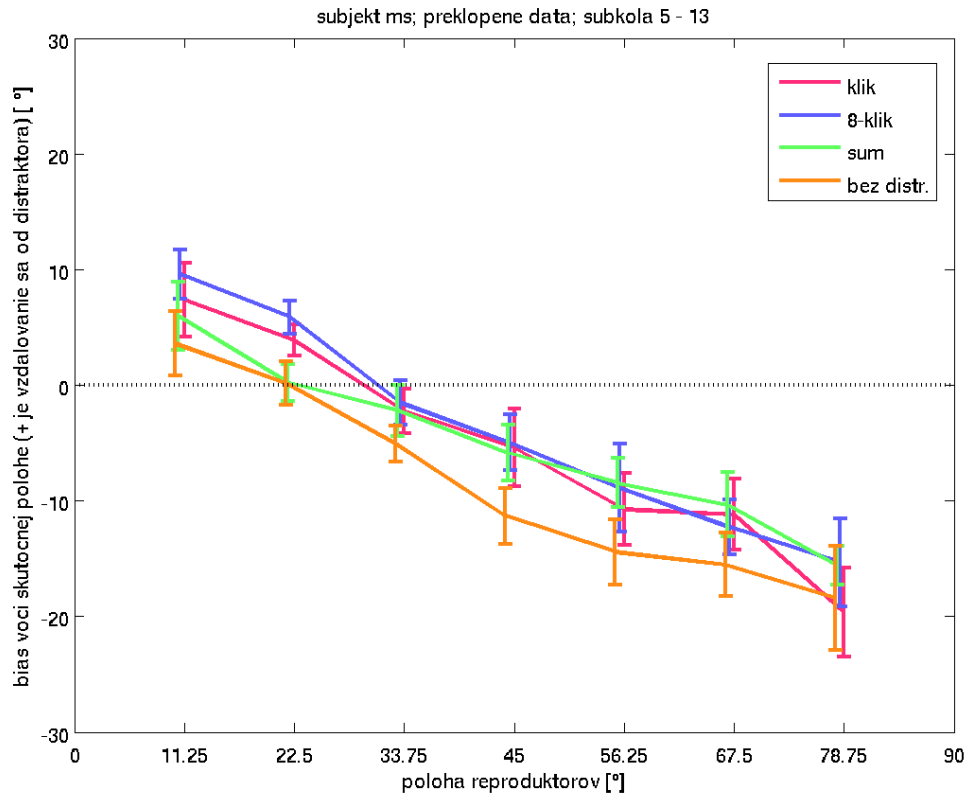


Obr. 4–38 Subjekt „mb“, graf 6.

