

Tartu Ülikool
Psühholoogia Instituut

Käthe-Riin Tull

EESTLASTE JA SOOMLASTE VAHELISED ERINEVUSED PIKA JA
ÜLIPIKA VÄLTE ERISTAMISEL: EEG UURIMUS

Seminaritöö

Juhendajad: Nele Kuldkepp (MSc) ja Maria Tamm (MSc)

Tartu 2013

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida EEG meetodil, kuidas mõjutab keelespetsiifiline mälujalg teisele keelesüsteemile omaste tunnuste sünteesimist. Uuringus kasutati lahknevusnegatiivsuse meetodit (*mismatch negativity*, MMN), et leida eestlaste ja soomlaste vahelisi erinevusi eesti keele väldete tajumisel. Töös esitati stiimuleid, mis erinesid teineteisest nii helitooni pikkuse kui ka languse poolest ning uuringu eesmärk oli välja selgitada psühhofüsioloogilised erinevused keeletöötluses. EEG tulemustes selgus, et eestlased eristavad pikka ja ülipikka väldet teineteisest pigem helitooni kõrguse muutuse ja soomlased helitooni pikkuse järgi.

Märksõnad: Keele õppimine; Mälujalg; Lahknevusnegatiivsus (MMN); EEG; Väldete tajumine

Differences between Estonian and Finnish subjects in perceiving long and overlong
quantity degrees: an EEG study

Abstract

The aim of this study is to analyze the influence of language specific memory trace while proceeding non-native language with EEG method. The paper studied mismatch negativity (MMN) to find differences in Estonian quantity perception between native Estonians and native Finnish groups. The present study compares language proceeding differences between pitch cue and duration. The result showed that native Estonians use pitch cue as an important cue for perceiving differences between long and overlong quantity, but native Finnish use tonal duration.

Keywords: Language learning; Memory trace; Mismatch Negativity; EEG; Quantity perception

1. Sissejuhatus

Keele omandamisel on väga oluline tunda kõnespetsiifilisi mustreid, et õigesti tajuda õpitavas keeles olevaid helisid ja häälikuühendeid. Võimetus ära tunda foneeme võib tekitada probleeme keele mõistmisel ja seetõttu ka rääkimisel. Seetõttu on vaja võõrkeele õppimisel tunda keelele omaseid akustilisi detaile, et end teises keeles korrektselt väljendada (Winkler jt., 1999).

Korrektne keele tajumine põhineb mälujäljel, mis on arenenud välja foneemide tajumisel ehk kuidas on kombineeritud sõnad ja silbid keelestruktuuris (Näätänen, 2001). Uuringute käigus on leitud, et keelespetsiifiline mälujalg tekib enne 12 elukuud ning kognitiivse arengu käigus kasvab võime eristada emakeelele omaseid helisid, kuid väheneb oskus töödelda mitte-emakeelseid helisid (Cheour et al., 1998). Emakeelele omane mälujalg areneb välja väga varakult ning sellele põhinevalt saab õppida kõiki järgnevaid keeli. Sealjuures töötleb aju automaatselt kõiki uusi õpitavaid keeleühikuid ja -ühendeid lähtudes emakeelest (Peltola jt., 2003).

Antud töö uurib soomlaste ja eestlaste keelestruktuuri kuna see on väga sarnane - mõlemad kuuluvad Soome-Ugri Balti-Soome keelekeskkonna filiaali (Lehiste, 1965). Üks peamine erinevus on väldete ja häälikute struktuuris, kuna eesti keeles on vältesüsteem kolmeastmeline ja soome keeles kaheastmeline (Lehiste, 1965). Selle tõttu saab võrrelda, kuidas mälujalg mõjutab sarnase taustaga keele tajumist ja eristamist.

Eesti keele foneetikas on kolme pikkuseastmeline väldete süsteem: lühike, pikk ja ülipikk. Näiteks lühike: sada - number, pikk: saada - käskiv kõneviis ja ülipikk: saada - „midagi saama“ (Erelt jt., 2006). Kõige lihtsam on eristada esimest väldet teisest või kolmandast kuna see erineb nii kirja- kui ka häälduses. Teist ja kolmandat väldet on üksteisest raskem eristada, kuna kirja- ja hääldus on neil enamasti sarnane. Ilse Lehiste (1997) on uurinud silbi põhipikkuse mõju välte tajumisele ning järeldanud, et põhipikkuse kaudu saab eristada vaid esimest väldet teisest, kuid pika välde eristamisel ülipikast on väga oluline tunnus helitooni muutus .

Soome keeles on välja arenenud kaheastmeline väldete süsteem, kus täishääliku ja konsonandi vahel on väga selgelt eristatav erinevus (Suomi jt., 2008; Lehiste, 1965).

Kotratsed lühikesed ja pikad vokaalid võivad tekkida enne või pärast konsonanti ja vastupidi ning see reegel kehtib nii rõhulisel kui ka rõhuta silbil (Suomi jt., 2008).

Keele töötlust on varasemalt väga palju uuritud elektroentsefalograafia (EEG) meetodil (Friederici, 2006), mis võimaldab analüüsida peaaegu elektrilist aktiivsust ja selle muutust vastusena teatud stiimulitele. EEG mõõtmisel saab lahutada müra ja muud segavad signaalid ning tulemusena saab eristada ainult huvipakkuva stiimuliga seotud vastuseid, mida nimetatakse sündmusega seotud signaalideks ehk ERP (*event related potential*) komponentideks (Luck, 2005).

Näätänen ja kolleegid (1997) on leidnud, et kõne ja heli tajumist saab kõige paremini uurida stiimulile antava kortikaalse vastusega, mida kutsutakse lahknevusnegatiivsuseks (*mismatch negativity* ehk *MMN*). Seeria alguses esitatakse standardstiimulite jada, mis tekitab mälujälje. Standardstiimulite vahelele esitatakse harvaesinevaid hälbivaid stiimuleid (deviantstiimuleid ehk deviante), mis põhjustab lahknevusnegatiivsuse (*MMN*). Selle tulemusena toimub sündmusega seotud komponendi (ERP) negatiivne väljalöök, mis tavapäraselt ilmneb vahemikus 100-200 ms stiimuli esitamise algusest (Näätänen, 1999). *MMN*-i eripära seisneb selles, et selle tekkimiseks ei pea esitatavale stiimulile tähelepanu pöörama, vaid see on aju automaatne reageering (Näätänen jt., 2007). Seetõttu võib öelda, et igasugune auditoorse heli muutus võrreldes eelneva mälujäljega kutsub esile *MMN*-i ning seda saab eristada lihtsate helide tuvastamisel nagu foneemid või sinusoidne heli (Näätänen jt., 1978; Näätänen, 2001).

