

Vokaalide ja klusiilide intensiivsussuhted laulmisel teksti arusaadavuse mõjutajana

Allan Vurma

Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia muusikateaduse professor
allan.vurma@eamt.ee

Tuuri Dede

Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia doktorant
tuurielo@gmail.com

Veeda Kala

Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia doktorant
veeda.kala@eamt.ee

Einar Meister

Tallinna Tehnikaülikooli keeletehnoloogia laboratooriumi vanemteadur
einar.meister@taltech.ee

Lya Meister

Tallinna Tehnikaülikooli keeletehnoloogia laboratooriumi teadur
lya.meister@taltech.ee

Marju Raju

Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia muusikateaduse osakonna teadur
marju.raju@eamt.ee

Jaan Ross

Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia muusikateaduse emeriitprofessor
jaan.ross@gmail.com

Teesid: Klassikalisel laulmisel on tihti probleemiks lauldava teksti arusaadavus. Käesoleva uurimuse eesmärgiks on kontrollida hüpoteese, et (1) võrreldes tavali- se kõnelemisega kalduvad ooperlikult valjul laulmisel helitud klusiilid intensii- vistuma proportsionaalselt vähem kui vokaalid, mistõttu klusiilide tuvastamine muutub raskemaks, ja et (2) klusiili intensiivsem häädamine laulmisel parandab selle tuvastatavust. Viie professionaalse laulja poolt esitatud romantilise perioo- di itaaliakeelsete ooperiaariate esituste analüüsimisel selgus, et võrreldes aaria teksti lugemisega olid lauldud vokaalid keskmiselt 14,2 dB, kuid /k/, /p/ ja /t/ vaid 7,1 dB intensiivsemad. Kuuekümne osalejaga tajukatses parandas intensiivsem klusiilide häädamine nende äratundmist üldiselt vaid siis, kui stiimulid esitati reverbereeruva akustikaga ruumis ja/või koos saate- ning ansamblipartnerite produtseeritud helisid imiteeriva roosa müraga. Juhusest kõrgem klusiili tuvasta- tavus võis teatud juhtudel säilida ka siis, kui selle eksplosiooniosa asendas vaikus.

Märksõnad: helitud klusiilid, klusiili eksplosioon, maskimine, ooperlik laulmine, reverberatsioon, teksti arusaadavus, vokaalide ja konsonantide intensiivsus

Tihti täheldatakse probleeme lauldavast tekstist arusaamisega (Miller 1996: 26; Roolaid 1988: 26–27). Vajakajäämisi laulja keelelistes oskustes on peetud ebaadekvaatse intonatsiooniga samaväärseks puuduseks (Adams 2008) ning arusaadavalt lauldud sõnu sama oluliseks kui head hääletämbrit (Appelman 1986: 171–172). Lauljatele pole aga sõnade selge edasiandmise ülesanne lihtne, sest “kui tekitada erinevaid helikõrgusi samaaegselt sõnade hääldamisega, siis viiakse samaaegselt läbi kahte eraldiseisvat tegevust” (Brown 1996: 101).

Teksti laulmine ja selle esitamine kõneldes on paljudes aspektides sarnased – nii kõneldud kui lauldud teksti võime vaadelda üksikute häälikute jadana, mille artikuleerimiseks kasutatakse hingamissüsteemist, kõrist ja vokaaltraktist koosnevat hääleaparaati (Miller 1996: 50–51). Samas erineb laulmine kõnelemisest mitmel moel: muusika dikteerib hääle kõrguse, kasutatav hääle kõrguslik ulatus on tüüpiliselt palju laiem ja võib hõlmata helikõrgusi laulja hääleaparaadi füsioloogiliste piirideni. Ka tempo ja helide kestused on laulmise puhul muusika poolt suurel määral ette kirjutatud, ehkki kõnelemise seisukohast tundub tulemus sageli ebaloomulik (Miller 1996: 52). Erinevalt kõnelemisest on laulmisel suurema tähelepanu ja täpsema kujundamise all hääle tämber (Bloem-Hubatka 2012: 123). Tämbritelised eelistused võivad seejuures olla erinevate laulužanrite puhul üsna erinevad (Fisher & Kayes *et al.* 2021). Ka kasutatav hääle intensiivsuse ala on laulmisel tihti palju avaram kui kõneldes (Miller 1996: 52). Laulja oskus produtseerida häält valjult või väga valjult (näiteks klassikalise ooperistiili puhul) võib osutada ülioluliseks, kostmaks suurtes saalides orkestrist üle. Muusikast tulenevad piirangud pole siiski jäigad ning interpretatsiooniline vabadus teatud piirides on musitseerimise loomulik osa (Friberg 1991).

Kõneldud ja lauldud tekstide arusaadavuse teema käsitlemiseks peaksime omama ettekujutust sellest, kuidas hääleorganite abil produtseeritud teksti tajutakse ja milline peaks olema häälikute kõla, et arusaadavus oleks piisavalt hea. Erinevate kõnetaju teooriate järgi on siin olulised nii alt-üles (*bottom-up*) kui ka ülalt-alla (*top-down*) tüüpi protsessid. Osade uurijate arvates on teksti hääldamisel artikulaatorsete liigutuste eesmärgiks spetsiifiliste akustiliste sündmuste produtseerimine (Guenther 1995; Guenther, Hampson & Johnson 1998; Houde & Jordan 1998; Perkell & Matthies *et al.* 1997; Perkell & Matthies *et al.* 1995; Savariaux & Perrier *et al.* 1995). Alternatiivse vaateviisi – motoorse teooria (*motor theory*) kohaselt on väljundiks teksti produtseerimisel, aga samuti

juhtlõngaks selle tajumisel hoopis artikulatoorne žest ise (Lindblom & Lubker *et al.* 1979; MacNeilage 1970; Saltzman & Munhall 1989). Kõik tajuteooriad möönavad siiski, et vähemalt mingisugune akustiline väljund on kõne tajumiseks vajalik (Behrman 2018: 409).

Laulmises ja ka laulmise teaduslikul uurimisel pälvivad vokaalid tihti suuremat tähelepanu kui konsonandid, sest lauluhääle tämber moodustub eelkõige just vokaalide kõlast (Miller 1996: 20). Vokaalmuusikas tüüpiliselt pikeneb vokaalide kestus võrreldes sama teksti kõnelemisega (Sundberg 1987). Vokaalide prominentsuse tõendiks laulmises võiks pidada ka seda, et kui lauldav silp algab konsonandiga, millele järgneb vokaal, siis lauljad tüüpiliselt ajastavad just vokaali, mitte aga konsonandi alguse samaaegselt muusikalise löögi algusega. Vastavale vokaalile eelnevat konsonanti hääldatakse aga veidi enne selle löögi algust. Järjestikuste silpide korral tähendab see, et konsonant mõne silbi alguses võib ajalisel osutuda paiknevaks antud silbile eelneva silbi lõpus (Sundberg 2004).

Vokaalidest arusaadavuse tagamises leidub neid tegureid, mida laulja saab kontrollida, kui ka selliseid, mis on laulja kontrolli alt väljas (Fine & Ginsborg 2014). Näiteks väheneb arusaadavus sedamööda, kuidas põhitoon (helikõrgus) kasvab (Di Carlo & Germain 1985; Gottfried & Chew 1986; Hollien & Mendes-Schwartz *et al.* 2000; Joliveau & Smith *et al.* 2004; Gregg & Scherer 2006; Smith & Wolfe 2009; Deme 2014; Qu & Sun *et al.* 2020). Sellest tulenevalt osutub sageli naishääle puhul vokaali kvaliteedi tuvastamine raskemaks kui meeshääle puhul, sest naiste hääleulatus ala paikneb meeste omast kõrgemal. Kõrge põhitooni puhul on osahelide vaheline distantis hääle spektris suur. Seetõttu ei pruugi nad sattuda piisavalt lähedale ühele või teisele vokaaltrakti resonantsagedusele, et tekitada kuulaja jaoks resonantsageduste paiknemise ja seega ka hääldatava vokaali tuvastamise akustiline juhtlõng (Sundberg 1987: 124).