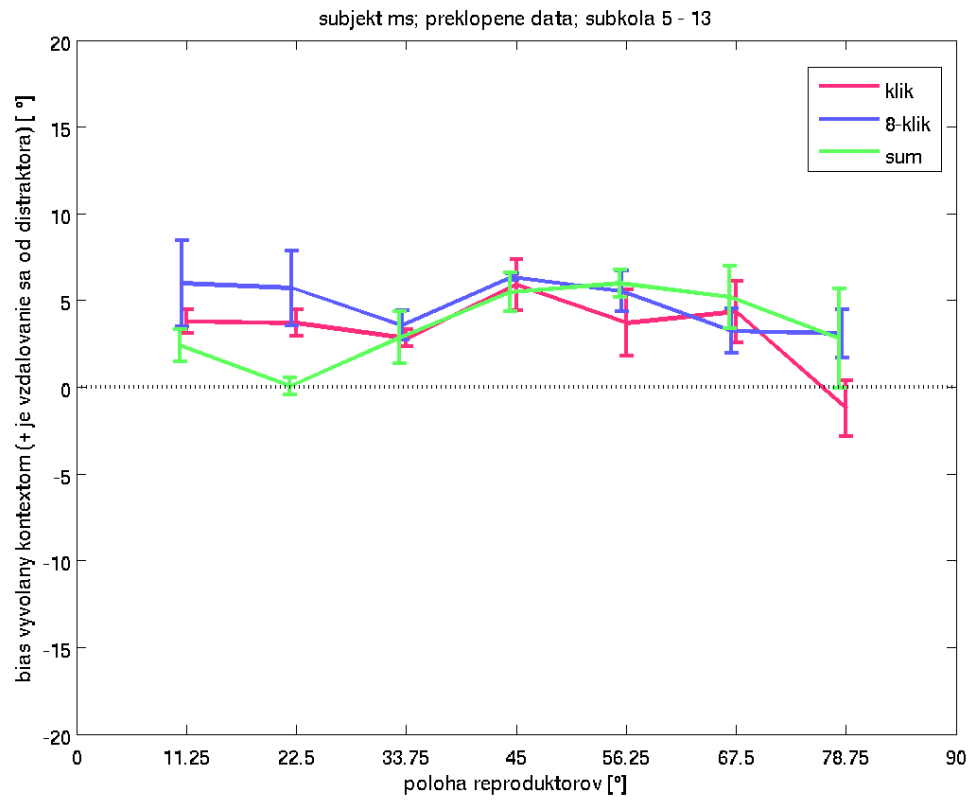
Subjekt „ms“



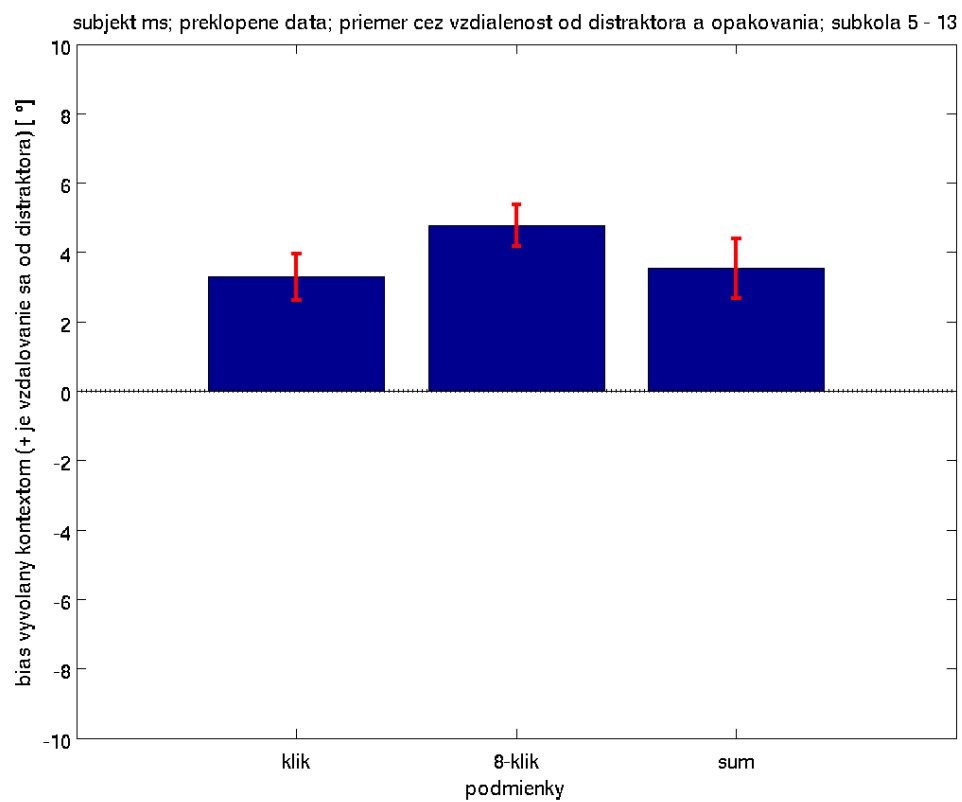
Obr. 4-39 Subjekt „ms“, graf 1.



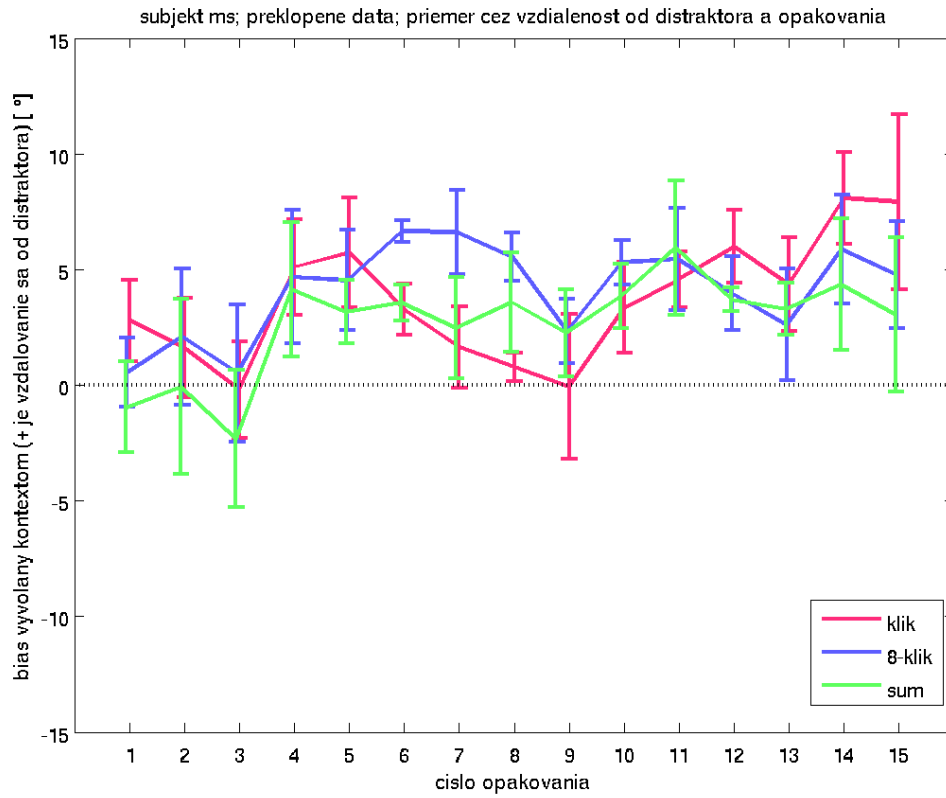
Obr. 4–40 Subjekt „ms“, graf 2.