Keele normaalset neuroloogilist arengut on väga palju uuritud, senini on palju teadaolematud aspekte (Friederici, 2006). *MMN* on üks viis, mille kaudu saab uurida keelte töötlemise vahelisi erinevusi ning analüüsida teise keele õppimise arengut (Winkler jt., 1999). Varasemas soomlaste ja ungarlaste uuringus selgus, et soomlased ja ungarlased (kes olid elanud Soomes ja oskasid soome keelt) suutsid kiiremini ja täpsemini ära tunda soome keelseid häälikuid, emakeelena mitte ungari keelt rääkivatel isikutel ei suutnud neid häälikuid ära tunda. Selle töö tulemusena selgus, et väga hea soome keele tasemega ungarlastel oli arenenud Soome häälikusüsteemile omane mälujalg, mida ungarlastel tavaliselt ei ole (Winkler jt. 1999). Võõrkeele õppimisel aktiveeruvad mälujäljed, millele põhinevalt õpitakse tundma uue keele mustreid ning sellele tuginedes kujuneb välja näiteks hääldus (Näätänen, 2000).

Eestlaste ja soomlaste keeletöötuse erinevusi on valdavalt uuritud käitumuslike meetoditega hinnates stiimuleid vastavalt eesti keele vältesüsteemile ning arvestades stiimulite äratundmise reaktsiooniaega (Lippus jt., 2009). Töös leiti, et eestlased kasutavad ülipika välte eristamisel helikõrguse muutust, kuid soomlased kasutavad ainult põhitooni pikkust ja ei ole võimelised helikõrguse muutuse järgi välteid tuvastama (Lippus jt., 2009).

Näätänen ja kolleegide (1997) töö on senimaani ainuke, mis on uurinud eestlaste ja soomlaste keeletöötuse erinevuste seost aju aktiivsusega. Töö keskmes oli uurida keelespetsiifiliste häälikute elektrilist ja magnetilist vastust. Soome ja eesti rahvusest katseisikutele esitati standardstiimulina täishäälikut /e/, mis on mõlemas keeles kasutusel. Harvaesineva stiimulina esitati mõlemas keeles olevaid prototüüpe (/õ/, /o/) ja mitte prototüüpi (/ö/), mis esineb vaid eestlastel. Uuringus leiti, et eestlastel oli väga suur muutus MMN-is eesti keele täishääliku /õ/ esitamisel, aga soomlastel mitte. See erinevus tuleneb emakeele spetsiifilisest mälujäljest.

Eestlaste ja soomlaste vahelisi erinevusi vältevahelduse tajumisel ei ole varasemalt EEG-ga uuritud, vaid seda on tehtud käitumusliku uuringuga (Lippus jt., 2009). Eelnevatele keeletöötusega seotud uuringutele tuginedes toimub veldete sünteesimine eestlastel ja soomlastel erinevalt, kuna mõlemal grupil on erinev emakeelele põhinev mälujalg, mis on arenenud varajastel eluaastatel. EEG meetodiga saab uurida vältevahetuse ja keelespetsiifilise mälujälje seoseid ning kas soome ja eesti keele vältevaheline erinevus kutsub esile muutusi MMN komponendis. Sellele tuginedes püstitas autor hüpoteesid:

Hüpoteesid:

- 1) Keeletöötuses kasutavad eestlased 2. ja 3. välte eristamisel helikõrguse vihjet, mille tõttu toimub muutus MMN amplituudis 3. välte põhitooni pikkuse varieerimisel.
- 2) Soomlased eristavad 2. ja 3. veldet teineteisest põhitooni pikkuse järgi, seetõttu ei toimu soomlaste MMNi amplituudis muutust kui 3. veldel on lühikese põhitooni pikkusega.

2. Meetod

2.1. Valim

Katses osales kümme vabatahtlikku katseisikut, kellest viis osalejat olid Soome ja viis Eesti rahvusest. Soomlastest katseisikute puhul oli oluline, et nad ei oleks Eestis elanud kauem kui 2 kuud ega varem läbinud eesti keele kursuseid. Valim koostati Maaülikooli ja Tartu Ülikooli õpilaste ning töö autori tuttavate põhjal .

Mõlema grupi vanused olid vahemikus 19-26 aastat, osales 4 naissoost ja 6 meessoost isikut. Eestlased ja soomlased olid soo ja vanuse suhtes võrdsustatud. Kõik katseisikud olid normaalse või korrigeeritud (vajadusel kannab prille või kontaktläätsesid) nägemisega ja paremakäelised. Enne katse algust täitsid kõik katseisikud informeeritud nõusoleku lehe ja olid teadlikud uurimuse protseduurilisest käigust.

2.2. Stiimulid ja katse ülesehitus

Auditoorsed välteid representeerivad stiimulid on valitud Lippuse ja kolleegide (2009) töö põhjal. Stiimulitevaheliste erinevuste uurimiseks kasutati MMN meetodit, täpsemalt optimaalset paradigmat, kus kasutati 1 standardstiimuli kõrval mitut deviantstiimulit (*optimum paradigm*) (Näätänen jt., 2004). Optimaalne paradigma on sama hästi töötav kui tavapärase nn. oddball meetod, kus standarstiimulite seas esitatakse üksikut hälbivat stiimulit. Mitme deviantstiimuli korraga ühes mõõtmisseries esitamine võimaldab kiiremini mõõta reaktsioone erinevatele stiimulitele ehk saada rohkem informatsiooni lühema ajaga (Näätänen jt., 2004).

Töös kasutan nelja stiimulit (Tabel 1). Stiimulid: 2. vältes olev sõna „saada“ (sõnast „saatma“, stiimul 1), 3. vältes sõna „saada“ (sõnast „saama“, stiimul 3), teisest vältest sünteesitud (stiimul 2) ja kolmandas vältes olevast sõnast sünteesitud stiimul (stiimul 4). Stiimul 1 ja stiimul 2 puhul püsib esimese silbi põhitoon 120-125 Hz vahel, stiimul 3 korral on tegemist põhitooni langusega veidi vähem kui 125 Hz juurest alla kuni 95-100 Hz. Stiimul 4 toimub põhitooni muutus 125 Hz juurest alla 95-100 Hz.

Stiimulid on koostatud programmi Praat (Boersma & Weenink, 2007) abil Pärtel Lippuse poolt ning visuaalselt kujutatud joonistel Lisas 1.

Tabel 1. Stiimulite omadused

	Kaashäälik 1 /s/	Täishäälik 1 /a/	Kaashäälik 2 /d/	Täishäälik 2 /a/
Stiimul 1	100 ms	170 ms	86 ms	101 ms
Stiimul 2	93 ms	290 ms	103 ms	74 ms
Stiimul 3	93 ms	110 ms	103 ms	74 ms
Stiimul 4	100 ms	290 ms	86 ms	101 ms

Märkused: Stiimul 4: teisest välttest sünteesitud; Stiimulid 1-3: kolmandast välttest sünteesitud

Tabel 2. Stiimulite esitamine erinevates katseseeriates.

