

Tartu Ülikool  
Psühholoogia instituut

Maris Raudlam

EESTLASTE JA SOOMLASTE ERINEVUSED EESTI KEELELE OMASTE SÕNADE  
SEMANTILISES TÖÖTLUSES

Uurimistöo

Juhendajad: Kairi Kreegipuu (PhD), Nele Põldver (MSc)

Läbiv pealkiri: sõnade semantiline töötlus

Tartu 2016

## Eestlaste ja soomlaste erinevused eesti keelele omaste sõnade semantilises töötluses

### Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks on lahknevusnegatiivsuse ja sagedusanalüüsi meetodiga uurida semantilise töötluse erinevusi eestlaste ja soomlaste vahel. Töös uurin lisaks ka töötluse ajupoolkerade vahelisi erinevusi. Varasemalt on leitud, et sõnade semantilist töötlust mõjutavad emakeelele omased mälujäljed. Kui aga esitada sõnu inimesele, kelle keelesüsteemi need ei kuulu, ei suuda ta neid ka sama efektiivselt eristada. Kuna stiimulitena kasutati eesti keelele omaseid 2. ja 3. vältel olevaid sõnu, saab eeldada, et eestlased ja soomlased töötlevad antud töös kasutatavaid stiimuleid erinevalt. Tulemused tõstavad esile vasaku ajupoolkera olulisuse semantilise informatsiooni töötlusel. Eestlaste ja soomlaste võrdlusel on näha, et eestlased kasutasid sõnade töötlusel rohkem semantilist informatsiooni kui soomlased.

Märksõnad: Mälujalg; Lahknevusnegatiivsus (MMN); Semantiline töötlus; Sagedusanalüüs

Differences between Estonian and Finnish subjects in semantic processing of words from  
estonian language system

Abstract

The purpose of this study is to research the differences in semantic processing between native Estonian and Finnish speaking people by using mismatch negativity and frequency analysis. In this research I also analyze the differences between cerebral hemispheres. Previous researches have found that semantic processing of words is influenced by memory traces of one's native language. However, if we present words that doesn't belong in one's phonological system he is not able to effectively distinguish them. Stimulus were long and overlong quantity degrees from estonian language system. It could be assumed that Estonians and Finnish speaking subjects process these words differently. The results emphasize the importance of left hemisphere in processing semantic information. By comparing Estonian and Finnish subjects it was shown that Estonians used more semantic information while processing words than Finnish.

Keywords: Memory trace; Mismatch Negativity (MMN); Semantic processing; Frequency analysis

## 1. Sissejuhatus

Käesolev töö uurib soomlaste ja eestlaste võrdlusel semantilist keeletöötlust. Meetodina kasutatakse nii lahknevusnegatiivsust kui ka sagedusanalüüsi.

### *MMN keeletöötuses*

Lahknevusnegatiivsuse ehk MMN-i uurimiseks kasutatakse ajukuvamismeetodit elektroentsefalograafia ehk EEG. EEG kui ajukuvamismeetodiga keskendutakse teatud stiimuli töötlemisest saadud aju elektrilisele aktiivsusele ja selle põhjal arvutatud komponentide eristamisele. Elektroodidega salvestatakse peenahalt elektriliste pingete muutused ja nende aegrida. Neid muutusi salvestatakse korduvalt ning nende mõõtmiste keskmistamisel on tulemuseks EEG signaallõik, mida nimetatakse sündmusega seotud potentsiaaliks ehk ERP-ks (*event related potentials*) (Uusberg, avaldamata EEG juhendmaterjal). MMN on negatiivne ERP komponent, mis on seotud automaatse tähelepanu ümberlülitamisega (Näätänen, 2000). MMN-i vastus tekib tavaliselt 160-220 ms jooksul (Luck, 2005). Täpsemalt on MMN aju elektriline vastus igasugusele korduvast standardist eristuvale deviantsele stiimulile. Standard on harjumuspärane korduv stiimul, millele teatud ajavahemike järel esitatakse deviantne ehk hälbiv stiimul, mis kutsub esile negatiivse vastuse (Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007).

MMN-i teeb eriliseks asjaolu, et selle tekkimiseks ei pea stiimulitele tähelepanu pöörama, vaid vastus saab tekkida automaatselt (Näätänen, 2001; Näätänen, et al., 2007). Sellisel juhul toimub tahtmatu tähelepanu suunamine (*involuntary attention switch*) MMN-i frontaalsetes alades, mis on põhjustatud auditoorse või visuaalse stiimuli muutusest (Näätänen, et al., 2007). Auditoorsete või visuaalsete stiimulite esitamise ülesanded, kus palutakse tähelepanu hoida standardil ja tähelepanu mitte pöörata hälbivatele stiimulitele, kutsuvad esile tahtmatu tähelepanu suunamise just hälbivatele stiimulitele. Tulemustes kajastub see positiivse ERP komponendina, mis järgneb MMN vastusele (Escera, Leung & Grimm, 2014). Reeglina mõõdetakse MMN-i olukorras, kui tähelepanu on samaaegselt suunatud mõnele teisele objektile. Vastasel korral võivad tähelepanuga seotud komponendid MMN-st üle olla (Näätänen, et al., 2007). Pulvermüller ja Shtyrov (2003) on uurinud MMN-i vastuse tekkimist

grammatiliselt õigete ja grammatiliselt valede stiimulite kasutamisel. Katse ajal oli katseisikute tähelepanu suunatud ilma helita filmile, mitte stiimulitele. Vaatamata sellele eristas aju grammatiliselt õigeid ja valesid stiimuleid, mida näitas MMN-i latentsiaja erinevus - õige stiimul 101 ms ja vale stiimul 146 ms juures. Lisaks sellele tekitas grammatiliselt vale stiimul ka hilisema MMN-i vastuse 348 ms juures.

MMN-i on kasutatud palju auditoorse töötluse uurimiseks (Näätänen, 2000). Auditoorse süsteemi puhul tekib iga heli jaoks mälus jälg, mille rikkumine uue siseneva heli poolt kutsub esile MMN-i (Kujala, Tervaniemi & Schröger, 2007). MMN-i saab esile kutsuda väga erinevate akustiliste muutustega (muutused näiteks sageduses, intensiivsuses, mustrites, kestuses), kas kõneliste või mittekõneliste helistiimulitega, kui muutus on tajutav.

MMN sõltub oluliselt mälujälgjst, mille on tekitanud eelnenud stiimulid (Näätänen, 2000; Näätänen, et al., 2007). MMN-i saab seega kasutada püsivate auditoorsete mälujälggede uurimiseks. Näiteks on MMN-i abil võimalik uurida mälujälggi, mis esindavad emakeeles olevaid häälikuid. Samuti kasutatakse seda väga erinevates kuulmistajuga seotud, sealhulgas keelespetsiifilistes uurimustes. MMN-i on kasutatud pidevate auditoorsete mälujälggede uurimiseks keeletöötuse kontekstis. Näiteks Näätänen ja kolleegid (1997) võrdlesid eestlaste ja soomlaste keelespetsiifilist töötust, kasutades erinevaid keelestiimuleid (häälikuid „e”, „o”, „õ”, „ö”) ja MMN meetodit. Tulemuseks leiti, et eesti keeles esinev vokaal „õ” kutsus eestlastel esile oluliselt suurema MMN-i amplituudi muutuse võrreldes soomlastega, kelle keelesüsteemis seda vokaali ei esine (Näätänen, et al., 1997).

Samuti on võimalik selle meetodiga uurida keelespetsiifiliste mälujälggede arengut uue võõrkeele õppimise tulemusena. Mälujälgjed käituvad tundmatute keeleliste häälikute ja nende kombinatsioonide korrektse tajumise äratundmismustritena (Näätänen, 2000). Varasemalt on leitud, et kindlamad pikaajalised mälujälgjed häälikutest tekitavad suuremat MMN-i vastust kui nõrgemad (Kujala, et al., 2007; Pulvermüller & Shtyrov, 2006). Lisaks sellele kutsuvad sõnad esile kõrgema MMN-i vastuse kui tähenduseta pseudosõnad (Pulvermüller & Shtyrov, 2006).

Kaks peamist ja enimkasutatavat MMN-i paradigmat on *oddball* ja *optimum* esitus. *Oddball* esituse puhul vahelduvad korduvad standardstiimulid aegajalt sama tüüpi hälbivatega, mis erinevad standardsetest mõne akustilise omaduse poolest (standardstiimulit esitatakse näiteks 85% ning hälbivat stiimulit 15% juhtudest) (Ylinen, Shestakova, Huotilainen, Alku & Näätänen, 2006). *Optimum* ehk optimaalse esituse puhul kasutatakse ühe standardstiimuli kõrval mitut erinevat hälbivat stiimulit. *Optimum* paradigmat on hea kasutada, sest see võimaldab kiiremini mõõta reaktsioone erinevatele stiimulitele, mis tähendab rohkem informatsiooni lühema ajaga. Lisaks on leitud, et kahe paradigma tulemused on samaväärsed ning mitme erineva deviandi kasutamine neid negatiivselt ei mõjuta (Näätänen, Pakarinen, Rinne & Takegata, 2004).