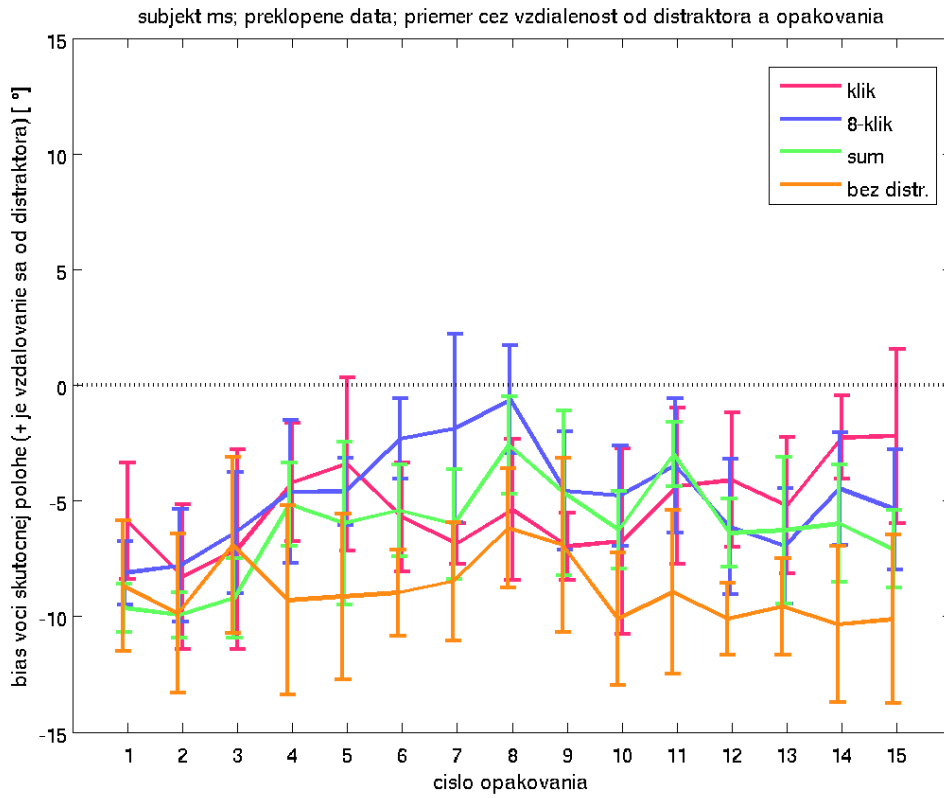
Obr. 4–41 Subjekt „ms“, graf 3.



Obr. 4–42 Subjekt „ms“, graf 4.