	Standard	D1	D2	D3
Seeria 1	Stiimul 1	Stiimul 2	Stiimul 3	Stiimul 4
Seeria 2	Stiimul 2	Stiimul 1	Stiimul 3	Stiimul 4
Seeria 3	Stiimul 4	Stiimul 1	Stiimul 3	Stiimul 2
Seeria 4	Stiimul 3	Stiimul 1	Stiimul 4	Stiimul 2

Märkused: D – deviantne stiimul

Stiimulid esitati Matlabis (MathWorks, Inc, Natic, Massachusetts, Ameerika Ühendriigid) programmeeritud juhtprogrammide abil kõrvaklappidesse seeriates kaupa. Kokku oli 4 seeriat, mis on esitatud tabelis 2., iga stiimul esines erinevas seerias nii standardina kui deviandina (Tabel 2.). Iga stiimul esines erinevas seerias standardina: 1. seerias oli stiimul 1 standard ja ülejäänud stiimulid deviandid, 2. seerias oli stiimul 2 standard ja teised deviandid, 3. seerias oli standardstiimul 4 ja 4. seerias oli stiimul 3 standard ning ülejäänud deviandid (Tabel 2). Stiimulite esitusviisi vahetamine väldib olukorda, kus stiimulite esitamise järjekord mõjutab lõpptulemust. Esituse vahelise pausi aeg (*ISI* ehk *interstimulus interval*) oli 400ms, 425ms ja 450 ms, deviantstiimuleid esitati 150 ja standardstiimuleid 465 korda, iga seeria alguses esitati järjest 15 standardstiimulit, et tekiks vastav mälujälg.

Lippus ja kolleegid (2009) kasutasid oma uurimuses samasuguseid stiimuleid ja leidsin järgnevad tulemused: eestlaste kõrvale peaks olema stiimul 1 (eesti keele 2. välde) eristatav 99% ja soomlastel 90% juhtudest. Stiimul 2 kõlab soomlastele nagu kolmas välde, seda ilmnes 95% juhtudel, seevastu eestlastel kõlas see 55% juhtudest 2. vältena. Stiimul 3, mille põhitoon on kolmanda välte põhine, kõlas eestlaste jaoks

85% ja soomlaste jaoks 65% juhtudest teise vältena. Stiimulit 4 pidasid nii eestlased kui ka soomlased 95% ulatuses 3. välteks.

2.3. Katse käik/protseduur

Katseisikud osalesid katses individuaalselt. Esmalt allkirjastasid osalejad nõusolekulehe ja lugesid läbi katse üldinstruktsioonid. Seejärel määrati osaleja kortikaalse ärgastatuse tase, milleks kasutati CFF (critical flicker frequency) testi ja subjektiivse väsimust hinnati Borg testi CR10 skaalal (0 väsimuse puudumine - 10 maksimaalne väsimus; Borg, 1998). Väärtused määras katseisik enne ja pärast katse toimumist. Enne ja pärast katse alustamist ja lõpetamist kontrolliti katseisiku aju elektrilist aktiivsust ilma stiimuli esitamiset, n.ö. algtaseme aktiivsust. Katses osaleja pidi pilgutama 5 korda aeglaselt silmi ning seejärel hoidma silmi 2 minutit avatuna, sealjuures hoiduma silma-ja pealiigutustest. Sama korraldi ka suletud silmadega, kuid ilma pilgutusteta. Väsimuse hinnanguid, puhkeoleku EEG ja CFF mõõtmise tulemusi käesoleva seminaritöö raames ei analüüsita.

Katses osalejale anti enne katset instruktsioon vaadata filmi (kõik katseisikud vaatasid sama subtiitritega filmi) ning eirata kõrvaklappidesse tulevaid helistiimuleid. Samuti paluti katseisikul istuda rahulikult, mitte liigutada ja hoiduda üleliigsetest silmaliigutustest ja -pilgutustest.

2.4. EEG salvestamine

EEG salvestamine toimus täisvarjestusega ja hämaralt valgustatud ruumis. Kasutati BioSemi Active Two süsteemi (BioSemi, Amsterdam, Holland). Aju bioelektrilise aktiivsuse salvestamiseks pandi pähe 32 elektrodiga EEG elektroomüts, lisaks 4 silmaliigutusi ja -pilgutusi mõõtvat üksikelektroodi ja 2 referentselektroodi mis olid kinnitatud kõrvalestade külge. Võimalikult hea EEG kontakti saamiseks pandi mütsil olevatele elektrodidele allergiat mitteteketavat geeli (SignaGel).

EEG andmed salvestati salvestusprogrammis (BioSemi, Amsterdam, Holland), mille salvestussagedus oli 1024 Hz ning salvestuse ajal olid filtrid 0.16-100 Hz.

2.5. Andmetöötlus

EEG andmete töötlus ja puhastamine toimus programmis BrainVision Analyzer 1.05 (Brain Products GmbH, München, Saksamaa). EEG analüüsi ajal rakendati filtrid 0.1-30 Hz (24db/Oct) ja elektrimüra vähendamiseks lisaks 50 Hz filtrit. Samuti lahutati maha silmaliigutustest ja -pilgutustest tulenev aktiivsus lähtuvalt Gratton ja Colesi algoritmist (Gratton & Coles, 1983). Sündmusega seotud potentsiaalide arvutamiseks valiti stiimuli ilmumise alguse suhtes 700 ms pikkused lõigud ehk segmendid (100 ms enne ja 600 ms pärast stiimuli esitamist). Baastaseme korrektsiooni käigus võrdustati -99.61 ms kuni 0 ms lõik nulltasemega. Analüüsimise jaoks oli suurim lubatud maksimaalse ja minimaalse väärtuse erinev tase 100 μV , amplituudi võnkumine oli lubatud vahemikus -100 μV kuni 100 μV , madalaim lubatud aktiivsus 100 ms jooksul 0.50 μV ja gradiendi kriteerium oli 50 μV .

Kuna standardstiimuleid oli hälbivatest stiimulitest rohkem, siis leiti deviantidele sarnane arv standardstiimuleid – viimaste arvu redutseeriti juhusliku valiku alusel ning analüüsiti vahemikus 117 - 153 segmenti (arvestati 32% kuni 70% segmentidest, nende hulgas polnud lubatud halbu intervalle). Iga katseisiku iga seeria kõikide stiimulite kohta arvutati välja valitud segmentide keskmine ning leiti kõikides seeriates kolm MMN komponenti (iga deviant võrreldes standardiga). Seejärel arvutati keskmistatud ERP kõverad (*Grand Average*) eraldi iga seeria standardite ja deviantide kohta nii eestlastel kui soomlastel ning keskmistatud kõverate põhjal leiti MMN.