Kui vokaalidest oleneb suurel määral lauluhääle üldine kõlavus, siis konsonantide kanda on vokaalidest enam funktsionaalne koormus teksti arusaadavuse tagamiseks (Fletcher 1929; Ware 1998: 171). Konsonantide omadusi laulmises pole peaaegu üldse uuritud. Kirjandusest võib leida küll mõningaid vokaalpedagoogide seisukohti, kuidas tuleks konsonante hääldada, et tagada lauldavast tekstis hea arusaadavus. Need seisukohad võivad olla aga üksteisega vastuolus. Näiteks on Clifton Ware (1998: 172), Van Ambrose Christy (1967), William Vennard (1967), James Melton (1953) ja Sonia Sharnova (1947) väitnud, et konsonante tuleks arusaadavuse parandamiseks hääldada reljeefsemalt (Ware kasutab siin näiteks termineid *strongly energize* ja *exaggerate consonant articulation*), kuid Viktor Fuchs (1964), Madeleine Marshall (1956) ja Ralph Morse Brown (1946) on leidnud, et lauljad peaksid vastupidi sellest hoiduma. Vennard (1967: 182) on väitnud, et hea diktsiooni saavutamiseks ei

tohiks lauljad panna liialt suurt rõhku legatole, kuid Richard Milleri (1996: 25) arvates hävitab vigane diktsioon legato ja lammutab heaks laulmiseks vajaliku vokaaltehnilise konstruktsiooni.

Käesolevas töös püüame uurida, kas lauldava teksti arusaadavuse probleemide tekkimise üheks põhjuseks ooperlikul laulmisel võiks olla vokaalide ja mõnede konsonantide (siin töös kitsama tähelepanu all helitute klusiilide) intensiivsuste vahekorra muutumine konsonantide kahjuks võrreldes sama vahekorraga kõnelemisel. Sellisele võimalusele on osutanud Nicole Scotto Di Carlo (2007), kuid ilma selge viiteta konkreetsele uurimistööle.

Helitute klusiilide hääldamisel saame eristada (1) sulu osa, kus õhu läbipääs on täielikult tõkestatud, kas huuli sulgedes (/p/ puhul) või tekitades sulu keele ja suulae vahel ülemiste hammaste sompude juures (/t/ puhul) või pehme suulae juures (/k/ puhul), ning (2) eksplosiooni osa, kus eelpoolkirjeldatud sulu avanemine tekitab plahvatuse sarnase müra (Eek & Meister 1996a). Helitute klusiilide hääldamisel häälepaelad ei võngu erinevalt vokaalidest ja ka näiteks klusiilidest /g/, /b/, /d/, kui neid hääldada heliliselt (mis on tüüpiline itaalia keele puhul).

Kui vokaalide intensiivsus oleneb põhiliselt häälepaelu võnkuma paneva õhusurve (tekitatakse kopsude abil) tugevusest nende all, siis helitute klusiilide eksplosiooniks vajalik õhurõhk saavutatakse hoopis suus paiknevat ruumi järsult vähendades (nt tõstes selleks järsult kõri). Kopsudest lähtuv õhurõhk ei pruugi siin mängida otsest rolli (Behrman 2018: 281). Seega vokaalide ja helitute klusiilide hääldamise intensiivust määravate mehhanismide teatud sõltumatus teineteisest saaks olla teoreetiline põhjus, miks hääle intensiivsust muutes võiksid /k/, /p/ ja /t/ ning vokaalide intensiivsus muutuda erineval määral.

Klusiilide äratundmisel võib lisaks eksplosiooni osale teatud rolli mängida ka vokaaltrakti formantsageduste liug ehk siire konsonandi hääldamise positsioonist (mille puhul kasutatakse terminit “lookus”) konsonandile järgneva vokaali positsiooni (Deme 2014; Eek & Meister 1996b). Lisategurid ooperlikul laulmisel, mis samuti võiksid häirida lauldavast tekstis arusaamist, on nii kontserdi- või ooperisaali reverberatsioon kui ka laulja häält osaliselt või täielikult maskida võiv muusikainstrumentide saade ja ansamblipartnerite poolt produtseeritud helid (Meyer 2009: 10–13).

Käesolev uurimus koosneb kahest etapist. Esimese etapi (mis valdavalt põhineb viie eesti emakeelega vokalisti esituste analüüsimisel) eesmärgiks on välja selgitada, kas vokaalide ja helitute klusiilide intensiivsuste suhe ooperlikul laulmisel kaldub võrreldes rääkimisega vokaalide kasuks suurenema. Kui vastav tendents leiab kinnitust, siis on töö teise etapi eesmärgiks leida, kas helitute klusiilide eksplosiooni produtseerimine intensiivsemalt parandab klusiilide äratundmist ning seeläbi lauldava teksti üldist arusaadavust. Olgugi

et intuiitiivselt võiks oodata viimasele küsimusele jaatavat vastust, on eelpool kirjeldatud vokaalpedagoogilised seisukohad selles osas siiski vastuolulised, mis põhjendab vajadust käesolevaks uurimistööks.

Sisuliselt töö esimese etapi juurde kuulub ka vastava peatüki lõpus kirjeldatud väiksema mahuga lisauuring, kus püütakse meid huvitavas aspektis võrrelda eesti ja itaalia vokalistide esitusi, kasutades itaalia lauljate puhul ühe teise uurimuse raames veebirepotooriumis avalikult kättesaadavaks tehtud salvestisi.

I etapp

I meetod – lauldud ja loetud tekstide akustiline analüüs ja võrdlus

Salvestised

Viiel klassikalise häälekoolitusega professionaalsel eesti emakeelega lauljal (sopran, metsosopran, tenor, bariton ja bass) paluti laulda itaaliakeelne romantilise perioodi ooperiaaria nende repertuaarist (vt tabel 1) nii nagu nad esitaksid selle ooperilaval. Seejärel paluti lauljatel lugeda häälega sellesama aaria tekst stiilis, mis sarnaneks rääkimisele tavalises vestluses. Lauljaid taustati väikeses summas kinkekaardiga. Kõik osalenud lauljad on rahvusvahelise esinemiskogemusega, kolm nendest esinevad pidevalt kandvate rollidega Eesti ooperilavadel. Ooperilauljate *curriculum* hõlmab süvendatud läbi terve õpinguteaja kestvat itaalia keele kursust, kus on oluline rõhk aktsendivaba häälduse omandamisel. Otsustasime kasutada itaaliakeelset materjali, kuna euroopa klassikaline laulukultuur oma ajaloolises arengus põhineb suurel määral just itaalia keelel ning see on laulumaaailmas igapäevaselt kasutusel ning vähemalt foneetilistes põhialustes tuttav nii lauljatele, vokaalpedagoogidele kui ka haritud publikule kogu maailmas. Eestikeelse materjali kasutamisel oleks meie uurimistulemuste kõnekus olnud väljaspool eesti kultuuri marginaalsem.