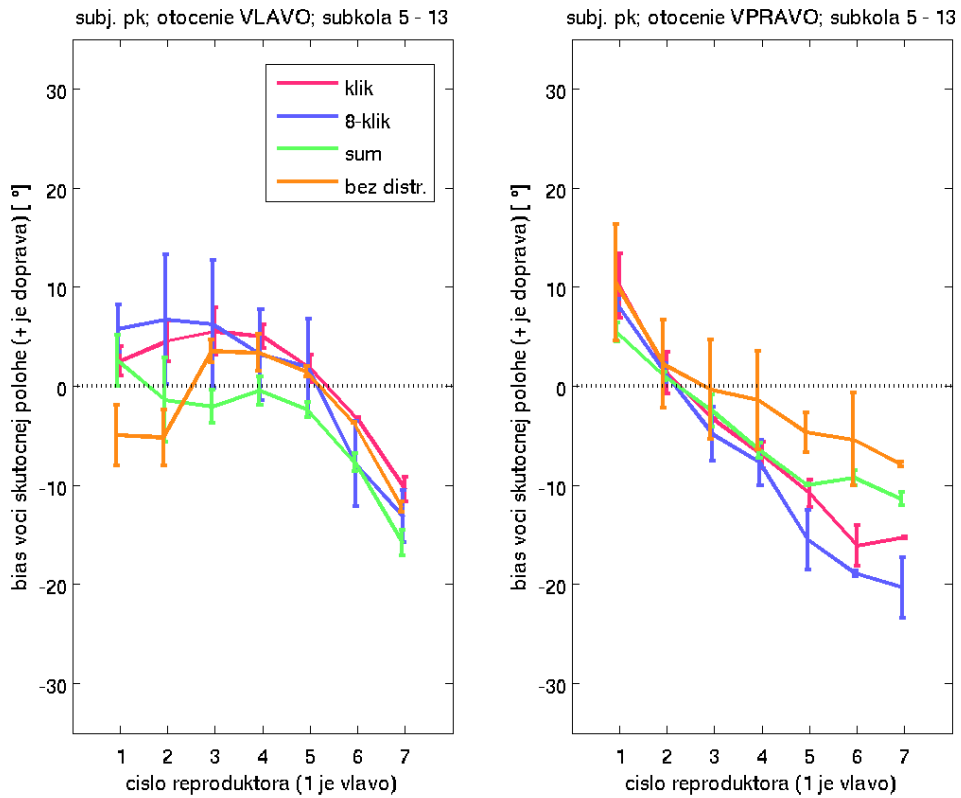


Obr. 4–43 Subjekt „ms“, graf 5.

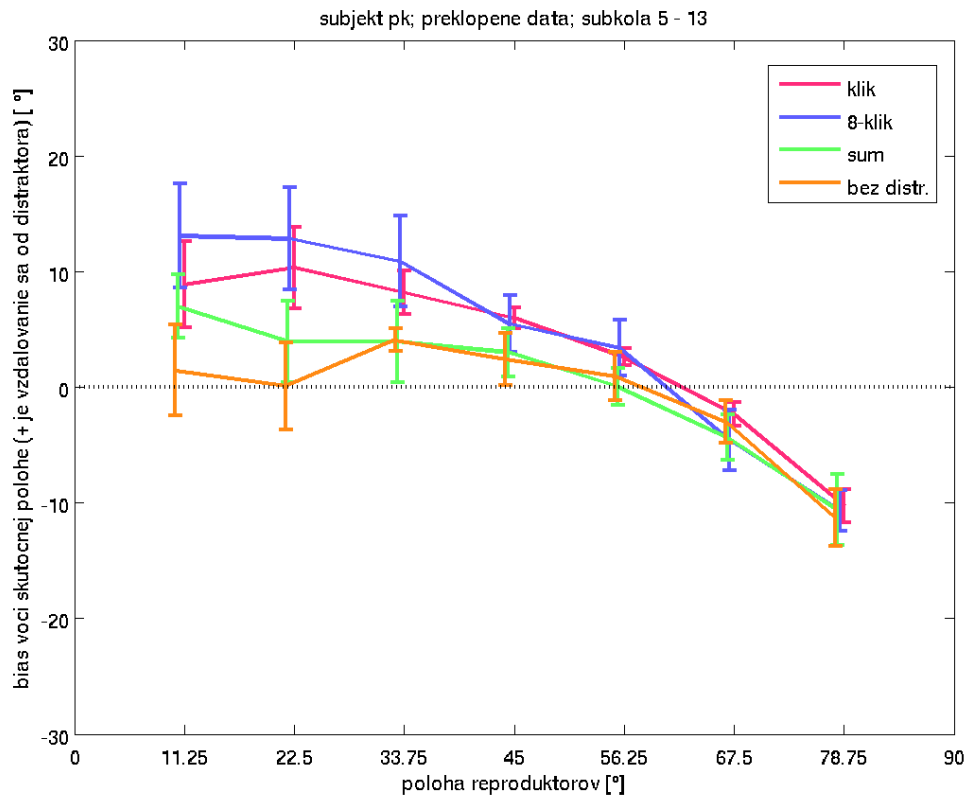


Obr. 4–44 Subjekt „ms“, graf 6.