Statistilise analüüsi tegemiseks eksporditi kõikide MMN kõverate keskmised aktiivsused mikrovoltides ajavahemikes 80-120 ms, 120-160 ms, 160-200 ms, 200-240 ms, 240-280 ms, 280-320 ms ja 320-360 ms Microsoft Excel 2000 formaati ning edasi analüüsiti andmeid programmis Statistica (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, Ameerika Ühendriigid).

3. Tulemused

Analüüsis vaatlen MMN kõvera keskmisi amplituude igas ajavahemikus ning kõverate erinevust nullist. Statistiline olulisuse alus on $p < 0.05$. Varasemates kuulmisega seotud MMN uuringutes on selgunud, et oimusagaras esinevad kuulmisega seotud lahknevusnegatiivsused, samuti ka otsmikusagaras (Rinne jt.

1999). Tuginedes varasematele tulemustele keskendutakse käesolevas töös otsmikusagara (AF3, F3, FC1, FC2, AF2 ja F4) ja oimusagara elektroodidele (FC5, T7, C3, C4, T8 ja FC6). Kõige olulisemad MMNid ilmnescid vahemikus 200-240 ms, 280-320 ms, 320-360 ms, kõik statistiliselt olulised tulemused on kirjas tabelites 3-10.

Seerias 1, kus standardstiimul oli 2. vâlde, olid soomlastel kõikide deviantstiimulite põhjal arvatud MMN kõverad nullist oluliselt erinevad: stiimul 2, stiimul 3 ja stiimul 4 (Tabel 3). Eestlastel ilmnesc oluline MMN stiimulis 4 (Tabel 4), milles saab järeldada, et eestlased kasutasid põhitooni languse ja pikkuse vihjet.

Seerias 2, kus on standard pika põhitooniga stiimul, olid soomlastel MMN kõverad olulised: stiimulis 1, stiimulis 3 ja stiimulis 4, kõik stiimulid erinesid standardist, kas põhitooni pikkuse või languse tõttu (Tabel 5). Eestlastel ilmnesc MMN stiimulis 1 ja stiimulis 3, mis on sarnane soomlastele kuna eristamisel on oluline tonaalsus ja helikõrguse vahetus (Tabel 6). Eestlaste ja soomlaste tulemuste võrdluses selgus, et kahe grupi vahel eristub MMN seerias 2, lühikese põhitooniga stiimulites 1 ja 3 (Tabel 10).

Käesolevas uurimuses ei olnud soomlastel 3. seerias mitte ühegi deviandi põhjal arvatud MMN kogukõverad olulised. Eestlastel seevastu ilmnesc MMN nii stiimulis 1, mis on lühikese põhitooniga kui ka 3 (Tabel 7), mida iseloomustab lühike tonaalsus ja põhitooni muutus. Kuna standardstiimul on pika põhitooniga, siis eestlased eristavad antud seerias kolmandat vâlde põhitooni pikkuse järgi ja soomlastel ei olnud erinevusi kui esitati pika silbi ja põhitooni muutusega standardite vahele erinevaid hälbivaid stiimuleid.

Seeria 4 on standardstiimul käitumusliku uurimuse põhjal hästi ära tuntav eestlastele (85%) ja mitte nii hästi eristatav soomlastele (65%), mõlemad pidasid stiimulit 3 teiseks vâlteks (Lippus jt., 2009). Käesolevas töös ilmnesc, et seerias 4 olid soomlastel olulised MMN kõverad stiimulite 1 ja 2 korral (Tabel 8). Soomlased eristasid antud seerias stiimuleid nii pikkuse ja helikõrguse muutuse järgi. Eestlased ilmnesc samas seerias MMN stiimulis 1 ja 3 (Tabel 9), oluline vihje antud seerias oli põhitooni muutus ning see on kooskõlas varasema tööga kuna eestlased eristasid seerias 4 kolmandat vâlde teisest helitooni kõrguse muutuse järgi.

Tulemuste analüüsis selgus, et eestlastel ilmnesc MMN muutus stiimulis 4 seerias 1, kus standard on lühikese põhitooniga stiimul 1, ning seerias 3 stiimulis 1, kus

standardstiimul on lühikese põhitooni ja helikõrguse langusega stiimul 4. Kinnitust leiab taaskord, et eestlased kasutavad väldete eristamiseks helitooni langust kuna mõlemad stiimulid erinesid mõlemas seerias teineteisest helikõrguse tõttu. Soomlaste lahknevusnegatiivsuse võrdlusel selgus, et seerias 1 ilmnes MMN stiimulis 2 ja seerias 2 stiimulis 1, standard ja deviant erinesid teineteisest põhitooni pikkuse järgi. Seeriates 1 ja 4, stiimulite 1 ja 3 vahel esinesid kord seerias deviandi ja stiimulina ning erinesid üksteisest põhitooni muutuse järgi.

Andmete analüüsis ilmnes soomlastel oluline erinevus seerias 1 parempoolsetes elektroodides (Tabel 4), samas seerias esines eestlastel statistiliselt olulisi muutusi vasakpoolsetes elektroodides. Varasemalt on leitud, deviantstiimuli esitamisel toimub häälikute analüüsimine vasakus ajupoolkeras ja sellest on tehtud järeldus, et vasakus auditoorses ajupoolkeras asuvad püsivad keelespetsiifilised mälujäljed (Näätänen, 2001). Selgus, et seerias 1 kasutasid eestlased põhitooni languse muutust, mis näitab keelespetsiifilise mälujälje olemasolu teise ja kolmanda välte eristamisel.

Tabel 3. Soomlaste MMN komponent seerias 1.

Seeria 1	Soomlased (N=5)											
	Vahemik(ms)	Deviant	Elektrood	Vasak				Parem				
				M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
		Stiimul										
	200-240	3	T7	-0.05	0.81	-0.13	0.904	T8	-0.89	0.64	-3.11	0.036
		Stiimul										
	240-280	2	FC1	-0.55	0.54	-2.30	0.083	FC2	-0.92	0.38	-5.44	0.006
		Stiimul										
		3	FC5	-0.13	1.06	-0.26	0.804	FC6	-1.51	1.14	-2.96	0.041
			F3	-0.67	1.46	-1.02	0.364	F4	-2.37	1.60	-3.32	0.029
		Stiimul										
	280-320	2	FC1	-0.77	0.79	-2.20	0.092	FC2	-0.77	0.28	-6.06	0.004
		Stiimul										
	320-360	2	FC1	-1.23	0.70	-3.95	0.017	FC2	-1.77	0.76	-5.22	0.006
			C3	-0.09	0.79	-0.25	0.815	C4	-1.80	0.88	-4.56	0.010
			F3	-0.56	1.05	-1.20	0.297	F4	-1.84	1.08	-3.81	0.019
		Stiimul										
		3	C3	0.46	1.57	0.66	0.548	C4	-1.45	0.62	-5.23	0.006
		Stiimul										
		4	C3	-0.57	0.95	-1.34	0.252	C4	-1.61	1.18	-3.05	0.038

Märkused: M – keskmine amplituud (μ V), SD – standardhälve.