### *Semantiline töötlus*

MMN võib anda informatsiooni pikaajalises mälus olevate sõnade semantilise töötuse kohta. Kui võrrelda sõnu, mida inimene teab ja sõnu, mis ei kuulu tema fonoloogilisse süsteemi, siis on leitud, et esimene tekitab kõrgema MMN-i vastuse (Pulvermüller & Shytrov, 2006). Seega on olulised keelelist informatsiooni sisaldavad mälujäljed. Keelelise stiimuli töötlemisel tunnevad seda keelt emakeelena kõnelevad isikud selle paremini ära kui seda keelt teise keelena kõnelevad inimesed. Kui aga esitada heliline keelelise stiimuliga sarnane stiimul, siis erinevust keelerühmade vahel ei esine (Nenonen, Shestakova, Huotilainen & Näätänen, 2003).

Marslen-Wilson ja Tyler (1975) leidsid, et semantilise informatsiooni töötlus algab 400-450 ms peale stiimuli esitamist. Samale tulemusele jõudis ka Kiefer (2001), kes uuris semantiliselt sobivaid ja mitesobivaid sõnu. Lisaks toodi välja, et semantiliselt mitesobivate sõnade tulemus 400 ms juures oli kõrgem. Võrreldes kirjutatud ja sõnalisi stiimuleid leiti, et mõlema puhul toimub semantiline töötlus 400 ms juures.

Keelelise informatsiooni töötluses domineerib enamasti vasak ajupoolkera. Uuringus, kus võrreldi hästi ettekujuteldavaid sõnu abstraktsematega leiti, et abstraktsete sõnade töötlus toimub vasakus ajupoolkeras, hästi ettekujuteldavate sõnade töötlus mõlemal poolel. Katses

võrreldi soomekeelseid sõnu “lakki” (eesti keeles “müts”), mis esindas hästi ettekujuteldavat sõna ja “lakko” (eesti keeles “streik”), mis esindas abstraktsemat sõna (Pulvermüller, 1996). Lisaks on leitud, et pikaajalises mälus olev informatsioon emakeelest on samuti peamiselt seotud vasaku ajupoolkera aktivatsiooniga (Näätänen, et al., 1997; Kujala, Alho, Valle, Sivonen, Ilmoniemi, Alku & Näätänen, 2002). Näiteks Kujala ja kolleegid (2002) korraldasid uurimuse, milles võrdlesid keeleliste stiimulite töötlust vasakus ja paremas ajupoolkeras. Stiimulitena kasutati soome keelele omaseid sõnu, mis erinesid ühe täishääliku osas: “pakana” ja “pakina” ning “kotelo” ja “kotilo”. Leiti, et MMN-i tulemus oli iga sõnapaari korral kõrgem vasakus ajupoolkeras.

### *Sagedusanalüüs keeletöötluses*

Inimaju elektriline aktiivsus näitab kindlat rütmilisust, mida saab kirjeldada mitmete parameetrite kaudu: võnkumise sagedus, selle amplituud ja hetkelisus (Sauseng & Klimesch, 2008). Võnkumised annavad konkreetseid viiteid aju erinevatele funktsioonidele ning erinevate aju piirkondade vahelisele koostööle (Basar, Basar-Eroglu, Karakas & Schürmann, 2001). Varasemalt on leitud, et erinevad sagedused (nagu alfa, teeta või gamma) on tugevalt seotud sensorsete ja kognitiivsete funktsioonidega ning need kommunikeerivad läbi suure hulga neuronite (Basar, et al., 2001).

Keele mõistmine on keerukas protsess, mille töötlus hõlmab enda alla mitmeid aju piirkondi. Varasemalt on keelega seotud mälu ja ajupiirkondi uuritud erinevate ajukuvamismeetoditega, kuid vähem on pööratud tähelepanu aju keelevõrgustiku dünaamikale (Bastiaansen & Hogaart, 2006). Üheks selliseks võimaluseks on uurida neuronaalset aktiivsust, selle võnkumise sagedusi (Bastiaansen, van der Linden, ter Keurs, Dijkstra & Hagoort, 2005). Keele mõistmisega seotud aktiivsuse võnkumised on jaotatud nelja sagedusvahemikku: teeta (4-8 Hz), alfa (8-13 Hz), madalam beeta (13-18 Hz) ja gamma (30-80 Hz) (Bastiaansen ja Hogaart, 2006). Alfa ja beeta puhul näitab amplituudi vähenemine aktiivset töötlust. Teeta ja gamma puhul vastupidi (Bastiaansen, et al., 2005).

Bastiaansen ja kolleegid (2005) viisid läbi EEG uurimuse, milles katseisikute ülesandeks oli lugeda lühikest jutukest. Hiljem analüüsiti lugemise ajal mõõdetud sagedusi ja nende

muutumist. Tulemustest selgus, et sõnad põhjustasid teeta lainete aktiivsuse suurenemist ning alfa ja beeta sageduste nõrgenemist.

Varasemalt on leitud, et teeta sagedused peegeldavad uue informatsiooni töötlust ja juba olemasoleva informatsiooni pikaajalisest mälust taastamist (Bastiaansen, et al., 2005, Luck & Kapperman, 2012) ning alfa võnkumised pikaajalisest mälust informatsiooni leidmist (Klimesch, 1999). Mälust taastamise protsessid on seotud teeta sageduste tõusuga. Informatsiooni kokkupanemine aga beeta ja gamma sageduste tõusuga (Bastiaansen & Hagoort, 2006). Alfa sageduste muutusi on aga leitud seoses tähelepanu protsessidega ja keele mõistmise käitumuslike tagajärgedega (Bastiaansen & Hagoort, 2006). Mõned uurimused on taastamise protsessi seostanud ka kõrgemate sagedustega. Näiteks Weiss ja Mueller (2003) leidsid nimisõnade ja tegusõnade töötlust uurides mustreid madalamas beeta sageduses.

### *Keele õppimine ja areng*

Uue keele õppimiseks on enne rääkimist ja arusaamist vaja osata eristada selle keele eripärasid (Cheour, Ceponiene, Lehtokoski, Luuk, Allik, Alho, et al., 2002). Keelelist taju on võimalik mõjutada väga varajases eas. Juba esimese eluaasta jooksul omandavad lapsed oma emakeele korrapärasid (Kuhl, Tsao & Liu, 2003). Samuti on leitud, et lapsed eristavad võõrkeelt loomulikus keelekeskkonnas viibides juba kahe kuu möödudes (Cheour, et al., 2002). Erinevate keelte õppimist saab kasutada ka keeletöötluste uurimiseks. Kuhl ja kolleegid (2003) tegid eksperimendi 9 kuud vanade inglise keelekeskkonnas elavate lastega, kellest üks grupp viibis nelja nädala jooksul 12 korda mandariini keelt emakeelena kõnelejatega koos ning teine grupp kuulis keelt lindilt. Tulemustest selgus, et lastel, kes olid koos päris inimestega, ilmnes keele õppimise efekt, kuid teistel mitte. Seega võib järeldada, et nii varases eas on keele õppimisel oluline sotsiaalne interaktsioon.

Laste keeleõpet on uurinud ka Jost ja kolleegid (2015), kes uurisid inglise keele õppimist saksa keelt kõnelevate laste seas koolitunni situatsioonis. EEG mõõtmisi tehti enne inglise keele õppima asumist ning aasta hiljem. Stiimulitena kasutati emakeelele omaseid ja emakeelele võõraid keelelisi helisid (“ta”/”da”). Leiti, et üks aasta inglise keele õpet on liiga

vähe, et tekitada püsivaid neuraalseid muutusi. Sarnasele tulemusele jõudsid ka Peltola ja kolleegid (2003), kes uurisid ainult soome keelt kõnelevaid, väga hästi inglise keelt oskavaid soomlasi ja inglise keelt kõnelevaid katseisikuid. Stiimulitena kasutati soome keelele omaseid häälikuid “e” ja “i” ning inglise keelele omaseid häälikuid “e”, “i” ja “I”. Tulemustest järeldati, et klassiruumi keskkonnas keelt õppides ei moodustu uue keele jaoks pikaajalisi mälujälgi.

Foneetilise treeningu mõju kõnetajule ning uute mälujälgede tekkimisele täiskasvanueas uurisid Tamminen ja kolleegid (2015). Katseid korraldati soome keelt emakeelena kõnelevate katseisikutega, kes ei olnud õppinud teisi keeli peale gümnaasiumi lõpetamist. Stiimulitena kasutati hõõrdhäälikuid (“feel” /fi:l/ ja “veal” /vi:l/), mis ei kuulu soome keelesüsteemi. MMN-i vastuste amplituudi muutus avaldus juba teisel treeningpäeval ning pärast kolmepäevast treeningut tajusid katseisikud erinevust ehk töötlesid algselt võõraid stiimuleid. Seega esines keeleõppe efekt nii tajulisel kui ka tähelepanueelsel neuraalsel tasandil lühikese kuula-korda treeningu käigus.

Winkler ja kolleegid (1999) tegid uuringu ungari ja soome täiskasvanutega, milles uurisid uute täishäälikute moodustumist võõrkeele õppimise tulemusena. Pooled ungarlased olid omandanud sorava soome keele oskuse, teisel poolel ei olnud mingit soome keele kogemust. Tulemustest järeldus, et võõrkeele õppimine kutsub esile pikaajalisi plastilisi muutusi aju foneetilistes mehhanismides. MMN-i vastus soome keele foneetilisele kontrastile (stiimulitena kasutati soome keelele omaseid “ä” ja “e” häälikuid), mida ungari keeles ei ole, esines nii soome keelt kõnelevatel soomlastel kui ka soome keelt kõnelevatel ungarlastel.