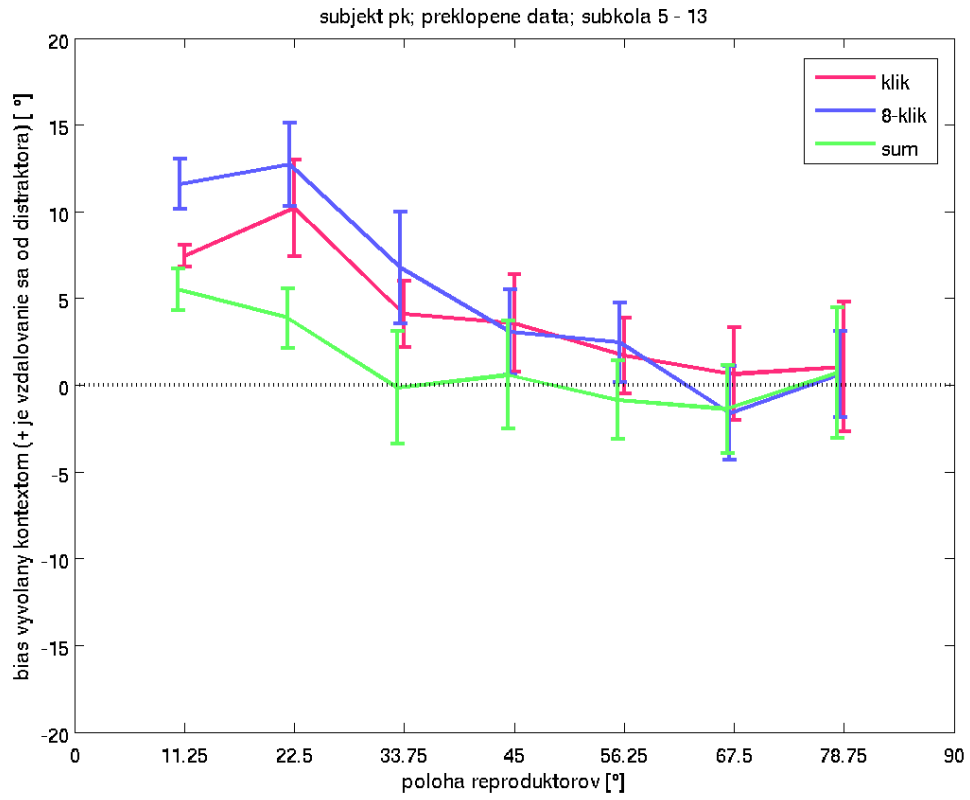
Subjekt „pk“



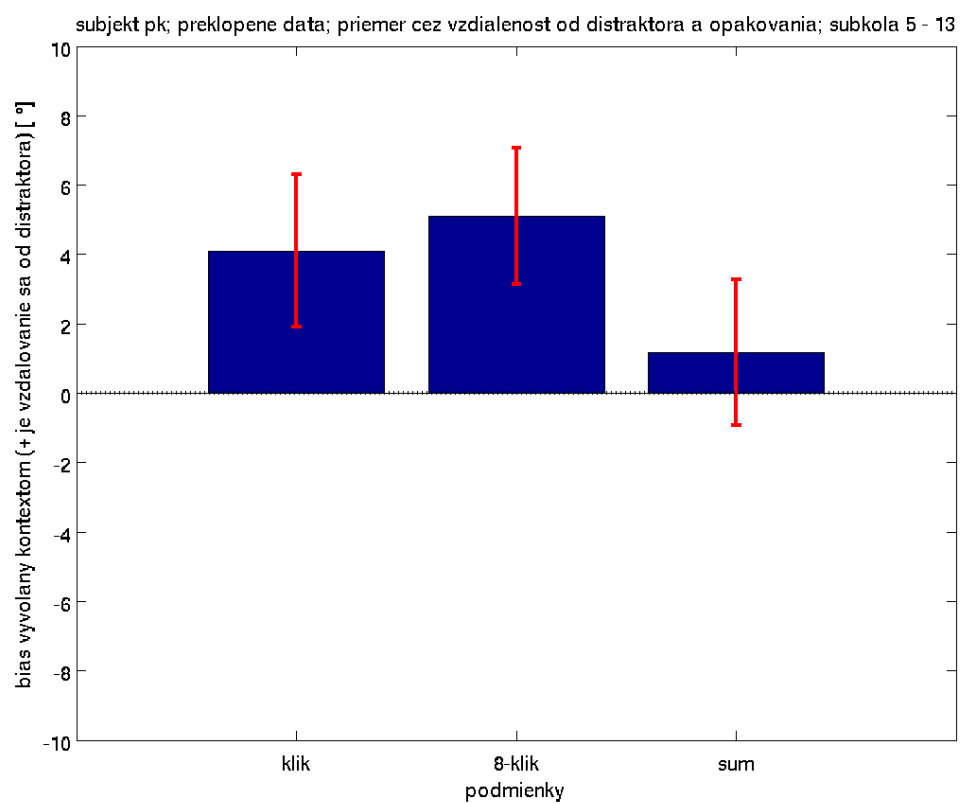
Obr. 4–45 Subjekt „pk“, graf 1.