Kõiki siin kasutatud aariaid iseloomustab pigem rahulik tempo ja lai dünaamiline ulatus, mis hõlmab nii väga vaikselt (*pp*) kui ka väga valjult (*ff*) lauldud löike. Kõikides aariates on samuti rakenduses lai vastava hääleliigi hääleulatust peaaegu täiel määral hõlmav helikõrguslik ala.

Esitused salvestati Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia madala reverberatsiooniajaga helistuudios ($T_{30} = 0,2$ s) sülearvuti *Dell Latitude 5400* kõvakettale välise USB helikaardi *Audient ID4* vahendusel, kasutades tarkvara *Sopran 1.0.20* ja samplimissagedust 44100 Hz. Salvestamisel kasutati ringkarakteristikuga mikrofoni *DPA SC4061-FM*, mis kinnitati meditsiinilise teibiga laulja põsele tema suunurgast umbes 3 cm kaugusele (sarnaselt sellele, kuidas taolisi

mikrofone kasutatakse etendustel). Selleks, et oleks võimalik saada informatsiooni laulja poolt produtseeritud helide intensiivsuste absoluutväärtuste kohta, viisime iga laulja puhul läbi kalibreerimise helirõhutaseme mõõturi *UNI -T UT352* abil, mille mikrofoni paigutasime selleks 30 cm kaugusele laulja suunurgast. Kalibreerimisel kasutasime lineaarset (dBC) sageduskarakteristiku korrigeerimist, mida on soovitanud näiteks kliinilistel hääleuuringutel kasutada Youri Maryn ja Andrzej Zarowski (2015), sest see kirjeldab hääle intensiivsust selle produtseerimise aspektist adekvaatsemalt kui dBA korrigeerimine.

Täiendav ülesanne: aaria teksti lugemine valjemalt oraatorlikus stiilis

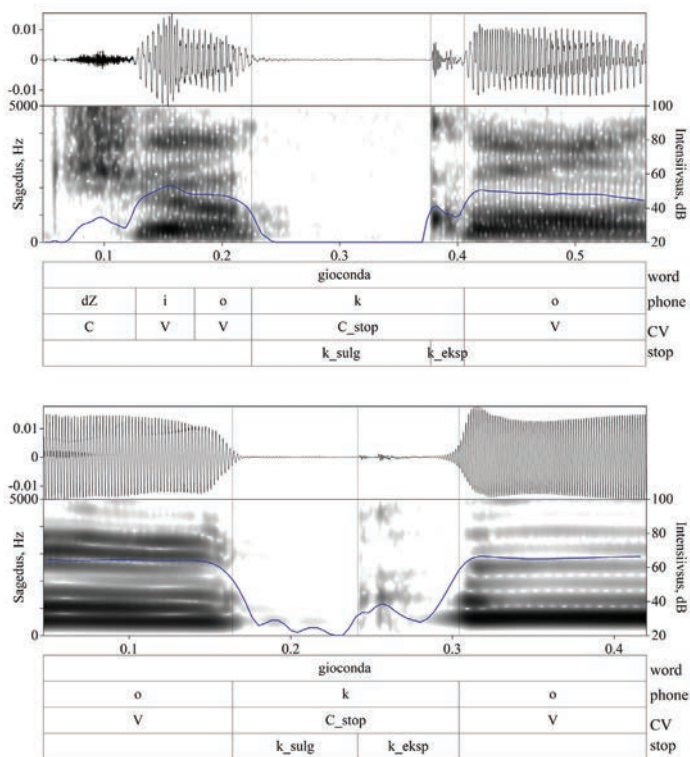
Kui oletada, et ooperlikul laulmisel kasvab vokaalide intensiivsus sulghäälikute intensiivsusega võrreldes rohkem kui kõnes, siis võiksime samuti oletada, et selline intensiivsuste vahekorra muutumine leiab aset ka valjemalt rääkides. Selle hüpoteesi kontrollimiseks palusime lauljatel sooritada lisäülesande, kus nad pidid lugema aaria teksti oraatorlikus stiilis nii nagu nad esitaks teksti laval esinedes. Lisäülesande sooritas neli lauljat (sopran, metsosopran, tenor ja bariton).

Tabel 1. Ooperiaariad, mille esituste salvestised segmenditi häälikute kaupa koos vastavate intensiivsuste mõõtmisega.

Hääleliik	Tegelaskuju	Aaria	Ooperi pealkiri	Helilooja
Sopran	Adriana	<i>Ecco respiro appena</i>	Adriana Lecouvreur	Francesco Cilèa
Metsosopran	Santuzza	<i>Voi lo sapete</i>	Cavalleria rusticana	Pietro Mascagni
Tenor	Carlo	<i>Linda! Si ritirò</i>	Linda di Chamounix	Gaetano Donizetti
Bariton	Belcore	<i>Come Paride vezzoso</i>	L'Elisir d'amore	Gaetano Donizetti
Bass	Philip II	<i>Ella giammai m'amò</i>	Don Carlos	Giuseppe Verdi

Salvestiste segmentimine ja häälikute intensiivsuste mõõtmine

Uurimismaterjali segmentisid ja märgendasid kaks suurte kogemustega uurijat, kasutades programmi *Praat* (Boersma & Weenink 2022) ja ühtseid kokkuleppelisi reegleid, mis lähtuvad eri häälikute artikulatoorsetest ja akustilistest omadustest. Esmalt segmentiti salvestised fraasi, sõna ja hääliku tasandil, seejärel lisati CV-kiht, kus segmentide piirid dubleerivad häälikukihi piire, klusiilid on tähistatud märgendiga C-stop, muud konsonandid ja vokaalid vastavalt C ning V. Lisaks loodi *stop*-kiht, kus klusiilid on jagatud kaheks eraldi segmentiks – sulufaasiks ja eksplosiooni- ehk avanemisfaasiks. Kõnesegmentide piirid on leitud visualiseeritud helilaine ja selle spektrogrammi põhjal ning kontrollitud kuuldeliselt. Häälikute märgendamisel on kasutatud itaalia keelele kohandatud fonemaatilist SAM-PA transkriptsiooni¹, sõna- ja fraasitasandi märgendus on ortograafiline (joonis 1).



Joonis 1. Soprani loetud (ülemine paneel) ja lauldud (alumine paneel) sõna *gioconda* segmentimise näited. Kummagi paneeli ülimes osas on visualiseeritud helilaine ja spektrogramm, alumises pooles märgenduskihid (phrase, word, phone, CV ja stop) koos vastavate märgendite ja segmentipiiridega. Kuigi nii loetud kui lauldud /k/ on ligikaudu ühesuguse intensiivsusega, siis lauldud versioonis jääb /k/ talle järgneva /o/ kõrval palju nõrgemaks, sest lauldud versioonis on /o/ loetud versiooniga võrreldes umbes 16 dB intensiivsem. Häälikute intensiivsust näitab spektrogrammil sinine kõver. Intensiivsuste väärtused on joonisel esitatud kalibreerimata kujul.

Signaalide akustiliseks analüüsiks koostati *Praat*'i skript, mis mõõdab erinevate kõnesegmentide (häälikud, klusiili sulu- ja avanemisfaas) kestusi ja intensiivsusi ning salvestab tulemused tabelina edasiseks statistiliseks töötamiseks. (Käesolevas artiklis keskendume vaid intensiivsuste analüüsimisele.)