### *Erinevad keelestiimulid*

Keeletöötlusel on väga oluline osa erinevatel keelelistel omadustel nagu hääliku või silbi pikkus, tonaalsus, välted, mis on olenevalt keelest erinevad. Seega kasutatakse keeleliste stiimulite töötlusel keelespetsiifilisi tunnuseid.

Nenonen ja kolleegid (2003) uurisid MMN-i abil, kas emakeeles esinevate vältete olulisus sõnas mõjutab nende eristamise täpsust. Autorid võrdlesid soome keelt emakeelena

kõnelevaid ja soome keelt teise keelena kõnelevaid inimesi (emakeeleks vene keel). Soome keeles esineb vältevaheldus, kuid vene keeles mitte. Stiimulitena kasutasid autorid nii keelelisi kui mittekeelelisi stiimuleid (viimasteks olid harmoonilised helid). Tulemuseks leiti, et soome keelt emakeelena kõnelevate kõrgem MMN-i amplituud keelestiimulite puhul näitab täpsemat vältete erinevuste märkamist võrreldes soome keelt teise keelena kõnelejatega. See tuleneb soome keele eripärast võrreldes vene keelega ja näitab emakeele tähtsust töötlusel. Teine oluline tulemus näitas, et soome keelt teise keelena kõnelevatel katseisikutel ei erinenud MMN-i tulemus olenevalt stiimuli tüübist (keeleline või mittekeeleline stiimul). Soome keelt emakeelena kõnelevatel oli erinevus olemas (Nenonen, et al., 2003).

Chladkova ja kolleegid (2015) kasutasid keelelise taju uurimiseks häälikupikkuseid. Hollandi keelt kõnelevate katseisikute hulgas uuriti pikemat ja lühemat “a”-d. Hääliku pikkuse muutus tekitas suurema MMN-i amplituudi pikemale “a”-le. Järelikult on hääliku pikkus oluline pikema hääliku puhul, kuid ei ole oluline lühema puhul. Keeltes, milles kasutatakse häälikute võrdlemisel pikkust, on abstraktsed representatsioonid: pikk ja lühike. Hollandlased ei kasuta neid representatsioone ühtemoodi. Pikem vokaal on mällu salvestatud kui pikk, aga lühemal ei ole konkreetset tähendust. Ylinen ja kolleegid (2006) testisid häälikute pikkuste olulisust ka soomlaste peal. Kasutati soome keelt emakeelena kõnelevaid, soome keelt teise keelena kõnelevaid (emakeel vene keel) ja soome keelt mitteoskavaid (emakeel vene keel) katseisikuid. Stiimulitena kasutati sõna “tuuku”, mille esimese täishääliku “u” pikkust varieeriti 7 tasemel: esimene kõige lühem oli /tuku/ ja viimane kõige pikem oli /tu:ku/. Leiti, et soome keelt emakeelena kõnelevatel katseisikutel tekkis kõrgema amplituudiga MMN-i vastus võrreldes teise kahe grupiga. Seega kasutavad soome keelt emakeelena kõnelevad inimesed sõnade tuvastamisel häälikute pikkusi.

Vene keelt kõnelevate inimeste keeletöötlemise erinevust eesti keelt kõnelejatega võrreldes on uuritud käitumuslikus katses, millest ilmnas, et venelased ei kasuta kõnes vältestiimulite eristamiseks tonaalsuse muutust. Eesti keeles on 3. välte eristamise puhul tonaalsuse muutus oluline. Samuti on vältete eristamise puhul olulised ka stiimulite kestvus ja helikõrgus. Stiimulitena kasutati eesti keelele omaseid erinevas vältes olevaid sõnu: “sada” (/sata/), “saada” (/sa:ta/), “saada” (/sa::ta/) ning “kada” (/kata/), “kata” (/katta/), “katta” (/kat:ta/)

(Lippus, Allik & Pajusalu, 2009). Lisaks on eestlasi ja soomlasi võrreldes leitud, et eestlased kasutavad väldete äratundmisel tonaalsuse muutust, soomlased aga mitte (Tull, 2013).

Käthe-Riin Tulli (2013) töö eesmärgiks oli ERP meetodiga uurida eestlaste ja soomlaste vahelisi erinevusi vältevahelduse tajumisel. Täpsemalt uuriti pikkade ja ülipikkade väldete äratundmise erinevusi kasutades eesti keelesüsteemile omaseid sõnu. Stiimulid erinesid omavahel põhitooni pikkuse ja helikõrguse osas. Kuigi soomlaste ja eestlaste keelestruktuur on väga sarnane, erinevad nende vältesüsteemid - eesti keeles on see kolmeastmeline ja soome keeles kaheastmeline. Varasemale kirjandusele toetudes uuriti, kuidas sarnaseid keeli rääkivad inimesed välteid töötlevad ning kuidas neid eristavad. Katses osales 10 vabatahtlikku inimest, viis Eesti ja viis Soome rahvusest.

Lahknevusnegatiivsuse tulemusi analüüsid leiti, et eestlased kasutavad väldete eristamiseks põhitooni languse ja pikkuse vihjet, kuna oluline erinevus esines 2. välte ja 3. välte põhitooni langusega stiimulite vahel. Lisaks sellele kasutavad eestlased 3. välte äratundmiseks põhitooni pikkuse vihjet, kuna erinevus oli 2. ja 3. välte lühikese stiimuli vahel. Soomlased kasutavad väldete eristamisel ainult pikkuse vihjet. Neil esines statistiliselt oluline erinevus vaid nende stiimulite vahel, mis erinesid põhitooni pikkuse osas.

Eestlaste ja soomlaste väldete äratundmise erinevusi uurides on leitud, et eestlased kasutavad helikõrgust ja stiimuli kestvust, kuid soomlased ainult kestvust (Lippus, et al., 2009; Tull, 2013). Soome keeles on rõhk sõna esimesel silbil ning eristatakse vaid lühikest ja pikka lüli. Sarnaselt vene keelele ei kasutata ka soome keeles tonaalsuse muutust. Eestlased kasutavad aga kolme välte eristamiseks lisaks ka tonaalsuse muutust (Lippus, et al., 2009).

Käesolevas uurimistöös kasutan Käthe-Riin Tulli (2013) poolt varem kogutud andmeid ning neid analüüsid uurin sõnade semantilist töötlust. Kuna töös, millele toetun, vaadeldi ainult väldete tuvastamise erinevusi, siis antud töös pööran tähelepanu sõnade sisule. Minu töö eesmärgiks on uurida, kuivõrd esinevad aju eristusvastused (lahknevusnegatiivsus või ka -positiivsus) hilisemates intervallides (360-500 ms), mil peaks toimuma stiimulite sisuline töötlus. Uurimisküsimuseks on see, kas lahknevusnegatiivsuse meetodiga saab tuvastada

semantilise töötluse erinevusi, mis peaks ilmema antud stiimulite puhul pigem eestlastel ja pigem vasakpoolsetes elektroodides. Varasema kirjanduse põhjal koostan hüpoteesid:

Hüpoteesid:

1. Stiimulite semantiline töötlus intervallis 360-500 ms toimub vasakus ajupoolkeras.
2. Eestlased kasutavad stiimulite eristamisel soomlastest rohkem semantilist informatsiooni.
3. Sagedusanalüüs näitab stiimulite semantilist töötlust teeta sagedusvahemikus.

## **2. Meetod**

### **2.1. Valim**

Uurimuses osales 10 vabatahtlikku katseisikut (täitsid nõusolekulehe katses osalemise kohta), kellest viis olid eestlased ja viis soomlased. Soomlaste puhul oli oluline, et nad ei oleks Eestis elanud rohkem kui kaks kuud või läbinud eesti keele kursuseid. Katseisikud olid vanuses 19-26. Katses osales 4 naissoost ja 6 meessoost inimest. Katseisikud on sooliselt ja vanuseliselt kahe keelegrupi vahel võrdsustatud.

### **2.2. Stiimulid ja katse ülesehitus**

Uurimistöös kasutati nelja sünteesitud stiimulit (Lisa 1, tabel 1, allikas: Tull, 2013). Stiimul 1 – 2. vältes olev sõna “saada” (sõnast “saatma”), stiimul 2 – teisest vältest sünteesitud stiimul, stiimul 3 – 3. vältes olev sõna “saada” (sõnast “saama”), stiimul 4 – kolmandast vältest sünteesitud stiimul. Stiimulit 1 saaks kirjeldada kui 2. välte lühikest arusaadavat stiimulit (edaspidi tähistatud 2170). Stiimul 2 on 2. välte pikk arusaadav stiimul (edaspidi 2290). Stiimul 3 on ambivalentse sisuga 3. vältes olev lühike stiimul, põhitooni langusega (edaspidi 3110). Stiimul 4 on 3. vältes olev arusaadav stiimul, põhitooni langusega (edaspidi 3290). Stiimulite numbrilised tähistused tulenevad vastavalt sellest, kas on 2. (algab kahega) või 3. (algab kolmega) välde ning järgnevad kolm numbrit tähistavad sõna esimese täishääliku pikkust (lisa 2, allikas: Tull). Stiimulite 1 ja 2 puhul on esimese silbi põhitoon 120-125 Hz vahel. Stiimulite 3 ja 4 esimese silbi põhitoon langeb 125 Hz juurest alla 95-100

Hz peale. Soomlaste jaoks on sõnal “saada” vaid üks tähendus - saada midagi. Kõige enam sarnaneb see eesti keele 3. vältes olevale sõnale “saada”.