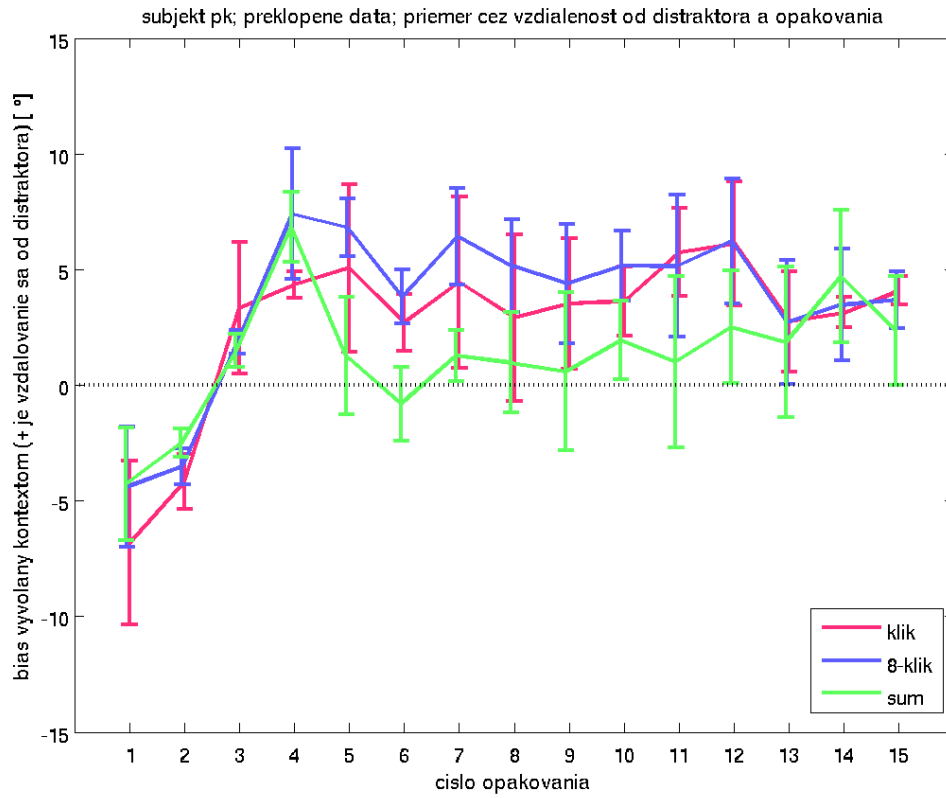
Obr. 4-46 Subjekt „pk“, graf 2.



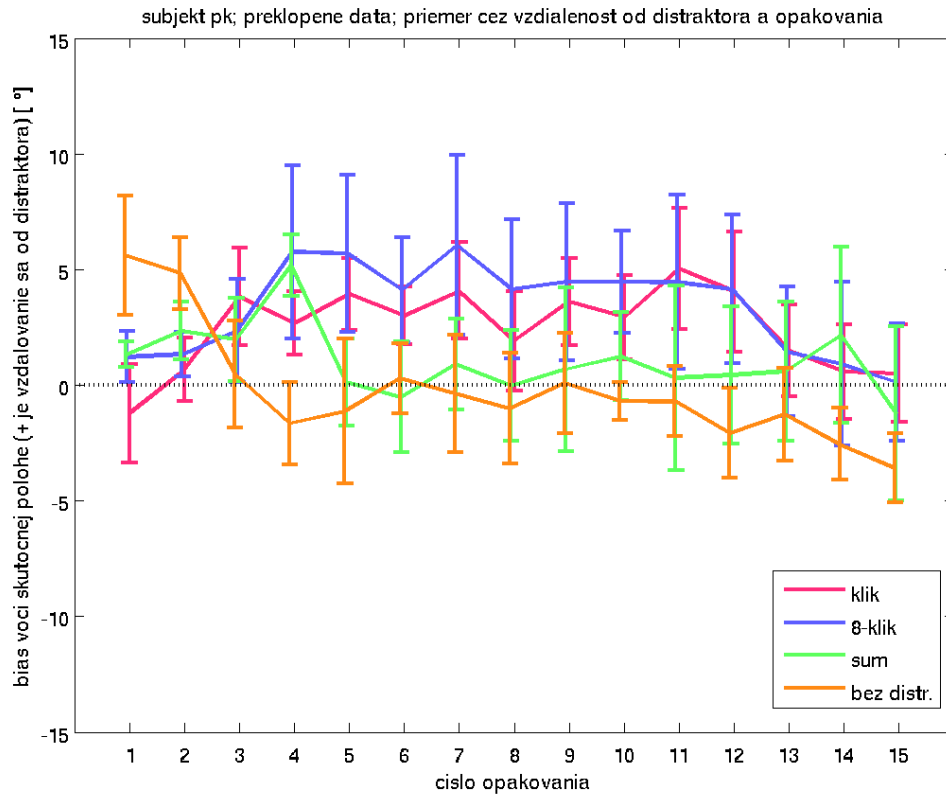
Obr. 4-47 Subjekt „pk“, graf 3.



Obr. 4–48 Subjekt „pk“, graf 4.



Obr. 4–49 Subjekt „pk“, graf 5.