Tabel 4. Eestlaste MMN komponent seerias 1.

		Eestlased (N=5)										
		Vasak						Parem				
Seeria 1	Vahemik(ms)	Deviant	Elektrood	M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
		Stiimul										
	160-200	4	AF3	-0.91	0.73	-2.78	0.050	AF4	-0.50	0.59	-1.90	0.131
			FC1	-0.32	0.09	-8.39	0.001	FC2	-0.18	0.62	-0.64	0.558
		Stiimul										
	280-320	4	F3	-0.67	0.52	-2.89	0.044	F4	-0.31	0.57	-1.23	0.285
		Stiimul										
	320-360	4	F3	-1.23	0.43	-6.43	0.003	F4	-1.05	0.85	-2.77	0.051
			FC1	-1.19	0.93	-2.85	0.046	FC2	-0.80	1.01	-1.77	0.152

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 5. Soomlaste MMN komponents seerias 2.

		Soomlased (N=5)										
		Vasak						Parem				
Seeria 2	Vahemik(ms)	Deviant	Elektrood	M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
		Stiimul										
	120-160	1	C3	-0.51	0.78	-1.48	0.214	C4	-1.21	0.83	-3.26	0.031
			FC5	-0.62	0.96	-1.43	0.226	FC6	-1.10	0.69	-3.54	0.024
			FC1	-0.85	0.72	-2.63	0.058	FC2	-1.23	0.97	-2.85	0.046
			F3	-0.80	0.69	-2.60	0.060	F4	-1.03	0.72	-3.21	0.032
			AF3	-0.55	0.96	-1.28	0.268	AF4	-1.23	0.64	-4.32	0.012
		Stiimul										
		3	FC1	-0.62	0.46	-2.98	0.041	FC2	-0.87	0.95	-2.05	0.109
			C3	-0.57	0.20	-6.34	0.003	C4	-0.78	1.43	-1.23	0.286
		Stiimul										
	160-200	1	F3	-1.22	0.54	-5.02	0.007	F4	-1.12	0.77	-3.25	0.031
			FC1	-1.19	0.83	-3.20	0.033	FC2	-1.21	1.05	-2.58	0.061

		FC5	-0.96	0.36	-5.98	0.004	FC6	-0.93	0.43	-4.86	0.008
		AF3	-1.01	0.86	-2.64	0.057	AF4	-1.40	0.48	-6.49	0.003
	Stiimul										
	3	F3	-1.27	1.01	-2.83	0.047	F4	-1.31	1.28	-2.30	0.083
		FC1	-1.34	0.94	-3.19	0.033	FC2	-1.51	1.06	-3.17	0.034
	Stiimul										
200-240	1	FC5	-0.58	0.55	-2.38	0.076	FC6	-1.07	0.41	-5.87	0.004
		FC1	-0.81	1.03	-1.77	0.151	FC2	-1.16	0.91	-2.84	0.047
		F3	-0.95	0.82	-2.61	0.060	F4	-0.99	0.78	-2.85	0.046
		AF3	-0.96	1.21	-1.78	0.150	AF4	-1.56	0.78	-4.49	0.011
	Stiimul										
	3	FC5	-1.00	0.53	-4.25	0.013	FC6	-1.54	0.44	-7.73	0.002
		FC1	-1.40	0.69	-4.50	0.011	FC2	-1.65	0.91	-4.07	0.015
		F3	-1.58	0.53	-6.60	0.003	F4	-1.46	0.68	-4.83	0.008
		AF3	-1.44	0.97	-3.33	0.029	AF4	-1.43	0.48	-6.63	0.003
	Stiimul										
	4	FC1	-0.69	0.49	-3.20	0.033	FC2	-0.62	0.63	-2.20	0.092
	Stiimul										
240-280	1	FC5	-1.12	0.51	-4.93	0.008	FC6	-1.08	0.58	-4.16	0.014
		F3	-1.41	1.04	-3.02	0.039	F4	-1.08	0.91	-2.65	0.057
		AF3	-1.27	1.64	-1.74	0.158	AF4	-1.62	0.99	-3.65	0.022
	Stiimul										
	3	C3	-0.67	0.67	-2.26	0.087	C4	-1.24	0.93	-2.97	0.041
		FC5	-1.62	1.30	-2.78	0.050	FC6	-2.53	0.97	-5.84	0.004
		FC1	-1.89	0.86	-4.94	0.008	FC2	-2.10	1.31	-3.60	0.023
		F3	-2.25	0.80	-6.33	0.003	F4	-2.44	1.02	-5.36	0.006
		AF3	-1.97	1.30	-3.40	0.027	AF4	-2.31	1.00	-5.20	0.007
	Stiimul										
	4	F3	-1.07	0.69	-3.47	0.026	F4	-0.59	1.25	-1.06	0.351
	Stiimul										
280-320	1	C3	-0.89	0.42	-4.70	0.009	C4	-0.14	1.17	-0.26	0.808
		FC5	-0.97	0.78	-2.77	0.051	FC6	-1.40	0.75	-4.16	0.014
		FC1	-1.35	0.63	-4.80	0.009	FC2	-1.11	0.64	-3.85	0.018
		F3	-1.60	0.55	-6.50	0.003	F4	-1.70	1.17	-3.25	0.031

320-360	Stiimul 3	AF3	-1.56	0.96	-3.64	0.022	AF4	-1.96	0.74	-5.91	0.004
		FC5	-0.89	1.40	-1.42	0.229	FC6	-1.75	0.92	-4.27	0.013
		F3	-2.12	1.72	-2.75	0.051	F4	-2.51	1.89	-2.97	0.041
	Stiimul 1	FC5	-1.12	0.59	-4.22	0.013	FC6	-2.29	1.11	-4.59	0.010
		FC1	-1.84	1.34	-3.07	0.037	FC2	-1.74	0.89	-4.35	0.012
		F3	-2.19	0.88	-5.54	0.005	F4	-2.68	1.23	-4.86	0.008
	Stiimul 3	AF3	-1.95	1.47	-2.96	0.042	AF4	-2.73	0.96	-6.38	0.003
		T7	0.14	0.67	0.48	0.656	T8	-1.16	0.88	-2.97	0.041

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 6. Eestlaste MMN komponents seerias 2.