Katseisikutele esitati stiimulid seeriates kaupa (Lisa 1, tabel 2, allikas: Tull, 2013). Iga stiimul esines erinevas seerias nii standardina kui deviandina. 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. Stiimulite esitamise vahelised intervallid olid 400 ms, 425 ms ja 450 ms. Iga seeria alguses esitati standardstiimulit 15 korda järjest. Kokku esitati 465 standardstiimulit ja 150 deviantstiimulit. Katse sooritamise ajal vaatasid katseisikud filmi ning neil paluti eirata kõrvaklappidesse tulevaid helistiimuleid.

Aju elektrilise aktiivsuse salvestamiseks kasutati 32 elektroodiga EEG elektroodmütsi, silmaliigutusi ja -pilgutusi mõõdeti 4 üksikelektroodiga ning lisaks pandi kõrvalestade külge 2 referentselektroodi. EEG andmete salvestamiseks kasutati BioSemi Active Two süsteemi (BioSemi, Amsterdam, Holland). Programmi salvestussagedus oli 1024 Hz ning salvestuse ajal olid filtrid 0,16-100 Hz. Lisaks EEG mõõtmistele määrati enne ja pärast katse toimumist katseisikute kortikaalse ärgastatuse tase (CFF ehk *critical flicker frequency* testiga) ja subjektiivne väsimus (Borg test CR10 skaalal, kus 0 tähistab väsimuse puudumist ja 10 suurimat väsimust) (Tull, 2013).

### 2.3. Andmetöötlus

Käthe-Riin Tulli (2013) töös valiti andmete analüüsimiseks varasema kirjanduse põhjal 6 otsmikusagara (AF3, F3, FC1, FC2, AF2 ja F4) ja 6 oimusagara (FC5, T7, C3, C4, T8 ja FC6) elektroodi. MMNi esinemist vaadeldi ajavahemikes 80-120 ms, 120-160 ms, 160-200ms, 200-240 ms, 240-280 ms, 280-320 ms, 320-360 ms. Käesolevas uurimistöös kasutatakse analüüsis samu elektroode, kuid ajavahemikuks on 360-500 ms, kuna semantiline töötlus peaks olema seotud pigem selle intervalliga.

EEG andmete analüüsimiseks kasutati programmi BrainVision Analyzer 1.05 (Brain Products GmbH, München, Saksamaa). Analüüsi ajal kasutati filtreid 0,1-30 Hz (24db/Oct) ja elektrimüra vähendamiseks lisaks 50 Hz filtrit.

Andmetöötluse tegemiseks kasutasin programmi Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, Ameerika Ühendriigid). Leidsin kõikide osalejate keskmised ERP-kõvera amplituudid 360-500 ms jooksul iga seeria standardi ja kõikide deviantide jaoks. Iga seeria sees võrdlesin standardit kõikide deviantidega mitteparameetrilise T-testi abil (Wilcoxon'i test), kuna väikesele valimile iseloomulikuna ei jaotunud tulemused normaaljaotuslikult. Kõik võrdlused tegin eestlaste ja soomlaste jaoks eraldi ja erinevuse ilmumine tähistab automaatse eristusvastuse esinemist standardi ja konkreetse deviandi vahel. Nende muustrite võrdlemise alusel teen järeldused keelegruppide esindajate töötluse erinevuste kohta.

Sagedusanalüüsiks kasutasin andmetöötlusprogrammis Statistica tehtud pideva lainekese (*wavelet*) analüüsi (orlet'i  $c$  väärtus oli 5). Analüüs vaatles individuaalse stiimuli esituste tasemel 40 sagedusriba vahemikus 0-20 Hz. Tulemused keskmistati iga inimese ja tingimuse jaoks kokku ning allpool esitan ühe juhuslikult valitud soomlase ja ühe eestlase stiimulite töötlust illustreerivad joonised.

### 3. Tulemused

Tulemustest annavad ülevaate kokkuvõtlikud tabelid 1-4 iga seeria kohta eraldi. Tabelites on toodud vaid statistiliselt olulised ( $p < 0,05$ ) tulemused.

Seerias 1 (Tabel 1), kui standard oli 2. välte lühike stiimul, eristasid soomlased sellest 2. välte ja 3. välte pikka stiimulit. Seega tulenes erinevuse tuvastamine ainult sõna pikkuse järgi. Seda näitab ka stiimulite töötlemine ainult paremas ajupoolkeras, kuna sisuline töötlus peaks toimuma vasakul pool. Eestlased eristasid standardist samuti 2. ja 3. välte pikka stiimulit, kuid ühes piirkonnas ka 3. välte lühikest ambivalentse tähendusega stiimulit, mis näitab nii semantilist kui pikkuse vihje kasutamist. Erinevusi tuvastas nii parem kui vasak ajupoolkera. Sisuline erinevus on eestlaste jaoks 2. välte lühikese (standard) ja 3. välte stiimulite vahel. Seega on näha, et stiimulite semantiline töötlus võis toimuda nii vasakul kui paremal pool.

Täpsed võrdlused on esitatud lisas 3 tabelites 1 ja 2.

Tabel 1. Seeria 1 deviandid elektrootide lõikes, mille töötlus standardist statistiliselt oluliselt ( $p < 0,05$ ) erines.

Seeria 1, standard 2170				
Elektrood	FIN		EST	
	Vasak	Parem	Vasak	Parem
AF3/AF4				3290
FC1/FC2		2290	3290	3290
FC5/FC6				3290
F3/F4			2290, 3110, 3290	3290
C3/C4		2290, 3290		
T7/T8				2290

Seerias 2 (Tabel 2) oli standardiks 2. välte pikk stiimul. Soomlastel esinesid erinevused nii vasakus kui paremas ajupoolkeras. Eristati 2. ja 3. välte lühikest stiimulit. Eestlastel esinesid erinevused ainult vasakus ajupoolkeras ning tunti ära 3. välte nii lühikest kui pikka stiimulit. Kuna 2. ja 3. välte vahel on eestlaste jaoks sisuline erinevus, siis ühtib tulemus varasemalt leitudga, et semantiline töötlus toimub vasakus ajupoolkeras. Sarnaselt eelmisele seeriale võiks öelda, et soomlased kasutasid eristamiseks ainult pikkuse vihjet, eestlased kasutasid pikkuse ja sisu erinevust. Täpsed stiimulite väärtused on esitatud lisas 3 tabelites 3 ja 4.

Tabel 2. Seeria 2 deviandid elektrootide lõikes, mille töötlus standardist statistiliselt oluliselt ( $p < 0,05$ ) erines.

Seeria 2, standard 2290				
Elektrood	FIN		EST	
	Vasak	Parem	Vasak	Parem
AF3/AF4		2170	3110	
FC1/FC2	2170, 3110	3110	3110	
FC5/FC6	3110	3110		
F3/F4	2170, 3110	2170, 3110		
C3/C4	2170, 3110	3110	3290	
T7/T8				

Seerias 3 (Tabel 3), kui standard oli 3. välte pikk põhitooni langusega stiimul, tundsid soomlased ära 2. ja 3. välte lühikesi stiimuleid (2. välde vasakus ja 3. välde paremas ajupoolkeras). Eestlased aga eristasid kõiki deviantseid stiimuleid, seda nii paremas kui vasakus ajupoolkeras. Kõige rohkem esines eestlastel elektroodides erinevusi 3. välte lühikese stiimuli puhul. Sellest seeriast võiks järeldada, et eestlased on kasutanud sõnade eristamisel semantilist ja pikkuse vihjet. Soomlased aga ainult pikkuse vihjet. Kuna eestlaste jaoks omavad semantilist erinevust 2. ja 3. välde, siis saab selle seeria tulemuste kohta öelda, et eestlastel toimus semantiline töötlus vasakus ajupoolkeras. Parem ajupoolkera eristas vaid 3. välte pikka ja lühikest stiimulit, seega töötles pikkust. Täpsed võrdlused on esitatud lisas 3 tabelites 5 ja 6.

Tabel 3. Seeria 3 deviandid elektroodide lõikes, mille töötlus standardist statistiliselt oluliselt ( $p < 0,05$ ) erines.

Seeria 3, standard 3290				
Elektrood	FIN		EST	
	Vasak	Parem	Vasak	Parem
AF3/AF4			2170, 3110	3110
FC1/FC2	2170		3110	3110
FC5/FC6		3110		
F3/F4				3110
C3/C4			2170, 3110, 2290	
T7/T8				3110