Obr. 4–50 Subjekt „pk“, graf 6.

Príloha B – Používateľská príručka

Funkcia programu

Program pozostáva zo samostatných súborov obsahujúcich podprogramy slúžiace na výskum sluchovej plasticity. Niektoré podprogramy predstavujú inicializáciu meracích procedúr, iné samotné experimentálne procedúry, ich analýzy, skripty na ukladanie grafov a pod. Autorom programov je Michal Barto, niektoré časti však vychádzajú z programov k pôvodnému experimentu. Ich autorkou je Ing. Beáta Tomoriová. Balík pomocných programov „NaN Suite“ bol naprogramovaný Janom Gläscherom a získaný z oficiálneho webu spoločnosti MathWorks.

Súpis obsahu dodávky

Súbory súvisiace s experimentom popísaným v diplomovej práci sú uložené v adresári „experiment“.

Požiadavky na technické prostriedky

Analýza je realizovateľná na štandardnom PC. Na spustenie experimentu je však potrebný experimentálny aparát popísaný v experimentálnej časti práce.

Požiadavky na programové prostriedky

- operačný systém: Microsoft Windows XP
- programovacie prostredie: MATLAB v7.1

Vlastná inštalácia programu

Inštalácia programu zahŕňa skopírovanie adresára *experiment* do pracovného adresára MATLABu. Pre správnu činnosť programu je potrebné zachovať adresárovú štruktúru.

Popis štruktúry programu

Súbory slúžiace na analýzu sa nachádzajú v hlavnom adresári (*experiment*). Súbory slúžiace na „čistenie“ a následnú analýzu dát sa nachádzajú v adresári *experiment/analysis*, zvukové nahrávky slúžiace ako inštrukcie pri experimente sú uložené v adresári *experiment/cmds*, dáta namerané počas experimentu na jednotlivých subjektoch boli uložené do adresára *experiment/subjects*. Adresár *experiment/nansuite* obsahuje pomocné programy balíka „NaN Suite“.

Popis správ pre systémového programátora

Väčšina chybových hlásení, ktoré by sa mohli vyskytnúť, bude pravdepodobne súvisieť s porušením pôvodnej adresarovej štruktúry a následnými nesprávnymi cestami k súborom.

Použitie programu

Pred spustením samotného experimentu je potrebné spustiť skript *genperm.m* v hlavnom adresári. Následne experiment spustíme pomocou skriptu *seqexp.m*. Po skončení experimentu sa dáta vyhodnocujú a analyzujú pomocou skriptov *an0.m*, *an1.m*, *an2.m*, *an3.m* a *an4a.m*. Detailný popis použitia programu sa nachádza v prílohe C – Systémová príručka.

Popis dialógu s používateľom

Používateľ komunikuje s programom za pomoci „Command Window“ v MATLABe, kde len zadáva odpovede, ktoré sú od neho žiadané. Procedúru môže kedykoľvek počas behu programu prerušiť stlačením klávesovej skratky [CTRL]+[C].

Popis vstupných, výstupných a pracovných súborov

Jednotlivé programy pracujú so súbormi skriptov jazyka MATLAB (prípona .m) a dátovými súbormi jazyka MATLAB (prípona .mat). Inštrukcie sú uložené v súboroch typu „Waveform Audio Format“ (prípona .wav). Obrázky grafov vygenerované v skriptoch sa ukladajú do súborov typu „Portable Network Graphics“ (prípona .png).

Príloha C – Systémová príručka

Funkcia programu

Program pozostáva zo samostatných súborov obsahujúcich podprogramy slúžiace na výskum sluchovej plasticity. Niektoré podprogramy predstavujú inicializáciu meracích procedúr, iné samotné experimentálne procedúry, ich analýzy, skripty na ukladanie grafov a pod. Autorom programov je Michal Barto, niektoré časti však vychádzajú z programov k pôvodnému experimentu. Ich autorkou je Ing. Beáta Tomoriová. Balík pomocných programov „NaN Suite“ bol naprogramovaný Janom Gläscherom a získaný z oficiálneho webu spoločnosti MathWorks.

Analýza a popis riešenia

Programy boli naprogramované v programovacom prostredí MATLAB v7.1. Zvukovými pordnetmi sú šum s trvaním 2 ms, osem po sebe nasledujúcich šumov s trvaním 2 ms (identických s 1. šumom) a časovým rozstupom medzi jednotlivými šumami 125 ms a pseudonáhodný šum rovnakej dĺžky ako osem šumov s rovnakou RMS energiou. Experimentátor počas experimentu a analýz komunikuje s programom pomocou „Command Window“.

Popis programu

Pred začatím experimentu s novým subjektom je potrebné dáta pre subjekt inicializovať spustením skriptu *genperm.m* z hlavného adresára, čím sa vytvoria v adresári *subjects* súbory s rozpisom celého experimentu pre daný subjekt. Tu sa budú počas experimentu zaznamenávať jednotlivé odpovede subjektu.