		Eestlased (N=5)										
Seeria 2	Vahemik(ms)	Deviant	Vasak				Parem					
			Elektrood	M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
	120-160	Stiimul 3	F3	-0.56	0.42	-3.01	0.039	F4	-0.10	0.60	-0.37	0.730
	200-240	Stiimul 1	FC1	-0.18	0.31	-1.26	0.276	FC2	-0.29	0.20	-3.23	0.032
	240-280	Stiimul 3	AF3	-0.97	0.73	-2.95	0.042	AF4	-1.31	0.68	-4.31	0.013
			F3	-1.47	1.47	-2.23	0.089	F4	-1.45	0.18	18.15	0.000
			FC1	-0.76	0.95	-1.79	0.148	FC2	-0.64	0.38	-3.82	0.019
	280-320	Stiimul 1	FC1	-0.64	0.64	-2.23	0.089	FC2	-0.58	0.30	-4.36	0.012
		Stiimul 3	F3	-1.80	1.24	-3.25	0.031	F4	-1.92	0.84	-5.13	0.007

		3									
		FC1	-1.49	0.85	-3.91	0.017	FC2	-1.60	0.91	-3.94	0.017
		AF3	-0.95	0.82	-2.59	0.061	AF4	-1.27	0.57	-4.99	0.008
	Stiimul										
320-360	1	FC1	-1.15	0.77	-3.36	0.028	FC2	-0.90	0.92	-2.17	0.095
		FC5	-0.52	1.40	-0.84	0.450	FC6	-1.46	0.66	-4.93	0.008
		F3	-1.41	1.16	-2.70	0.054	F4	-1.59	0.93	-3.80	0.019

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 7. Eestlaste MMN komponent seerias 3.

		Eestlased (N=5)										
		Vasak						Parem				
Seeria 3	Vahemik(ms)	Deviant	Elektrood	M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
		Stiimul										
	240-280	1	AF3	-1.09	1.11	-2.20	0.092	AF4	-1.40	0.96	-3.27	0.031
			T7	-0.63	0.44	-3.21	0.033	T8	0.00	1.19	0.01	0.994
		Stiimul										
		3	AF3	-1.32	0.80	-3.71	0.021	AF4	-1.75	0.85	-4.62	0.010
			F3	-0.64	0.42	-3.43	0.027	F4	-1.17	0.78	-3.38	0.028
			FC1	-0.33	0.21	-3.43	0.026	FC2	-0.73	0.35	-4.63	0.010
			FC5	-0.27	0.37	-1.63	0.179	FC6	-1.03	0.58	-3.93	0.017
			T7	-0.36	0.51	-1.56	0.194	T8	-1.32	0.78	-3.76	0.020
			C3	0.17	0.68	0.57	0.602	C4	-0.75	0.36	-4.65	0.010
	280-320		AF3	-1.58	0.98	-3.62	0.022	AF4	-1.83	0.95	-4.31	0.013

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 8. Soomlaste MMN komponent seerias 4.

Soomlased (N=5)												
Seeria 4	Vahemik(ms)	Deviant Stiimul	Elektrood	Vasak				Parem				
				M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
	240-280	2	C3	-0.53	0.42	-2.82	0.048	C4	0.47	1.89	0.56	0.603
	280-320	2	AF3	-1.16	0.59	-4.36	0.012	AF4	-1.46	0.82	-3.98	0.016
F3			-0.97	0.59	-3.68	0.021	F4	-1.05	1.35	-1.74	0.157	
FC5			-0.96	0.42	-5.04	0.007	FC6	-0.82	1.10	-1.67	0.170	
	320-360	1	FC1	-0.95	0.43	-4.90	0.008	FC2	-1.01	0.76	-2.96	0.041

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 9. Eestlaste MMN komponent seerias 4.

Eestlased (N=5)												
Seeria 4	Vahemik(ms)	Deviant Stiimul	Elektrood	Vasak				Parem				
				M	SD	t	p	Elektrood	M	SD	t	p
	160-200	1	T7	-0.18	0.46	-0.86	0.439	T8	-0.79	0.39	-4.51	0.011
FC5			0.22	0.71	0.70	0.524	FC6	-0.73	0.30	-5.49	0.005	
	200-240	1	C3	-0.61	0.34	-4.03	0.016	C4	-0.59	1.76	-0.75	0.493

Märkused: M – keskmine amplituud (μV), SD – standardhälve.

Tabel 10. Soomlaste ja eestlaste keskmiste amplituudide erinevused ning t-testi tulemused seerias 2.

Eestlased ja soomlased (N=10)											
Stiimul	Vahemik(ms)	Elektrood	Vasak				Parem				
			M1	M2	t	p	Elektrood	M1	M2	t	p
Stiimul 1	120-160	F3	-0.80	-0.20	-1.62	0.14	F4	-1.03	-0.05	-2.41	0.04
		AF3	-0.55	0.21	-1.18	0.27	AF4	-1.23	0.36	-4.60	0.00
	160-200	Mean		Mean	t-value	p	Mean		Mean	t-value	p
		F3	-1.22	-0.24	-2.84	0.02	F4	-1.12	0.12	-2.73	0.03
		AF3	-1.01	0.48	-2.10	0.07	AF4	-1.40	0.76	-4.87	0.00
	200-240	AF3	-0.96	0.23	-1.47	0.18	AF4	-1.56	0.08	-3.01	0.02
	240-280	FC1	-1.22	-0.09	-2.24	0.06	FC2	-1.13	0.04	-2.41	0.04
		AF3	-1.27	0.48	-1.70	0.13	AF4	-1.62	0.38	-3.00	0.02
	280-320	C4	-0.14	-0.50	0.51	0.62	C3	-0.89	0.12	-3.91	0.00
	Stiimul 3	160-200	FC1	-1.34	-0.32	-2.35	0.05	FC2	-1.51	-0.35	-2.13
C3			-0.62	0.12	-2.39	0.04	C4	-0.47	-0.37	-0.17	0.87
200-240		AF3	-1.44	-0.02	-2.41	0.04	AF4	-1.43	-0.16	-3.18	0.01
		F3	-1.58	-0.13	-2.55	0.03	F4	-1.46	0.02	-3.12	0.01
		FC1	-1.40	0.11	-2.90	0.02	FC2	-1.65	0.01	-3.51	0.01
		FC5	-1.00	0.05	-2.17	0.06	FC6	-1.54	-0.24	-2.81	0.02
240-280		FC1	-1.89	-0.76	-1.98	0.08	FC2	-2.10	-0.64	-2.40	0.04
320-360		FC5	-0.57	0.16	-1.27	0.24	FC6	-1.27	0.68	-2.70	0.03

Märkused: M1– keskmine amplituud soomlastel (μV), M2 – keskmine amplituud eestlastel (μV).