Loetud või lauldud tekstis üksikute häälikute intensiivsuse kirjeldamisel vaid ühe seda iseloomustava arvulise väärtuse abil põrkume kahe metodoloogilise probleemiga. Esiteks ei olene heli tajutav intensiivsus üksnes heli sageduskomponentide amplituudist, vaid ka heli kestusest. Lühikesi, alla 200 ms kestusega helisid tajutakse pikematest samasuguse amplituudiga helidest vaiksena (Howard & Angus 2006: 89). Samuti kaldub kuulmissüsteem integreerima ja mitte tajuma intensiivsuse muutusi, mis jäävad ligikaudu 200 ms pikkuse akna sisse. Klusiilide eksplosiooniosa tüüpiline kestus on sellest suurusjärgu võrra väiksem (Behrman 2018: 285). Seetõttu saab klusiili eksplosiooni intensiivsuse mõõtmisel registreeritud väärtus iseloomustada selle tegelikult tajutud valjust vaid ligikaudselt.

Teine metodoloogiline probleem tekib sellest, et ka vokaalide intensiivsus ei pruugi vokaali terve kestuse jooksul olla stabiilne. Vokaalide kestus eriti laulmisel on sageli oluliselt pikem kui 200 ms, mistõttu sel puhul võib intensiivsuse muutumine vokaali kestuse jooksul olla ka tajutav.

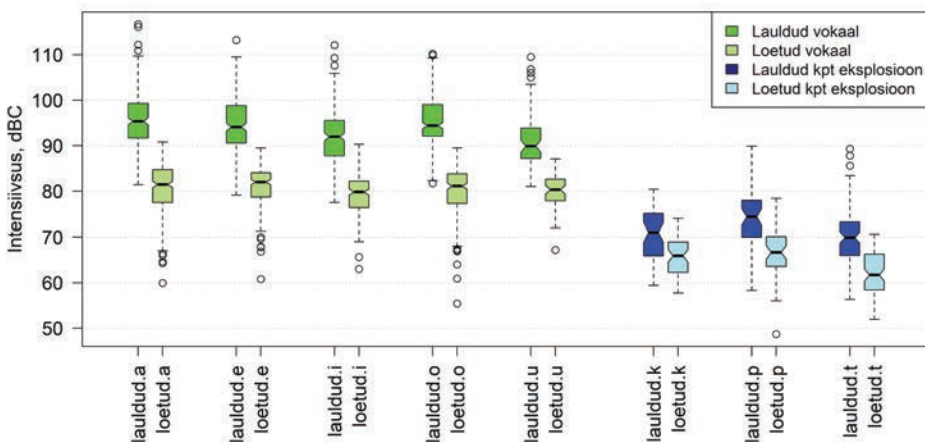
Programmis *Praat* toimub kuvatava intensiivsuskõvera silumine Gaussi kõvera kujulise akna abil, mille laius tuleneb programmis *Praat* helikõrguse arvutamise seadetes määratava minimaalse helikõrguse väärtusest (*Praat manual*²). Intensiivsuse arvutamisel osutus otstarbekaks fikseerida selleks väärtuseks 300 Hz (*Praatis* vaikeväärtus 100 Hz), mis muutis silumisakna ajaliselt lühemaks, võimaldades nii selgemini *Praati* poolt kuvataval intensiivsuskõveral eristada klusiili eksplosioonist tekkiva plahvatusliku tõuke intensiivsust sellele järgneva vokaali intensiivsusest. Klusiili eksplosiooni intensiivsusest registreerisime väärtuse eksplosiooniosa esimese neljandiku keskel, mille kujunemisel mängis peamist rolli eelpoolkirjeldatud plahvatuslik tõuge, mitte aga järgnev vokaal.

Vokaalide intensiivsusest registreerisime vastava vokaali intensiivsuse keskmise väärtuse segmentimisel määratud aknas. Seetõttu võis teatud juhtudel, kui klusiiliga külgnava vokaali algusosa oli intensiivsem kui selle lõpuosa, vokaali ja klusiili intensiivsuste erinevus klusiili vahetus ajalisel läheduses osutada suuremaks kui see, mida väljendasid mõõdetud väärtused. Teistel juhtudel, kui vokaal muutus intensiivsemaks alles selle lõpuosas, oli võimalik ka vastupidine olukord. Kõigile mõõdetud intensiivsuste väärtustele lisasime lauljate individuaalsed kalibreerimisprotsessis määratud parandustegurid.

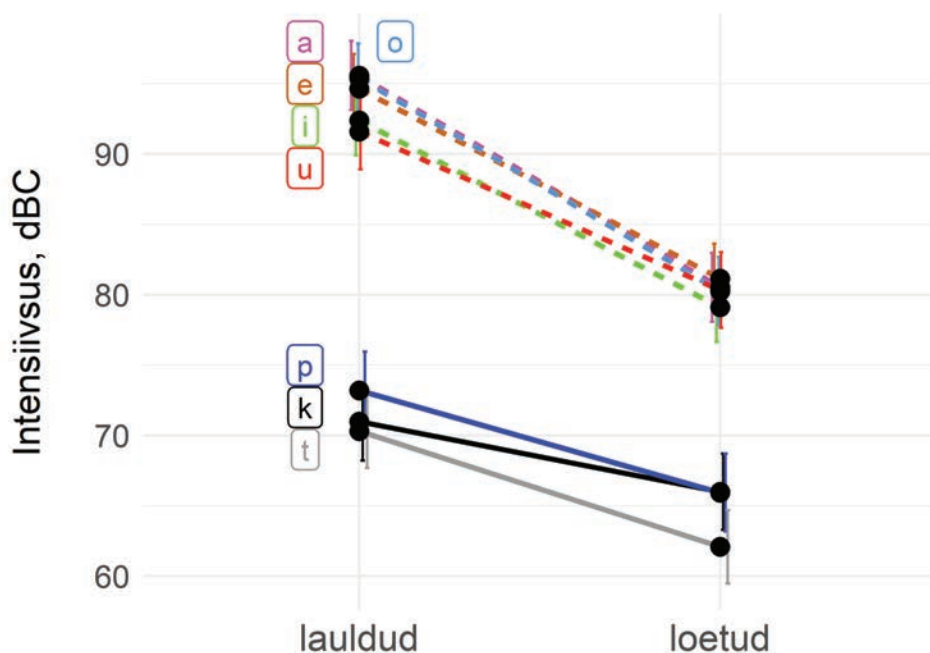
Tulemused I

Joonisel 2 on toodud häälikute intensiivsused karpdiagrammidena nii üksikute vokaalide (märgitud rohelisega) ja klusiilide (märgitud sinisega) kui ka lauldud (eredam värv) ja loetud (tuhmim värv) esituste kaupa. Igasse karpdiagrammi on ühte koondatud kõigi viie laulja esituste andmed. Näeme, et keskmiselt produtseeriti kõik uuritud häälikud intensiivsemalt laulmisel (keskmine vokaalide intensiivsus 94,5 dB (standardhälve 6,2 dB) võrreldes 80,3 dB-ga lugemisel (standardhälve 5 dB)). Maksimaliselt ulatus kõige tugevamalt lauldud vokaali intensiivsus 117 dB-ni ja loetud vokaali puhul 90,8 dB-ni. Klusiilide keskmine intensiivsus laulmisel oli 71,5 dB (standardhälve 6,3 dB) ja lugemisel 64,4 dB (standardhälve 5,3 dB).