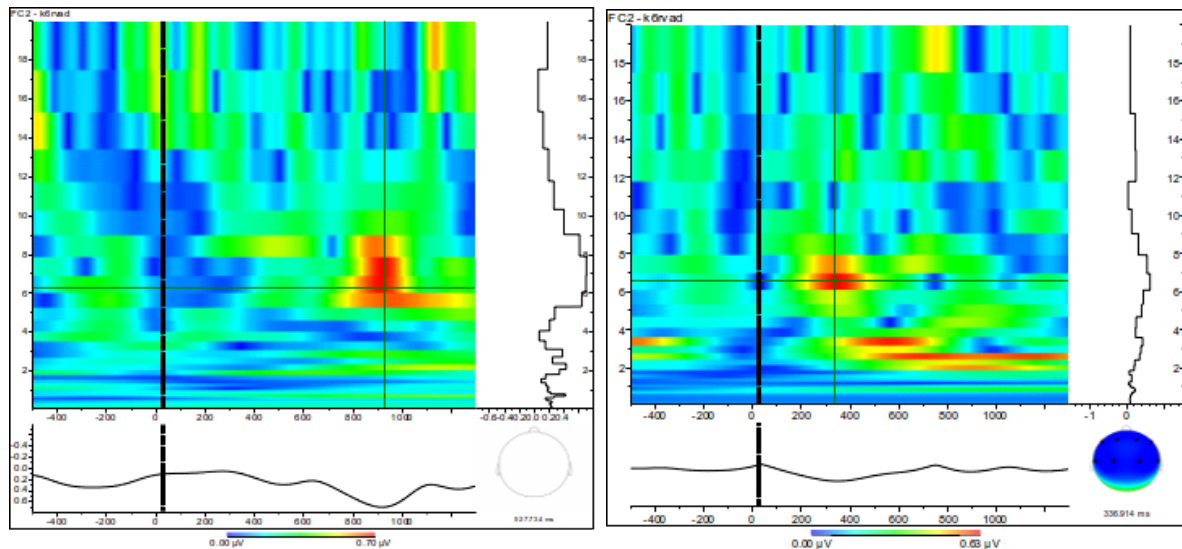
Seerias 4 (Tabel 4) oli standard 3. välte lühike stiimul. Soomlased eristasid ainult 2. välte lühikest stiimulit nii paremas kui vasakus ajupoolkeras. Kuna stiimulid on mõlemad lühikesed, siis võiks järeldada, et sisuline töötlus võis toimuda nii paremal kui vasakul pool. Eestlased eristasid kõiki deviantseid stiimuleid samuti mõlemas ajupoolkeras. Võrreldes standardiga omab eestlaste jaoks semantilist erinevust 2. välte stiimul. Seega saab öelda, et sisuline töötlus esines jällegi vasakul pool. Tulemustest saab järeldada, et soomlased kasutasid stiimulite sisu vihjet, eestlased lisaks sellele ka pikkuse vihjet. Täpsed võrdlused on esitatud lisas 3 tabelis 7 ja 8.

Tabel 4. Seeria 4 deviandid elektroodide lõikes, mille töötlus standardist statistiliselt oluliselt ( $p < 0,05$ ) erines.

Seeria 4, standard 3110				
Elektrood	FIN		EST	
	Vasak	Parem	Vasak	Parem
AF3/AF4		2170		
FC1/FC2	2170			
FC5/FC6				
F3/F4		2170		
C3/C4			2170, 2290	
T7/T8			2290	3290

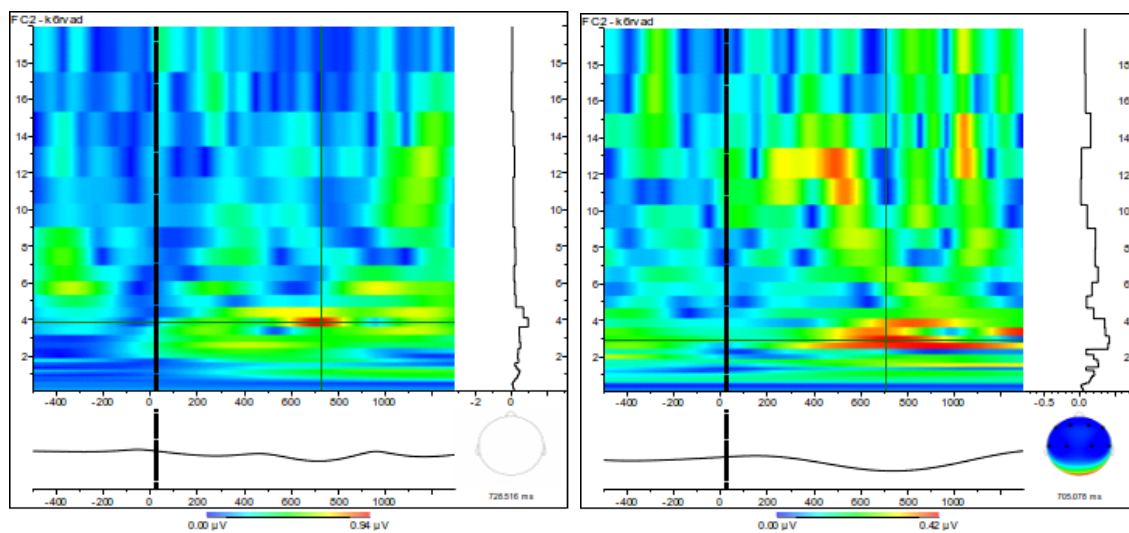
Toon käesolevas uurimistöös ka ühe illustreeriva sagedusanalüüsi näite, kuna põhjaliku sagedusanalüüsi võimaluste õppimine on alles arendusfaasis. Sagedusanalüütiline kokkuvõte on eraldi mõlemast katseisikute grupist ühe isiku kohta seerias 1. Võrreldud on deviantstiimulite 2290 ja 3290 töötlust parempoolses FC2 elektroodis. Joonistel 1 ja 2 on näha erineva sagedusega toimuva töötluste suhteline (ehk stiimulieelse intervalli suhtes normaliseeritud) esinemine erinevatel ajahetkedel (-500 - 1300 ms stiimuli esitamise hetke suhtes), mida kirjeldab vastava laine sageduse koefitsient (kodeeritud erineva värviga).

Analüüsidest deviandi 2290 töötlust (Joonis 1) on näha, et soomlasel analüüsitavas intervallis märkimisväärset teetasageduslikku töötlust ei toimu. See on kooskõlas ka eelnevalt leitud tulemustega, et seerias 1 soomlased semantilist informatsiooni töötlemiseks ei kasutanud. Eestlasel toimub töötlus 400 ms ümber 6-8 Hz sagedusvahemikus, mis vastab teetasagedusele. Teetasageduste tõus viitab semantilisele töötlusele (Bastiaansen & Hogaart, 2006).



Joonis 1. Sagedusanalüütiline näidisanalüüs seerias 1 stiimuli 2290 näitel. Vasakpoolne pilt kirjeldab ühe juhuslikult valitud soomlase stiimuli töötlust, parempoolne ühe juhuslikult valitud eestlase sama stiimuli töötlust. Suhtelise töötluste paremaks jälgimiseks seeria sees on sagedusribade värviskaalad, mis esindavad vastava lainetuse koefitsiente igal ajahetkel, kummagi isiku puhul natuke erinevad.

Analüüsisdes deviandi 3290 töötlust (Joonis 2) on näha, et töötlus toimub mõlema katseisiku puhul analüüsitavast intervallist hilisemas ajavahemikus. Väiksema aktiivsusega töötlust on eestlase puhul märgata 12-13 Hz vahemikus, mis vastab alfasagedusele.



Joonis 2. Sagedusanalüütiline näidisanalüüs seerias 1 deviantstiimuli 3290 näitel. Vasakpoolne pilt kirjeldab ühe juhuslikult valitud soomlase stiimuli töötlust, parempoolne ühe juhuslikult valitud eestlase sama stiimuli töötlust. Suhtelise töötluste paremaks jälgimiseks seeria sees on sagedusribade värviskaalad, mis esindavad vastava lainetuse koefitsiente igal ajahetkel, kummagi isiku puhul natuke erinevad.

## Arutelu

Käesolev töö näitab eestlaste ja soomlaste pikkade ja ülipikkade völdete semantilise töötuluse erinevusi. Varasemalt on leitud, et keelelise informatsiooni semantiline töötlus toimub 400 ms peale stiimuli esitamist (Marslen-Wilson & Tyler, 1975; Kiefer, 2001). Seega näitavad leitud statistiliselt olulised tulemused stiimulite sisulist töötlust analüüsitud 360-500 ms vahemikus.

Varasemalt on leitud, et MMN on sobilik meetod pikaajalises mälus oleva keelelise informatsiooni töötlemise uurimiseks (Pulvermüller & Shytrov, 2006). MMN-i abil on võimalik uurida emakeelega seotud mälujälgi (Näätänen, et al., 1997; Näätänen, 2000; Näätänen, et al., 2007). Käesolev uurimus näitas, et eestlastel esines oluliselt rohkem semantilise informatsiooni kasutamist stiimulite eristamiseks kui soomlastel. Seega leidis hüpotees 2 kinnitust. Eestlased kasutasid stiimulite eristamiseks sisu vihjet igas seerias, kuid soomlased ainult ühes seerias. Kuna stiimulitena kasutati eesti keelele omast völdete süsteemi, siis on tulemus kooskõlas eelnevaga, et emakeelele omaseid stiimuleid eristatakse paremini. Nenonen ja kolleegid (2003) leidsid, et keelelise stiimuli töötlemisel tunnevad seda keelt emakeelena kõnelevad inimesed selle paremini ära. Samale järeldusele jõudsid ka Pulvermüller ja Shytrov (2006), kes võrdlesid sõnu, mida inimene teab, ja sõnu, mis ei kuulu tema fonoloogilisse süsteemi ning leidsid, et esimene tekitab kõrgema MMN-i vastuse.