4. Arutelu

Käesolev töö näitas soomlaste ja eestlaste erinevust pikkade ja ülipikkade vältete tundmisel ja mittetundmisel. Varasemalt on leitud, et eestlased eristavad välteid helikõrguse muutuse ja põhitooni pikkuse järgi ning soomlaste jaoks on teise ja kolmanda välte eristamisel oluline põhitooni pikkus (Lippus jt. 2009)

Tulemustest selgus, et eestlased eristavad stiimuleid nii põhitooni pikkuse kui ka helikõrguse muutuse järgi. Seda näitas stiimulite ja standardite võrdlus seeriates, millest selgus, et eestlastel esines MMN seeriates 1, 2 ja 3, kus oli oluline stiimulite eristamise vihje seotud tonaalsuse muutusega. Seda tõestab ka veel MMN ilmumine erinevates seeriates ja stiimulites kord deviandi ja standardina. Seega peab hüpotees 1 paika ja tulemused vastavad Lippuse ja kolleegide (2009) varasemale uuringule.

Selgus, et eestlased eristavad stiimuleid nii põhitooni pikkuse kui ka helikõrguse muutuse järgi. Seda näitas stiimulite ja standardite võrdlus seeriates, millest selgus, et eestlastel esines MMN seeriates 1, 2 ja 3, kus oli oluline stiimulite eristamise vihje seotud tonaalsuse muutusega. Näiteks seerias 2, kus standard on pika põhitooniga, ilmnes eestlastel MMN deviandis 3, mis on pika põhitooniga ja helikõrguse muutusega ning see näitab, et eestlaste jaoks on oluline helikõrguse muutuse vihje. Seega peab hüpotees 1 paika ja tulemused vastavad Lippuse ja kolleegide (2009) varasemale uuringule.

Soomlased peaksid töötleva eesti keele välteid lähtuvalt Soome keelespetsiifilisele taustale ning töötleva neid eestlastest erinevalt. Soomlastel ilmnes MMN seerias 1, 2 ja 3 kõikide deviantide korral, mis justkui näitab, et soomlased eristava stiimuleid kasutades põhitooni languse ja pikkuse vihjet. Antud tulemust võis mõjutada soomlaste eelnev kokkupuude eesti keelega kuna kõik soomlased oli olnud Eestis 1-2 kuud ning eelnevalt on leitud, et keelespetsiifiline mälujälj võib tekkida väga kiiresti ja väga lühikesel kokkupuutel teise keelega (Winkler jt. 1999).

Selgelt eristasid soomlased välteid põhitooni pikkuse järgi. See tulemus selgus olukordade võrdluses, kus ühes seerias 1 oli stiimul 1 standard ja ilmnes muutus stiimulis 2 ning teisel juhul oli stiimul 2 standard ja esines muutus deviant stiimulis 1, mõlemad eristuvad teineteisest põhitooni pikkuse tõttu. Sama oli ka stiimuli 1 ja stiimuli 3 korral. Nende tulemuste põhjal saab öelda, et soomlased eristavad pikka ja ülipikka vältet põhitooni pikkuse järgi. Sellest tulenevalt peab hüpotees 2 paika kuna

soomlased eristavad välteid sõna pikkuse järgi, mis on kooskõlas varasemalt tehtud Lippuse ja kolleegide (2009) käitumusliku uuringuga.

Eestlastel ilmnes seerias 1 MMN vasakpoolsetes elektroodides ja soomlastel parempoolsetes elektroodides, viidates keelespetsiifilise töötluse lateralisatsioonile. Seerias 1 selgus, et eestlased kasutavad helikõrguse vihjet väldete tajumisel ning eelnevatele MMNi ja lateraalsuse uuringutele tuginedes (Näätänen, 2001) saab öelda, et eestlastel on keelespetsiifiline mälujalg vasakus ajupoolkeras, mille järgi eristavad nad pikka väldet ülipikast.

Kasutatud kirjandus:

Boersma, P., Weenink, D. (2007). Praat: Doing phonetics by computer, Version 4.6.02 [Arvutiprogramm] <http://www.praat.org/>

Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Champaign, IL, US: Human Kinetics*

Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Ahlo., K., Näätänen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience, 1*,351-353.

Ehala, M. (1999). Eesti völdete probleemi üks lahendus. *Keel ja Kirjandus*, p.378-385.

Erelt, T., Leemets, T., Mäearu, S., Raadik, M. (2006). Eesti Öigekeelsussönararaamat ÖS 2006. *Eesti Keele Sihtasutus*.

Friederici, D., A. (2006). The Neural Basis of Language Review Development and Its Impairment. *Neuron, 52*, 695-707

Lehiste, I. (1965). The Function of Quantity in Finnish and Estonian Language. *Linguistic Society of America*,. 41, 447-456

Lippus, P., Allik, J., Pajusalu, K. (2009). The tonal component of Estonian quantity in native and non-native perception. *Journal of Phonetics, 37*.

Luck, Steven J. (2005). An Introduction to the Event-Related Potential Technique. *The MIT Press*.

Näätänen, R. (2000). Mismatch negativity (MMN): perspectives for application. *International Journal of Psychophysiology 27*, 3-10.

Näätänen, R., Gaillard, A.W.K, Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect reinterpreted. *Acta. Psychol, 42*, 313-329.

Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennesse, M., Cheouri, M., Huotilainen, M., Iivlonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R.J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen J., Alho, K.

(1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Letters of Nature*, 385, 432-434.

Näätänen R., Paavilainen P., Rinne, T., Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544-2590.

Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., Takegata, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): Towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 115, 140-144.