Tuletame meelde, et vastavad väärtused kirjeldavad heli intensiivsust mõõdetuna 30 cm kaugusel laulja suuavast ja et intensiivsuste kalibreerimisel kasutatakse dBC sageduskorrektsiooni, kus madalate ja kõrgete sageduskomponentide mõju ei vähendata (erinevalt veidi sagedamini kasutatavast dBA korrektsioonist). Kuna otseheli intensiivsus kahaneb kauguse kahekordistudes alati vähemalt 6 dB võrra (Howard & Angus 2006: 30), siis näiteks 80 dB heliintensiivsus 30 cm kaugusel hääle allikast kahaneb sellest kahe meetri kaugusel 63,5 dB-ks. Laulmisel muutub hääle tüüpiliselt intensiivsemaks ka kõrgematel nootidel, sest kõrgema hääle produtseerimiseks peavad häälepaelad olema pingsamad ning vajavad seetõttu võnkumise tekitamiseks ja selle alalhoidmiseks suuremat õhurõhku häälepaelte all (Titze 1989). See omakorda aga tõstab hääle intensiivsust.



Joonis 2. Loetud (tuhmim) ja lauldud (eredam) vokaalide (roheline) ja helitute klusiilide (sinine) intensiivsuste absoluutsed väärtused (kalibreerimisel kasutati dBC korrektsioonikarakteristikut). Vokaalid on võrreldes klusiilidega keskmiselt intensiivsemad ning laulmisel võrreldes lugemisega suureneb vokaalide intensiivsus rohkem, kui klusiilide intensiivsus.



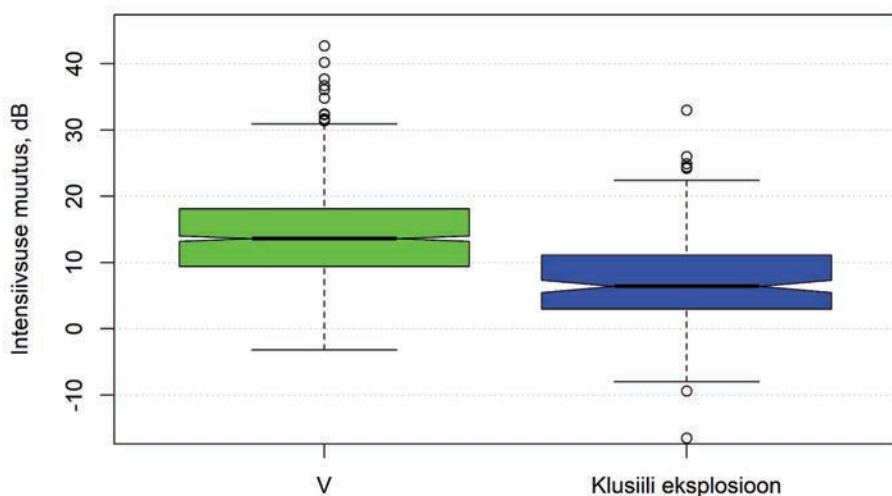
Joonis 3. Lineaarse regressiooni segamudeli poolt ennustatud häälikute keskmised intensiivsuse väärtused koos 95% usaldusvahemikega.

Tulemuste statistiliseks analüüsiks koostati lineaarse regressiooni segamudel, milles uuritavaks tunnuseks on hääliku kalibreeritud intensiivsus ja selgitavateks tunnusteks esituse tüüp (kõne või laul), häälik ja nende vastastikmõju, juhuslikuks muutujaks on laulja. Mudel selgitab ca 80% tunnuste variatiivsusest ($R^2 = 0,81$), selle väljundnäitajad on esitatud tabelis 2. Näeme, et vokaalid /a/, /e/ ja /o/ on produtseeritud keskmiselt kolme dB võrra intensiivsemalt võrreldes vokaalidega /i/ ja /u/ (vt ka joonised 2 ja 3), erinevus vokaalide intensiivsustes oli statistiliselt oluline nii laulmisel kui ka lugemisel. Vastav tendents on kooskõlas ka Ettien Koffi (2020) esitatud teiste analoogsete uurimuste tulemustega.

Ka kolme klusiili keskmised intensiivsused olid üksteisest pisut erinevad: teistest veidi intensiivsemalt kalduti produtseerima klusiili /p/, teksti lugemisel ka klusiili /k/, klusiili /t/ intensiivsus oli nii laulmisel kui lugemisel teistest väiksem ($P < 0,001$) (vt sinised karpdiagrammid joonisel 2).

Tabel 2. Lineaarse regersiooni segamudeli väljundnäitajad.

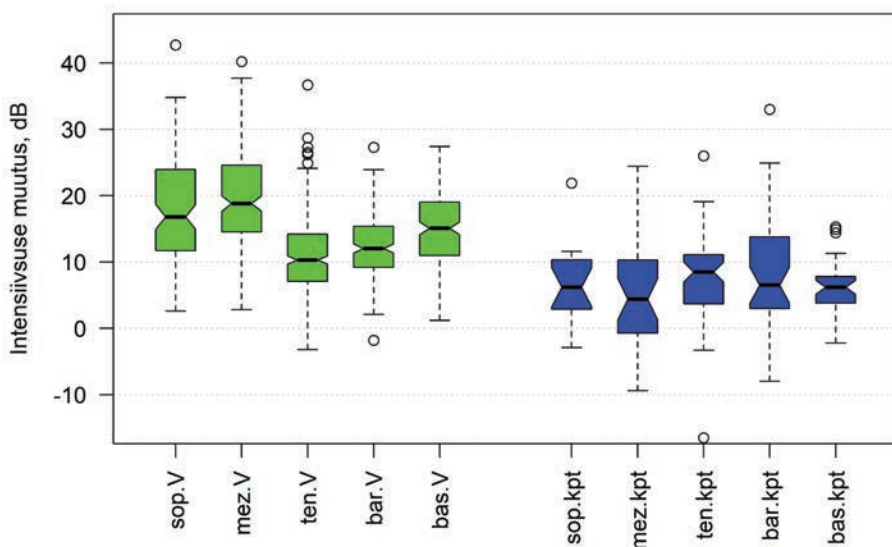
	Väärtus	Standardviga	Vabadus- astmete arv	t-statis- tik	P
Baastase (lauldud /a/-vokaal)	95,58	1,25	5,56	76,46	< 0,001
loetud a	-15,05	0,44	2337,98	-34,61	< 0,001
e	-0,94	0,46	2338,16	-2,03	0,043
i	-3,19	0,46	2338,1	-6,91	< 0,001
o	-0,18	0,44	2338,05	-0,41	0,685
u	-3,98	0,71	2338,12	-5,57	< 0,001
k	-24,59	0,79	2338,09	-31,07	< 0,001
p	-22,37	0,78	2338,1	-28,78	< 0,001
t	-25,28	0,62	2338,02	-40,72	< 0,001
loetud: e	1,56	0,65	2337,98	2,4	0,016
loetud: i	1,79	0,65	2337,98	2,74	0,006
loetud: o	-0,1	0,62	2337,98	-0,16	0,871
loetud: u	3,78	1	2337,98	3,78	< 0,001
loetud: k	10,06	1,08	2337,99	9,36	< 0,001
loetud: p	7,79	1,1	2337,98	7,09	< 0,001
loetud: t	6,83	0,88	2337,98	7,79	< 0,001



Joonis 4. Vokaalide (vasakul) ja helitute klusiilide (paremal) intensiivsuse kasv laulmisel võrreldes lugemisega. Vokaalide intensiivsus kasvas keskmiselt 14,2 dB võrra, kuid /k/, /p/ ja /t/ intensiivsus vaid 7,1 dB võrra.