Pulvermüller (1996) leidis, et keelelise informatsiooni töötluses domineerib vasak ajupoolkera. Lisaks sellele asub pikaajalises mälus olev informatsioon emakeelest samuti vasakus ajupoolkeras (Näätänen, et al., 1997; Kujala, et al., 2002). Käesoleva uurimuse põhjal saab öelda, et stiimulite töötlus toimus mõlema katsegrupi puhul mõlemas ajupoolkeras. Eestlaste ja soomlaste võrdlusel on näha, et eestlased kasutasid stiimulite töötlusel semantilist vihjet rohkem. Seda on näha ka ajupoolkerade vahelisel võrdlusel, millest järeldub, et eestlased eristasid stiimuleid seeriates 2, 3 ja 4 semantilise informatsiooni alusel ning töötlus esines vasakus ajupoolkeras. Soomlased kasutasid sisulist informatsiooni vaid ühes seerias ning nii vasakul kui paremal pool. Seega võiks küsida, kas sisuline töötlus toimus lisaks vasakule ajupoolkerale ka paremal pool. Parema poole sisulisele töötlusele viitab ka eestlaste esimese seeria tulemus, millest on näha, et semantilise erinevusega

stiimulite töötlus toimus mõlemas ajupoolkeras. Sellest tulenevalt võiks antud küsimust edaspidi põhjalikumalt uurida ning kasuks tuleks kindlasti ka suurem valim.

Varasemalt on leitud, et keele mõistmisega seotud ajuaktiivsust on võimalik uurida ja iseloomustada sageduste abil (Bastiaansen, et al., 2005). Bastiaansen ja kolleegid (2005) korraldasid uurimuse, mille tulemustest selgus, et sõnad põhjustasid teeta lainete aktiivsuse suurenemist ning alfa ja beeta sageduste nõrgenemist. Illustreeriva sagedusanalüüsi põhjal saab järeldada, et eestlased kasutavad seerias 1 deviandi standardist eristamiseks semantilist töötlust, kuna tulemused näitavad aktiivsuse tõusu teetasageduse vahemikus. See on kooskõlas varasemate uurimustega, kus on leitud, et teeta sagedused peegeldavad pikaajalisest mälust informatsiooni taastamist ehk on seotud mälujälgedega (Bastiaansen, et al., 2005; Luck ja Kapperman, 2012). Püstitatud hüpotees pidas seega paika - semantiline töötlus on seotud teeta sagedusvahemikuga. Leitud tõlgendusvõimalused julgustavad sedasorti analüüsimeetoditega jätkama. Käesolevas töös esitatud analüüs on illustratiivne ja juhtumipõhine.

**Kasutatud kirjandus**

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. & Schürmann, M. (2001). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 241-248.

Bastiaansen, M. & Hagoort, P. (2006). Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension. *Progress in Brain Research*, 159.

Bastiaansen, M. C. M., van der Linden, M., ter Keurs, M., Dijkstra, T. & Hagoort, P. (2005). Theta responses are involved in lexical-semantic retrieval during language processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(3), 530-541.

Cheour, M., Shestakova, A., Alku, P., Ceponiene, R. & Näätänen, R. (2002). Mismatch negativity shows that 3–6-year-old children can learn to discriminate non-native speech sounds within two months. *Neuroscience Letters*, 325, 187-190.

Chladkova, K., Escudero, P. & Lipski, S. C. (2015). When “AA” is long but “A” is not short: speakers who distinguish short and long vowels in production do not necessarily encode a short-long contrast in their phonological lexicon. *Frontiers in Psychology*, 6 (438), 1-8.

Escera, C., Leung, S. & Grimm, S. (2014). Deviance Detection Based on Regularity Encoding Along the Auditory Hierarchy: Electrophysiological Evidence in Humans. *Brain Topography*, 27, 527-538.

Gross, J., Schmitz, F., Schnitzler, I., Kessler, K., Shapiro, K., Hommel, B. & Schnitzler, A. (2004). Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 101(35), 13050–13055.

Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M. & Petersson, K. M. (2004). Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science*, 304(5669), 438-441.

Hald, L. A., Bastiaansen, M. C. M. & Hagoort, P. (2005). EEG theta and gamma responses to semantic violations in online sentence processing. *Brain and Language*, 96, 90–105.

Jost, L. B., Eberhard-Moscicka, A. K., Pleisch, G., Heusser, V., Brandeis, D., Zevin, J. D. & Maurer, U. (2015). Native and non-native speech sound processing and the neural mismatch responses: A longitudinal study on classroom-based foreign language learning. *Neuropsychologia*, 72, 94-104.

Kiefer, M. (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: Event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, 29 (1), 100-116.

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169–195.

Kuhl, P. K., Tsao, F.-M. & Liu, H.-M. (2003). Foreign-language experience in infancy: Effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *PNAS*, 100 (15), 9096-9101.

Kujala, A., Alho, K., Valle, S., Sivonen, P., Ilmoniemi, R. J., Alku, P. & Näätänen, R. (2002). Context modulates processing of speech sounds in the right auditory cortex of human subjects. *Neuroscience Letters*, 331, 91–94.

Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1-19.

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.

Luck, S. J. & Kappenman, E. S. (2012). *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. New York: Oxford University Press.

Luo, Y., Zhang, Y., Feng, X. & Zhou, X. (2010). Electroencephalogram oscillations differentiate semantic and prosodic processes during sentence reading. *Neuroscience*, *169*, 654 – 664.

Marslen-Wilson, W. & Tyler, L. K. (1975). Processing structure of sentence perception. *Nature*, *257*, 784-786.

Nenonen, S., Shestakova, A., Huotilainen, M. & Näätänen, R. (2003). Linguistic relevance of duration within the native language determines the accuracy of speech-sound duration processing. *Cognitive Brain Research*, *16*, 492-495.

Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, 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. *Nature*, *385*, 432-434.

Näätänen, R. (2000). Mismatch negativity (MMN): perspectives for application. *International Journal of Psychophysiology*, *37*, 3-10.

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*, 1-21.

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

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.

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*, 352, 25-28.

Pulvermüller, F. (1996). Hebb's concept of cell assemblies and the psychophysiology of word processing. *Psychophysiology*, 33, 317-333.

Pulvermüller, F. & Shtyrov, Y. (2003). Automatic processing of grammar in the human brain as revealed by the mismatch negativity. *NeuroImage*, 20, 59-172.

Pulvermüller, F. & Shtyrov, Y. (2006). Language outside the focus of attention: The mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Progress in Neurobiology*, 79, 49-71.

Sauseng, P. & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 1001-1013.

Tamminen, H., Peltola, M. S., Kujala, T. & Näätänen, R. (2015). Phonetic training and non-native speech perception - New memory traces evolve in just three days as indexed by the mismatch negativity (MMN) and behavioural measures. *International Journal of Psychophysiology*, 97, 23-29.

Tull, Käthe-Riin. (2013). Eestlaste ja soomlaste vahelised erinevused pika ja ülipika välte eristamisel: EEG uurimus. Tartu Ülikool, Avaldamata seminaritöö.

Uusberg, Andero. Kuidas ajutegevust pealt kuulata. Sissejuhatus EEG mõõtmisesse. Avaldamata juhendmaterjal.

Weiss, S. & Mueller, H.M. (2003). The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and Language*, 85(2), 325-343.

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. *Psychophysiology*, 36, 638–642.

Ylinen, S., Shestakova, A., Huotilainen, M., Alku, P. & Näätänen, R. (2006). Mismatch negativity (MMN) elicited by changes in phoneme length: A cross-linguistic study. *Brain Research*, 1072, 175-185.

**Lisa 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:* Stiimulid 1 ja 4: teisest vältest sünteesitud; Stiimulid 2 ja 3: kolmandast vältest sünteesitud.

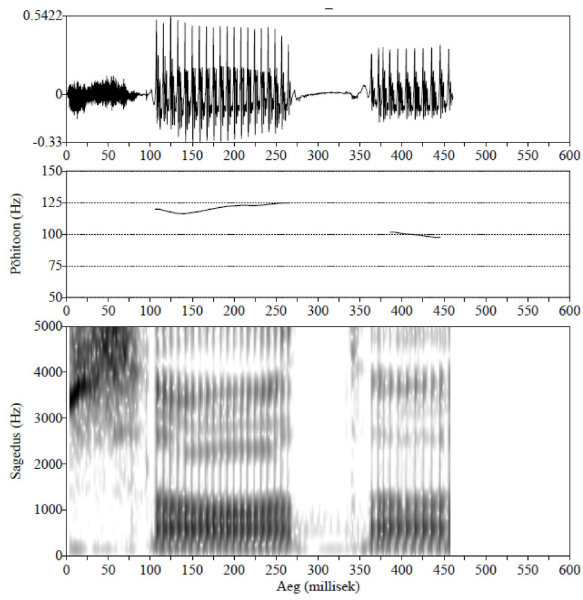
Tabel 2. Stiimulite esitamine erinevates katseseeriates.