Na začatie experimentu je potrebné spustiť skript *seqexp.m* z hlavného adresára. Počas

experimentu sa subjekt riadi inštrukciami, ktoré sú mu prehrávané. Po dokončení sedenia sa činnosť skriptu ukončí. Pre pokračovanie experimentu je potrebné opätovne tento skript spustiť. Rovnako postupujeme aj po skončení druhého a tretieho sedenia. Štvrté sedenie je posledným sedením.

Po ukončení celého experimentu sú vykonávané analýzy. Pred samotným vykonaním analýz je potrebné skopírovať všetky súbory začínajúce menom (resp. ID) subjektu z adresára *subjects* do adresára *analysis/[ID_subjektu]*. Postupne je potrebné spustiť skripty *an0.m*, *an1.m*, *an2.m* a *an3.m*. Týmto je dokončené spracovanie dát. Výsledky analýz sú uložené do adresára *analysis/[ID_subjektu]*.

Ak chceme vykresliť grafy pre daný subjekt, je potrebné spustiť skript *an4a.m*. Grafy sa postupne vykreslia a vo formáte PNG uložia do adresára *analysis/graphs*.

Ak chceme vykresliť priemerné grafy pre viacero subjektov (za predpokladu, že na nich bolo vykonané spracovanie dát), je potrebné doplniť ID jednotlivých subjektov do skriptu *an4b.m* a následne tento skript spustiť. Grafy sa postupne vykreslia a vo formáte PNG uložia do adresára *analysis/graphs*.

Popis algoritmov, údajových štruktúr a globálnych premenných

Popis jednotlivých experimentálnych skriptov:

- *genperm.m* – vygeneruje rozpis celého experimentu; je potrebné spustiť ho ako prvý
- *playcommand.m* – prehráva inštrukcie (zvuky formátu WAV) z adresára *cmds*; je volaný skriptom *seqexp.m*
- *seqexp.m* – zabezpečuje chod experimentu; spustiť ho je potrebné po vygenerovaní rozpisu experimentu pomocou skriptu *genperm.m*
- *testcircle.m* – testuje, či sú reproduktory správne umiestnené; spúšťa sa podľa zväzovania, spravidla by sa však mal spúšťať vždy pred začatím experimentu

- `testhead.m` – testuje, či je hlava subjektu približne v strede miestnosti; spúšťa sa podľa zváženia, spravidla by sa však mal spúšťať vždy pred začatím sedenia
- `testrepro.m` – testuje funkčnosť jednotlivých reproduktorov; spúšťa sa podľa zváženia, spravidla by sa však mal spúšťať vždy pred začatím sedenia

Popis jednotlivých vyhodnocovacích skriptov:

- `analysis/an0.m` – zistí stred štvrtkruhu a súradnice jednotlivých reproduktorov
- `analysis/an1.m` – predspracuje (resp. „očistí“) dáta
- `analysis/an2.m` – volaním skriptu `findheadcenter.m` určí stred hlavy subjektu v jednotlivých meraniach a volaním skriptu `countbias.m` vypočíta odpovede subjektu v jednotlivých meraniach
- `analysis/an3.m` – roztriedi dáta a vytvorí matice pre vykresľovanie grafov
- `analysis/an4a.m` – vykreslí grafy pre jeden subjekt
- `analysis/an4b.m` – vykreslí priemerné grafy pre viacero subjektov
- `analysis/countbias.m` – vypočíta odpovede subjektu v jednotlivých meraniach
- `analysis/findheadcenter.m` – určí stred hlavy subjektu v jednotlivých meraniach

Jednotlivé premenné a algoritmy sú detailne popísané priamo v zdrojových kódoch vo forme komentárov.

Popis vstupných a výstupných súborov

Experimentálne procedúry generujú dátové súbory jazyka MATLAB (prípona `.mat`), ktoré obsahujú rozpis experimentu pre jednotlivé subjekty a informácie o jednotlivých meraniach, vrátane matíc s odpoveďami. Tieto súbory sú zároveň vstupnými súbormi do analýz.

Kompilácia programu

Vzhľadom k tomu, že MATLAB je skriptovací programovací jazyk, zdrojové kódy nie je potrebné kompilovať.

Zoznam zdrojových kódov

Zdrojové kódy ku konkrétnym experimentom a analýzám sa nachádzajú v prílohe D – Kompaktný disk (CD).

Zhodnotenie riešenia

Zdrojové kódy nie je potrebné upravovať, svoju funkciu plnia správne. Mohlo by však byť vhodné optimalizovať chod skriptov analýz, čím by sa zvýšila ich časová efektívnosť.