Joonisel 4 on näha, et vokaalide intensiivsus suurenes laulmisel võrreldes lugemisega keskmiselt 14,2 dB võrra, aga klusiilide intensiivsus vaid 7,1 dB võrra (üksikute häälikute kaupa võrdlemiseks vt joonis 2). Erinevus vokaalide ja klusiilide intensiivsuse juurdekasvus (7,1 dB) on statistiliselt oluline ($t = 13,1$; $P < 0,001$) ja peaks olema ka kuuldelselt selgelt tajutav. (Koffi (2020) andmetel on 3 dB erinevus selgelt tajutav, 5 dB erinevust väga selgelt tajutav ja 10 dB intensiivsuse juurdekasvu puhul suureneb heli tajutav valjus kaks korda.)

Seega leidis kinnitust hüpotees, et ooperlikul laulmisel (kus hääel on võrreldes kõnelemisega tüüpiliselt intensiivsem) suureneb vokaalide intensiivsus võrreldes helitute klusiilide intensiivsusega proportsionaalselt rohkem.



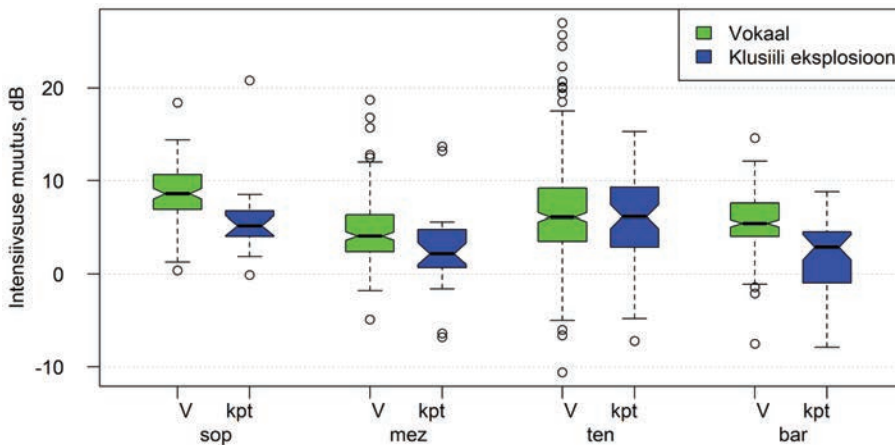
Joonis 5. Vokaalide ja klusiilide intensiivsuste muutused laulmisel võrreldes lugemisega lauljate kaupa.

Üksikute lauljate ettekandeid võrreldes võime siiski täheldada individuaalseid erinevusi konkreetsetes arvulistes väärtustes (vt joonis 5). Tendents, et vokaalide intensiivsus laulmisel kasvab rohkem kui klusiilide intensiivsus, oli tugevam naislauljate puhul. Nii näiteks laulis sopran vokaale keskmiselt 18 dB intensiivsemalt võrreldes lugemisega, kuid tema klusiilid olid laulmisel vaid 6,6 dB intensiivsemad (erinevus 11,4 dB). Metsosoprani puhul jäi klusiilide intensiivistumine laulmisel (keskmiselt 5,1 dB võrra) vokaalide intensiivistumisest (keskmiselt 19,2 dB võrra) maha veelgi rohkem (erinevus 14,1 dB). Samas tenori puhul suurenes vokaalide intensiivsus laulmisel keskmiselt

11 dB ja klusiilide intensiivsus 7,6 dB (erinevus vaid 3,4 dB). Baritoni puhul oli erinevus veelgi väiksem (vastavad näitajad 12 dB, 9,4 dB ja 2,6 dB). Bassi puhul suurenes vokaalide intensiivsus laulmisel võrreldes lugemisega keskmiselt 15 dB, klusiilide intensiivsus 7,1 dB ja erinevus nende vahel oli 7,9 dB.

Sellisel võrdlemisel peame silmas pidama, et konkreetsete väärtuste kujunemine võib oleneda konkreetsest aariast, näiteks, kas see sisaldab palju kõrgeid *fortes* lauldud noote või on loo tessituur pigem madal ning üldine dünaamika vaiksem. Nais- ja meeslauljate esituste võrdlemisel ei tohiks unustada ka seda, et naiste hääleulatus paikneb ligikaudu oktav meeslauljate hääleulatusest kõrgemal. Oluline võib olla ka kõnelemise ja laulmise stiil (dramaatilisem ja jõulisem versus lüürilisem ja leebem). Hoolimata erinevusest konkreetsetes arvulistes väärtustes oli kõigi viie laulja puhul ühine see, et vokaalide intensiivsus lauldud versioonis kasvas võrreldes kõneldud versiooniga rohkem kui klusiilide eksplosiooni intensiivsus.

Vokaalide ja klusiilide intensiivsus oraatorlikul lugemisel (lisäülesande puhul)



Joonis 6. Vokaalide ja /k/, /p/, /t/ intensiivsuste muutus oraatorlikul lugemisel võrreldes tavalise vestluse intensiivsusega nelja uuritud laulja puhul. Vokaalidel oli kalduvus intensivistuda klusiilidest proportsionaalselt rohkem, välja arvatud tenor, kelle puhul vastav erinevus oli marginaalselt väike.

Jooniselt 6 näeme, et ka siis, kui teksti vaid loetakse, kaldutakse oraatorlikuma esituse puhul intensiivistama vokaale klusiilidest enam. Vastav erinevus oli t - testi põhjal statistiliselt oluline kolme laulja puhul neljast, keda uurisime (soprani puhul $t = 3$, $P = 0,003$, metsosoprani puhul $t = 2,9$, $P = 0,004$, baritoni puhul $t = 6,6$, $P < 0,001$). Muutuse erinevuse arvuline väärtus jäi erinevate lauljate puhul keskmiselt siiski vaid 2–3,5 dB piiridesse (v.a tenor, kelle puhul vastav muutuse erinevus oli marginaalselt 0,5 dB). Seega kaldub oraatorlikul lugemisel vokaalide ja klusiilide intensiivsuste vahekord veidi muutuma suunas, mis on sarnane ooperlikule laulmisele.

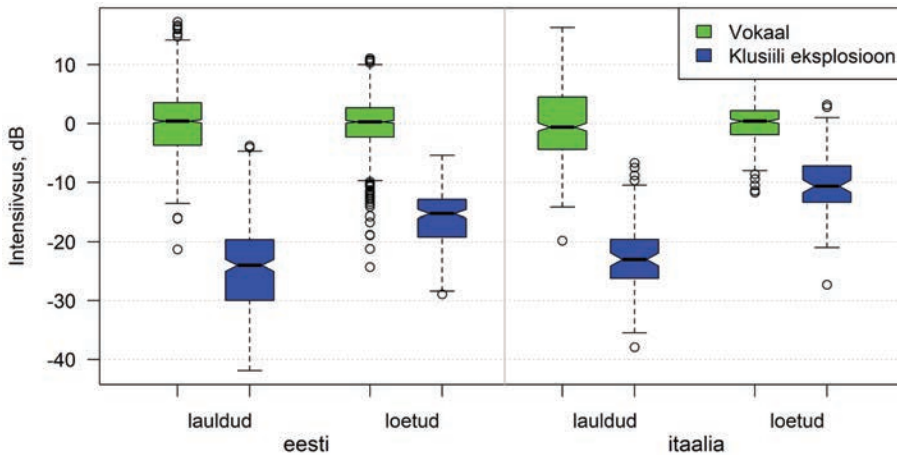
Kas häälikute intensiivsussuhted eesti ja itaalia lauljate puhul on samasugused?