	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

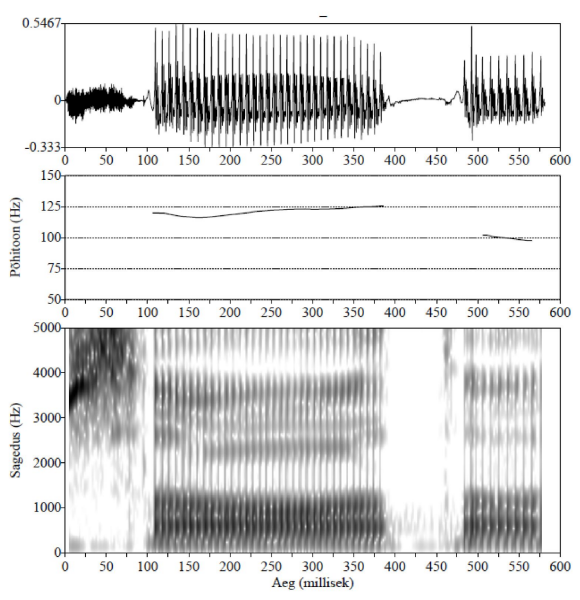
*Märkused:* D – deviantne stiimul

**Lisa 2. Uurimuses kasutatud stiimulid**

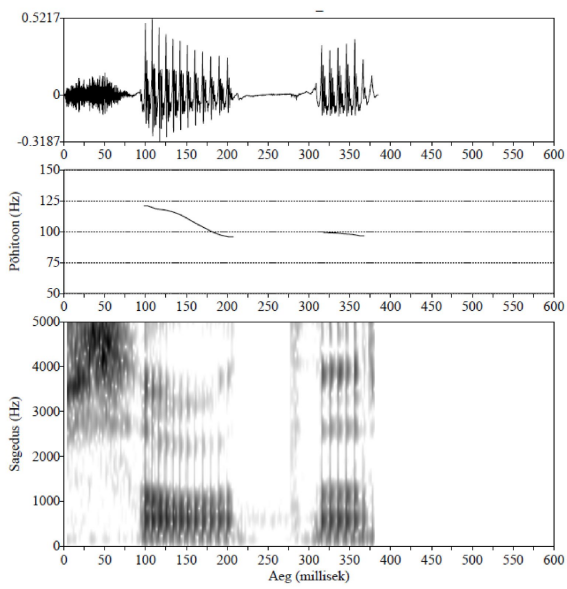
Stiimul 1



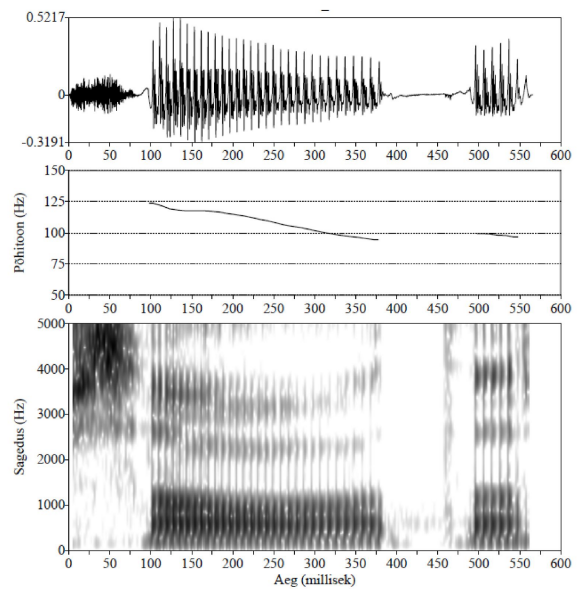
Stiimul 2



Stiimul 3



Stiimul 4



**Lisa 3.** Tulemuste täpsed seeriasisesed võrdlused intervallis 360-500 ms. Tabelites on rõhutatud (tumedamalt) statistiliselt olulised tulemused.

Tabel 1. Soomlaste MMN komponent seerias 1.

Seeria 1	Soomlased										
	Standard 2170		Deviant 1 2290			Deviant 2 3110			Deviant 3 3290		
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-0,89	1,35	-1,06	1,53	0,40	-0,94	0,95	1,35	-1,44	1,86	0,67
AF4	-1,09	1,19	-1,34	2,58	0,67	-1,30	1,20	0,13	-1,69	2,00	0,67
FC1	-0,94	1,23	-1,70	0,71	1,21	-1,09	0,59	0,40	-1,97	1,36	1,75
FC2	-1,03	1,03	<b>-2,02</b>	<b>0,92</b>	<b>2,02</b>	-1,34	0,72	0,40	-2,08	1,42	1,48
FC5	0,10	1,28	0,16	1,20	0,13	0,11	1,08	0,13	-0,34	1,58	1,21
FC6	0,46	0,98	-0,76	1,43	1,21	-0,26	1,52	1,21	-0,50	1,62	1,21
F3	-1,07	1,40	-1,34	0,76	1,35	-0,82	1,13	1,35	-1,51	1,61	0,94
F4	-0,59	0,73	-1,32	1,17	0,67	-1,78	1,35	1,21	-2,23	1,75	1,75
C3	-0,11	1,11	-0,42	1,02	1,21	-0,22	1,09	0,13	-0,68	1,73	1,21
C4	0,48	0,81	<b>-0,77</b>	<b>0,66</b>	<b>2,02</b>	-0,21	1,31	1,48	<b>-0,67</b>	<b>1,31</b>	<b>2,02</b>
T7	2,07	1,82	2,51	2,40	0,67	1,95	1,95	0,40	2,61	2,84	0,94
T8	2,34	0,95	2,19	1,63	0,40	2,17	2,11	0,67	2,52	1,98	0,40

Märkused: M-keskmise amplituud, SD-standardhälve

Tabel 2. Eestlaste MMN komponent seerias 1.

Seeria 1	Eestlased										
	Standard 2170		Deviant 1 2290			Deviant 2 3110			Deviant 3 3290		
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-1,00	1,60	-2,00	2,51	1,21	-2,40	2,56	1,48	-2,30	2,39	1,48
AF4	-1,10	1,78	-2,40	2,76	1,21	-2,30	2,59	1,21	<b>-2,20</b>	<b>2,30</b>	<b>2,02</b>
FC1	-0,80	0,95	-1,70	2,04	1,21	-2,40	2,65	1,48	<b>-2,20</b>	<b>2,51</b>	<b>2,02</b>
FC2	-0,70	0,98	-1,50	2,28	0,94	-2,20	2,70	1,21	<b>-1,90</b>	<b>2,50</b>	<b>2,02</b>
FC5	0,10	0,91	-0,70	1,84	0,94	-0,50	1,73	0,67	-0,60	1,28	0,94
FC6	0,60	1,39	-0,60	2,20	1,75	-0,60	2,97	1,21	<b>-0,50</b>	<b>1,79</b>	<b>2,02</b>
F3	-1,00	1,54	<b>-1,80</b>	<b>2,20</b>	<b>2,02</b>	<b>-2,80</b>	<b>2,71</b>	<b>2,02</b>	<b>-2,40</b>	<b>2,06</b>	<b>2,02</b>
F4	-0,70	1,78	-2,00	2,67	1,75	-2,40	3,12	1,75	<b>-2,30</b>	<b>2,56</b>	<b>2,02</b>
C3	-0,10	0,40	-0,90	1,18	1,75	-0,60	1,44	0,67	-0,80	1,45	1,75
C4	0,50	0,69	-0,40	1,60	1,48	-0,40	1,98	0,94	-0,50	1,81	1,48
T7	1,60	1,04	1,70	1,36	0,13	2,80	0,58	1,21	2,00	1,15	0,67
T8	2,50	1,42	<b>1,10</b>	<b>1,31</b>	<b>2,02</b>	2,40	1,34	0,67	1,50	1,24	1,21

Märkused: M-keskmise amplituud, SD-standardhälve

Tabel 3. Eestlaste MMN komponent seerias 2.

Seeria 2	Eestlased										
	Standard 2290		Deviant 1 2170			Deviant 2 3110			Deviant 3 3290		
	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-2,10	1,54	-1,90	1,00	0,40	<b>-2,80</b>	<b>1,70</b>	<b>2,02</b>	-1,20	1,30	1,75
AF4	-1,90	1,79	-1,60	1,48	0,40	-2,40	1,30	0,40	-1,70	1,27	0,94
FC1	-1,60	2,00	-1,70	1,58	0,13	<b>-2,20</b>	<b>2,38</b>	<b>2,02</b>	-1,40	1,64	1,21
FC2	-1,60	1,96	-1,40	1,88	0,94	-2,00	2,33	1,48	-1,50	1,46	0,13
FC5	-0,60	1,67	-0,80	1,09	0,40	-0,70	1,87	0,13	0,10	1,26	0,67
FC6	-0,20	1,99	-0,80	2,28	1,21	-0,20	1,68	0,13	-0,50	1,22	0,40
F3	-1,90	2,11	-2,00	1,61	0,40	-2,70	2,03	1,75	-1,30	1,59	1,21
F4	-1,60	2,42	-1,90	2,22	0,67	-2,20	2,01	1,75	-1,90	1,79	0,67
C3	-1,20	1,79	-0,70	1,30	1,48	-1,00	2,13	0,40	<b>-0,70</b>	<b>1,59</b>	<b>2,02</b>
C4	-0,30	1,71	-0,40	2,15	0,40	-0,50	1,84	0,40	-0,50	1,48	0,67
T7	1,60	0,95	1,70	0,85	0,13	2,30	0,75	1,48	1,70	0,37	0,13
T8	2,10	1,25	1,40	2,63	0,67	2,70	0,84	1,21	1,60	0,66	0,94

Märkused: M-keskmine amplituud, SD-standardhälve

Tabel 4. Soomlaste MMN komponent seerias 2.