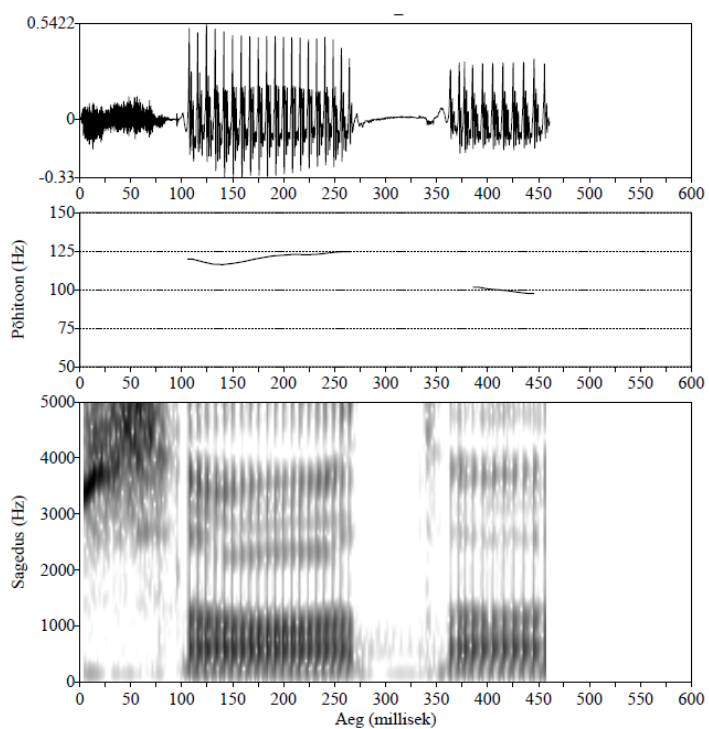
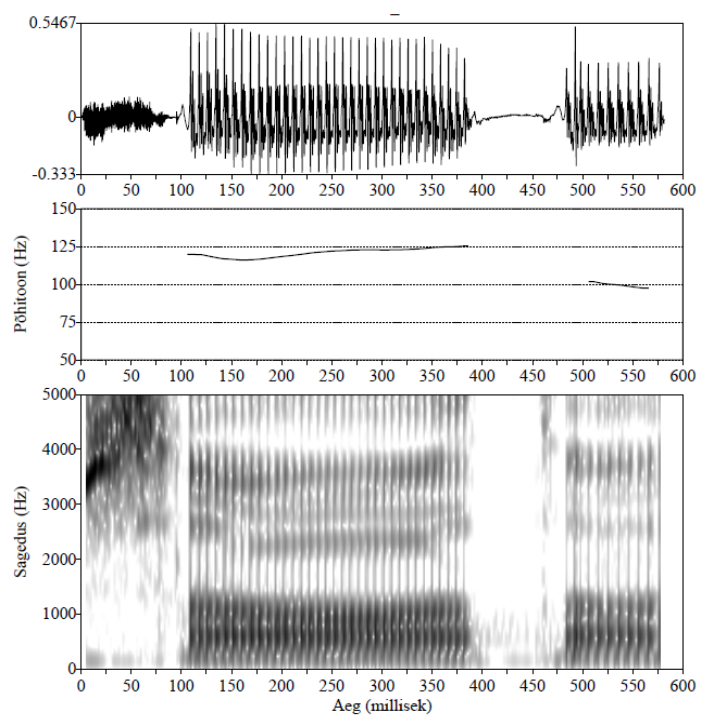
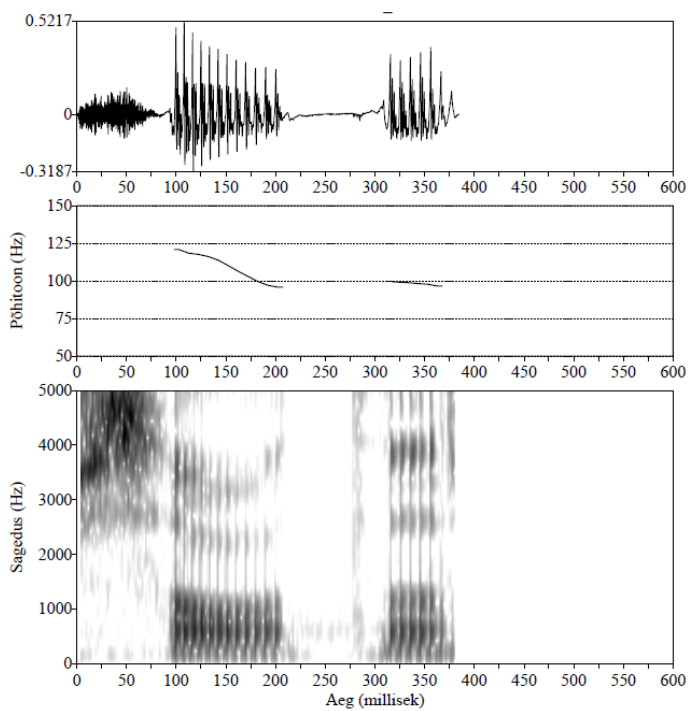
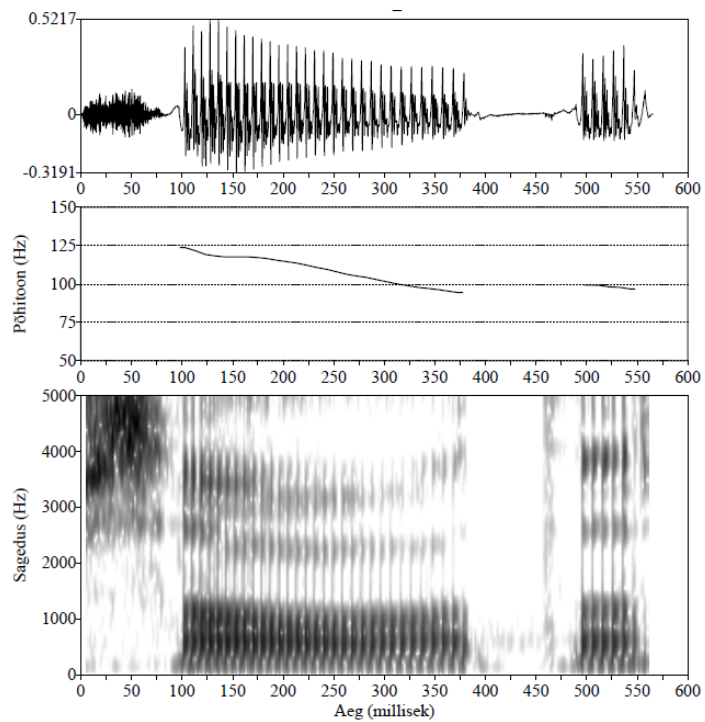
Näätänen, R., (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38.

Peltola, M.S., Kujala, T., Tuomainen, J., Ek, M., Aaltonen, O., Näätänen, R. (2003). Native and foreign vowel discrimination as indexed by the mismatch negativity (MMN) response. *Neuroscience Letters*, 325, 25-28.

Winkler, I., Kujala, T., Tiitinen, H., Sivonen, P., Alku, P., Lehtokoski, A., Czigler, I., Csepe, V., Ilmoniemi, R.J., Näätänen, R. (1999). Brain responses reveal the learning of foreign language phonemes. *Cambridge University Press*, 36, 638-642.

Suomi, K., Toivanen, J., Ylitalo, R. (2008). Finnish Sound Structure. Phonetics, phonology, phonotactics and prosody. *Oulu University Press*, 9.

Lisa 1. Uurimuses kasutatud stiimulid (Lippus jt., 2009)

Stiimul 1**Stiimul 2****Stiimul 3****Stiimul 4**

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

Käthe-Riin Tull