Oma töös salvestasime eesti emakeelega lauljate esitusi. Samas võib tekkida küsimus, kas eelkirjeldatud tendentside esilekerkimine võiks oleneda ka laulja emakeelest. Selle võimaluse hindamiseks analüüsisime eesti lauljate esituste kõrval ka kolme itaalia päritolu laulja ooperiaariate orkestrisaateta esitusi, milleks olid G. Donizetti *Come Paride vezzoso* ooperist “Armujook” (bariton Giacomo Contro), G. Verdi *Di tale amor, che dirsi* ooperist “Trubaduur” (sopran Monica Boschetti) ja G. Puccini *O mio babbino caro* ooperist “Gianni Schicchi” (sopran Giorgia Paci). Nende kolme laulja emakeel on projekti tausta ja lauljate nimesid arvestades suure tõenäosusega itaalia keel. Esitused olid salvestatud Itaalias Bolognas ühe teise teadusprojekti raames ning nad on internetirepositooriumis vabalt kättesaadavad (D’Orazio 2016; 2020). Salvestamine oli läbi viidud madala reverberatsiooniajaga ($T15 = 0,07$ s) ruumis, kasutades professionaalset helitehnikat. Baritoni esitatud aaria Donizetti “Armujoojist” on seesama, mida esitas ka eesti laulja. Soprani aaria Verdi “Trubaduurist” on helikeelelt hüplik, kiire ja kerge, aaria Puccini “Gianni Schicchist” on lüüriline, õrn ja liikuv. Mõlemas aarias kasutatakse soprani häält laias helikõrguslikus ulatuses.

Vastavate salvestiste puhul puudub informatsioon heliintensiivsuste kalibreerimise kohta. Seetõttu meil pole võimalik teada üksikute häälikute intensiivsust absoluutsel skaalal. Saame siiski mõõta häälikute intensiivsuste omavahelisi suhteid ühe esituse piires ning võrrelda, kas need on samas suurusjärgus võrreldes analoogiliste suhetega eesti lauljate esituste puhul.

Bologna salvestiste puhul puudus võrdlusmaterjal ka loetud aariatekstide näol. Selleks, et siiski hinnata vokaalide ja klusiilide intensiivsussuhteid ka itaallaste endi itaaliakeelse kõne puhul, analüüsisime juhuslikke internetipõhiseid itaaliakeelseid kõnesalvestisi, mille originaalne eesmärk oli keeleõpetuslik³

ning mis on suure tõenäosusega sisse loetud itaalia keelt emakeele tasemel valdavate lektorite poolt. Ka nende salvestiste puhul polnud võimalik teada saada, millised olid häälikute intensiivsused absoluutsel skaalal, küll aga oli võimalik mõõta häälikute intensiivsuste omavahelisi erinevusi.



Joonis 7. Lauldud ja loetud vokaalide ning klusiilide intensiivsused eesti ja itaalia esitajate võrdluses. Intensiivsused on esitatud vastava grupi kõigi vokaalide keskmise intensiivsuse suhtes.

Meie analüüsi tulemused (vt joonis 7) näitasid, et vokaalide ja klusiilide intensiivsused lugemise ja laulmise võrdluses on eesti ja itaalia esitajate puhul väga sarnased. (Kuna itaalia esituste puhul polnud võimalik teada saada, millised olid häälikute intensiivsused absoluutskaalal, siis joonisel 9 on kõik intensiivsused esitatud normaliseerituna vastava grupi kõigi vokaalide keskmise intensiivsuse suhtes.)

Erinevus vokaalide ja klusiilide intensiivsustes lugemisel ja laulmisel on itaalia esitajate puhul eesti esitajatega võrreldes isegi veidi suurem. Seega näib, et meie töös käsitletav problemaatika on oma põhijoontes universaalne ning suhteliselt sõltumatu vokalisti keelelisest taustast. Meie hinnangut tuleks siiski kontrollida, kaasates analüüsi rohkem keeli.

Peame silmas pidama samuti, et eelkirjeldatud võrdlus on üsna tinglik ning metodoloogiliselt mitte kuigi tugev, sest itaallastest lauljad ja itaaliakeelse teksti lugejad olid erinevad isikud ning loetud tekst polnud identne lauldud tekstiga. Samas me oma töös ei väidagi, nagu muutuks vokaalide ja helitute

klusiilide intensiivsus laulmisel klusiilide kahjuks kõigil juhtudel. Toodud võrdlus toetab siiski meie seisukohta, et tendents selliseks muutuseks esineb teistegi kui vaid eesti keelt emakeelena rääkijate puhul.

II etapp

Töö esimese etapi tulemusena leidis kinnitust hüpotees, et ooperlikul laulmisel, võrreldes lauldava teksti lugemisega, kaldub vokaalide intensiivsus kasvama proportsionaalset rohkem, kui kasvab helitute klusiilide intensiivsus. Töö teises etapis on eesmärgiks leida, kas helitute klusiilide eksplosiooni intensiivsem häälde muudab laulmisel helitud klusiilid kuulajate tajus paremini ära-tuntavaks. Selleks viisime läbi tajukatsed.

II meetod – tajukatsed

Stiimulid

Stiimulite lähtematerjalina kasutasime professionaalse klassikalise häälekooliga metsosoprani poolt aeglaselt tempos lauldud häälikuühendeid /a-k-a/, /a-p-a/ ja /a-t-a/ helikõrgusel g^1 (põhitooni sagedus $f_0 = 392$ Hz). Ideeks oli kõigepealt tekitada stiimulite seeria, kus klusiilide eksplosiooniosa intensiivsus varieerub süstemaatiliselt, ja seejärel tekitada sellesama seeria baasil modifitseeritud seeriad, kus ruumiakustika mõju modelleerimiseks on stiimulitele lisatud reverberatsioon ning saateinstrumentide/ansamblipartnerite poolt produtseeritud helide mõju modelleerimiseks on lisatud sarnase spektraalse jaotusega müra. Olime valiku ees, kas (1) kasutada minimaalset hulka laulja poolt esitatud algvariante ja tekitada vajalikud variatsioonid stiimulite parameetrites neid algvariante helitöötluslike vahenditega süstemaatiliselt manipuleerides või (2) paluda lauljal kohe stiimulite salvestamise käigus produtseerida palju erinevaid stiimulite variatsioone, et siis hiljem valida nende hulgast sobivate omadustega stiimulid. Töö esimese etapi materjali analüüsimise põhjal ja tajukatse stiimulite salvestamise protsessis selgus, et klusiili häälde intensiivsuse muutmisega võisid kaasneda väikesed koartikulatoorse iseloomuga muutused nii klusiili kui ka sellega külgnevate vokaalide omadustes, mida on raske detailselt kirjeldada, kuid mis võivad siiski olla olulised stiimulite loomutruuduse seisukohalt. Mõned omadused olid ka klusiiliti veidi erinevad. Nii näiteks kaldus /p/ eksplosioon olema teistest statistiliselt veidi tugevam ja /k/ eksplosioon ajaliselt veidi pikem. Ka klusiilile järgneva vokaali atakiosa kuju ja ataki kestuses võis täheldada väikesed erinevusi sõltuvalt klusiilist