Seeria 2	Soomlased										
	Standard 2290		Deviant 1 2170			Deviant 2 3110			Deviant 3 3290		
	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-0,22	1,00	-1,71	1,77	1,75	-2,14	3,03	1,75	-1,05	1,34	0,94
AF4	-0,46	0,85	<b>-2,21</b>	<b>1,66</b>	<b>2,02</b>	-2,44	2,80	1,75	-1,40	1,04	1,48
FC1	-0,70	1,38	<b>-2,10</b>	<b>1,33</b>	<b>2,02</b>	<b>-2,21</b>	<b>2,14</b>	<b>2,02</b>	-1,19	1,15	1,21
FC2	-1,04	1,58	-1,95	1,16	1,75	<b>-2,92</b>	<b>2,66</b>	<b>2,02</b>	-1,56	1,03	0,94
FC5	0,47	1,87	-0,68	1,12	1,75	<b>-1,16</b>	<b>2,89</b>	<b>2,02</b>	0,47	1,47	0,67
FC6	0,30	1,98	-0,80	1,38	1,21	<b>-1,44</b>	<b>2,18</b>	<b>2,02</b>	0,20	1,44	0,13
F3	-0,16	1,00	<b>-1,83</b>	<b>1,39</b>	<b>2,02</b>	<b>-2,28</b>	<b>2,55</b>	<b>2,02</b>	-1,09	1,25	1,48
F4	-1,07	1,58	<b>-2,35</b>	<b>1,66</b>	<b>2,02</b>	<b>-2,98</b>	<b>2,35</b>	<b>2,02</b>	-1,24	0,56	0,40
C3	0,13	1,41	<b>-0,84</b>	<b>1,16</b>	<b>2,02</b>	<b>-0,87</b>	<b>2,26</b>	<b>2,02</b>	0,09	1,32	0,40
C4	0,12	1,83	-0,69	1,32	1,21	<b>-1,26</b>	<b>2,10</b>	<b>2,02</b>	0,05	0,96	0,40
T7	2,61	3,29	1,77	2,12	1,21	2,05	3,21	1,21	2,05	2,17	0,67
T8	2,57	2,42	1,52	1,84	1,48	1,61	1,95	1,75	2,02	1,76	1,21

Märkused: M-keskmine, SD-standardhälve

Tabel 5. Soomlaste MMN komponent seerias 3.

Soomlased											
Seeria 3	Standard 3290		Deviant 1 2170			Deviant 2 3110			Deviant 3 2290		
	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-1,04	1,75	-1,70	1,94	0,40	-1,35	2,06	0,94	-1,18	1,79	0,13
AF4	-1,62	1,74	-2,31	1,62	0,94	-1,73	1,99	0,67	-1,71	1,46	0,13
FC1	-1,44	1,02	<b>-2,36</b>	<b>1,73</b>	<b>2,02</b>	-1,46	1,37	0,13	-1,49	1,22	0,13
FC2	-1,70	1,06	-2,41	2,04	0,67	-1,88	1,73	0,13	-1,43	1,28	0,40
FC5	-0,52	1,66	-1,05	2,77	1,21	-0,27	1,91	0,94	-0,38	1,59	0,40
FC6	-1,35	1,64	-0,83	2,55	0,67	<b>-0,15</b>	<b>1,81</b>	<b>2,02</b>	-0,05	1,30	1,75
F3	-1,21	1,63	-2,32	1,78	1,21	-1,44	1,89	0,67	-1,38	1,42	0,40
F4	-2,40	1,89	-2,44	1,53	0,40	-1,65	2,36	1,75	-1,61	1,30	0,94
C3	-0,36	0,99	-1,20	2,65	0,67	-0,72	1,56	0,40	-0,64	1,19	1,21
C4	-0,62	1,11	-1,32	2,47	0,13	-0,82	1,32	0,40	-0,46	1,52	0,40
T7	1,32	2,61	1,72	4,22	0,67	1,99	2,66	1,21	2,08	1,77	1,21
T8	0,99	1,87	2,07	3,03	1,21	2,11	2,48	1,21	1,71	2,08	1,21

Märkused: M-keskmise amplituud, SD-standardhälve

Tabel 6. Eestlaste MMN komponent seerias 3.

Eestlased											
Seeria 3	Standard 3290		Deviant 1 2170			Deviant 2 3110			Deviant 3 2290		
	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-0,70	1,67	<b>-1,90</b>	<b>2,15</b>	<b>2,02</b>	<b>-1,80</b>	<b>1,80</b>	<b>2,02</b>	-2,10	2,14	1,75
AF4	-0,80	1,82	-2,00	2,59	1,48	<b>-2,20</b>	<b>2,06</b>	<b>2,02</b>	-2,20	2,37	1,75
FC1	-1,10	1,56	-1,80	2,06	1,75	<b>-2,10</b>	<b>2,63</b>	<b>2,02</b>	-1,60	2,10	1,75
FC2	-1,00	1,49	-1,60	2,03	1,48	<b>-2,00</b>	<b>2,42</b>	<b>2,02</b>	-1,80	2,17	1,75
FC5	0,10	0,89	-0,40	2,19	0,94	-0,10	1,73	0,13	-0,30	1,65	0,89
FC6	-0,20	1,99	-0,30	2,09	0,40	-0,20	2,34	0,13	0,10	2,35	0,40
F3	-1,30	1,43	-1,90	2,49	1,21	-2,20	2,40	1,75	-2,10	2,15	1,48
F4	-0,90	2,07	-1,70	2,41	1,48	<b>-2,20</b>	<b>2,84</b>	<b>2,02</b>	-2,00	2,72	1,75
C3	-0,00	1,02	<b>-0,80</b>	<b>1,98</b>	<b>2,02</b>	<b>-0,80</b>	<b>2,04</b>	<b>2,02</b>	<b>-0,50</b>	<b>1,69</b>	<b>2,02</b>
C4	-0,20	1,16	-0,40	1,80	0,40	-0,80	2,36	0,94	-0,10	2,06	0,67
T7	1,80	0,50	2,20	1,16	0,13	2,70	0,76	1,75	1,90	0,51	0,40
T8	1,50	1,83	1,70	1,29	0,67	<b>2,70</b>	<b>1,66</b>	<b>2,02</b>	2,60	2,14	1,75

Märkused: M-keskmise amplituud, SD-standardhälve

Tabel 7. Eestlaste MMN komponent seerias 4.

Eestlased											
Seeria 4	Standard 3110		Deviant 1 2170			Deviant 2 3290			Deviant 3 2290		
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-2,40	1,59	-1,80	2,03	0,67	-1,30	1,19	1,21	-0,90	1,67	1,48
AF4	-2,30	1,70	-2,00	2,78	0,40	-1,30	1,50	0,94	-0,80	1,42	1,75
FC1	-1,60	1,49	-2,00	3,12	0,40	-1,50	2,07	0,13	-1,20	1,45	0,94
FC2	-1,50	1,54	-1,80	3,22	0,13	-1,50	2,04	0,40	-1,10	1,64	0,94
FC5	-0,40	0,70	-1,00	1,76	1,21	-0,40	1,40	0,40	-0,50	1,20	0,67
FC6	0,20	1,22	-0,40	2,24	0,67	-0,40	2,20	0,94	0,30	1,84	0,13
F3	-2,10	1,73	-2,50	2,84	0,40	-1,40	1,81	1,21	-1,40	1,84	1,21
F4	-1,90	1,76	-1,90	3,42	0,13	-1,70	2,15	0,40	-1,20	1,92	0,67
C3	-0,00	1,29	<b>-1,20</b>	<b>1,92</b>	<b>2,02</b>	-0,50	1,69	1,48	<b>-0,60</b>	<b>1,12</b>	<b>2,02</b>
C4	-0,30	1,26	-0,70	2,59	0,67	-0,80	2,01	1,21	-0,10	1,25	0,67
T7	1,60	0,75	1,30	0,90	0,13	1,50	0,57	0,13	<b>0,90</b>	<b>0,62</b>	<b>2,02</b>
T8	2,20	1,60	1,90	1,13	0,94	<b>1,20</b>	<b>1,61</b>	<b>2,02</b>	1,80	1,04	0,67

Märkused: M-kesmine amplituud, SD-standardhälve

Tabel 8. Soomlaste MMN komponent seerias 4.

Soomlased											
Seeria 4	Standard 3110		Deviant 1 2170			Deviant 2 3290			Deviant 3 2290		
Elektrood	M	SD	M	SD	Z	M	SD	Z	M	SD	Z
AF3	-1,24	1,69	-1,39	1,28	0,94	-0,66	1,77	1,48	-1,79	2,00	1,21
AF4	-1,72	1,68	<b>-2,50</b>	<b>1,45</b>	<b>2,02</b>	-0,27	1,85	1,75	-2,29	2,10	1,21
FC1	-1,15	1,29	<b>-1,65</b>	<b>1,17</b>	<b>2,02</b>	-1,27	1,25	0,13	-1,86	1,70	0,94
FC2	-1,53	1,24	-1,76	1,24	0,67	-1,29	0,82	0,67	-2,17	1,99	1,21
FC5	-0,25	1,30	-0,20	1,75	0,13	-0,42	1,85	0,13	-0,68	2,03	0,67
FC6	-0,40	1,38	-0,46	1,62	0,40	0,14	1,67	1,48	-0,99	1,99	0,67
F3	-1,27	1,50	-1,62	1,18	0,94	-1,21	1,64	0,40	-1,80	1,72	0,94
F4	-1,49	1,25	<b>-2,43</b>	<b>1,30</b>	<b>2,02</b>	-1,32	2,00	0,40	-2,17	1,72	1,21
C3	-0,34	1,04	-0,39	1,06	0,13	-0,71	1,71	0,94	-0,82	1,50	0,94
C4	-0,46	0,75	-0,84	1,14	1,21	0,04	1,28	1,21	-0,59	1,74	0,13
T7	1,78	1,87	2,66	2,45	1,21	2,28	3,57	0,40	1,54	2,99	0,67
T8	1,32	1,41	2,30	2,34	1,21	2,28	2,81	0,94	1,86	2,78	0,67

Märkused: M-kesmine amplituud, SD-standardhälve

*Käesolevaga kinnitan, et olen korrekselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.*

*Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.*

*Maris Raudlam*