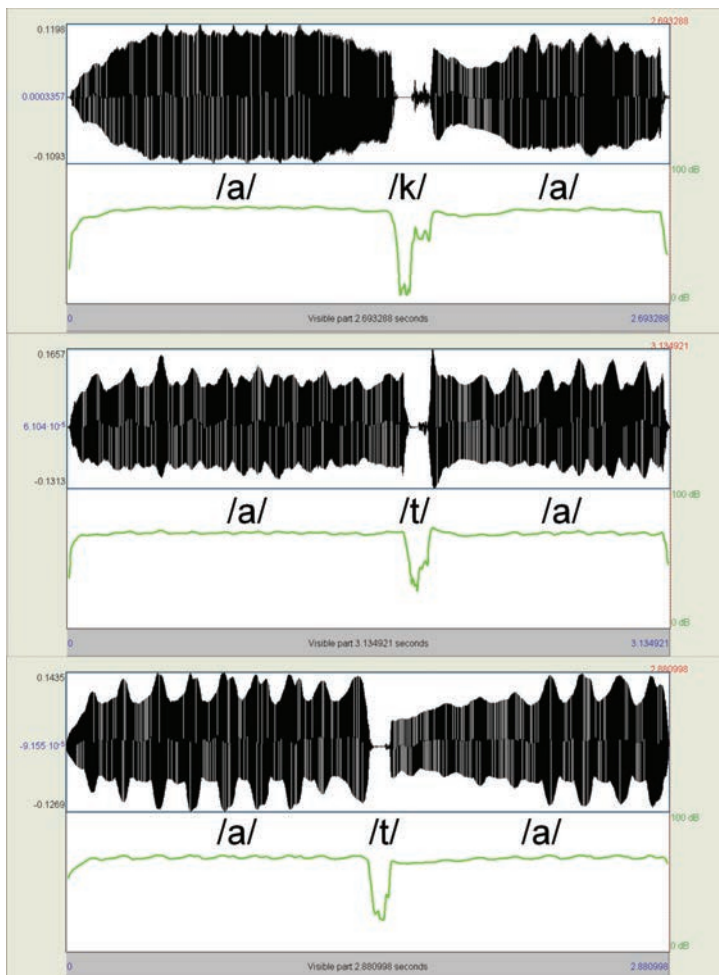
ja selle häälendamise intensiivsusest. Kui klusiil oli hääldatud vaiksemalt, oli klusiilile järgneva vokaali atakiosa tihti kujult laugjas ja suhteliselt madala intensiivsusega ning jõudis statsionaarse tasemeni umbes 0,5 sek jooksul (vt joonis 8, alumine paneel). Kui laulja produtseeris klusiili intensiivsemalt, algas järgnev vokaal järsuma ja ajalisel suhteliselt lühikese intensiivsustõukega, enne kui intensiivsus jõudis statsionaarse tasemeni (vt joonis 8, ülemine ja keskmine paneel). Intensiivsuse tõuge kaldus olema kujult teravam /t/ puhul, kuid veidi laugjam ja ajalisel pikem /k/ puhul. Seega esines reaalse laulja esituse puhul mitmeid koartikulaatorset tüüpi nähtusi, mille ignoreerimine tajukatsete stiimulite juures oleks halvendanud stiimulite loomutruudust, kuid mida oleks samas olnud keeruline täpsemalt kirjeldada ja modelleerida helitöötlusvahendite abil.

Seetõttu otsustasime tajukatsete stiimulite puhul ökoloogilise valiidsuse suurendamiseks teha valiku laulja poolt lauldud stiimulivariantidest, ning kasutada vajadusel stiimulite arvutustehnilist töötlemist, kuid püüda seda teha minimaalsel määral.

Stiimulite loomisel, kus eksplosiooniosa oli asendatud vaikusega (eksp_0), võtsime töötlemisel algmaterjaliks algselt kõige tugevama eksplosiooniga stiimulid (eksp_3), mille puhul oli iseloomulik klusiilile järgneva vokaali intensiivsustõukega atakiosa. Võiks oletada, et eemaldatud eksplosiooniosaga stiimuli puhul langeb klusiili tuvastatavus järsult, juhul kui juhtlõngana tajus mängib otsustavat rolli vaid see informatsioon, mis lähtub eksplosioonist. Kui tuvastamisel on eksplosiooni kõrval piisavalt olulised ka muud juhtlõngad, näiteks formantide siire ja klusiilile järgneva vokaali atakiosa, siis võime oletada, et juhtlõng nendest on mõjusam, kui klusiilile järgneva vokaali atakiosa on intensiivsem (eeldame, et ka vokaali atakiosas pole veel formantide siire lõppenud). Seega, eksp_0 stiimulitel puudus küll eksplosioon, kuid klusiilile järgneva vokaali atakiosa oli intensiivne, sarnaselt eksp_3 stiimulitele. Kui klusiilile järgneva vokaali algusosas sisalduvad juhtlõngad mängivad klusiili tuvastamisel olulist rolli, siis ei tohiks eksp_0 stiimulite korral tuvastamine langeda madalamale kui juhuslik valik (33%), ei pruugiks olla välistatud, et tuvastamine isegi paraneb, võrreldes näiteks eksp_1 stiimuliga, kus klusiilile järgneva vokaali algusosa poolt tekitatud juhtlõng võiks toimida laugjama ja nõrgema vokaali ataki tõttu vähem tõhusalt.

Veel kord lühidalt kokku võttes palusime tajukatsete stiimulite tekitamiseks lauljal laulda häälikuühendeid /a-k-a/, /a-p-a/ ja /a-t-a/ mitmeid kordi ja varieerida iga kord vastava klusiili produtseerimise intensiivsust. Valisime iga klusiili puhul välja kolm hääldusvarianti, kus eksplosioon oli hääldatud nõrgalt (eksp_1), keskmise intensiivsusega (eksp_2) ja tugevalt (eksp_3). Lisaks toimetasime *Praati* abil variandi, kus eksplosiooni osa oli eemaldatud ja

asendatud vaikusega (eksp_0). Stiimulite AKA eksp_3 ja ATA eksp_3 saamiseks manipuleerisime klusiili eksplosiooniosa intensiivsust, kuna salvestusseioonil laulja poolt naturaalselt produtseeritud variantide hulgas vajalike omadustega stiimuleid ei leidunud. Vastavate stiimulite saamiseks kasutasime stiimuleid AKA eksp_2 ja ATA eksp_2 tõstes nende eksplosioonide intensiivsust umbes 5 dB võrra. Nii saime stiimulid, kus ka klusiilide /k/ ja /t/ puhul oli nende eksplosiooniosa intensiivsus lähedane laulja enda poolt produtseeritud klusiili /p/ intensiivsusele stiimulis APA eksp_3 (vt ka tabel 3).



Joonis 8. Tajukatse stiimulite lainekuju AKA eksp_2 (üleval), ATA eksp_2 (keskel) ja ATA eksp_1 (all). Rohelised kõverad näitavad heli intensiivsuse muutumist. Näeme, et vokaalide /a/ vahele jääva klusiili eksplosioon on vokaalide intensiivsusest oluliselt madalam ja see peaaegu ei paista kõige alumisel paneelil. Klusiilile järgneva vokaali /a/ atakiosa kuju ja intensiivsus sõltus klusiilist ning selle produtseerimise intensiivsusest. Vokaali atakk oli kujult järsu algusega ülemisel ja keskmisel paneelil, kuid pikalt laugjas alumisel paneelil. Stiimulite keskmised intensiivsused üle stiimuli kestuse on helitötluslikult ühtlustatud, et vokaali /a/ helivaljus erinevate stiimulite puhul oleks suhteliselt sarnane.

Tabel 3. Klusiilide /k/, /p/, /t/ eksplosioonide intensiivsused tajukatsete stiimulites.

Stiimul	Eksplosiooni tähis	Eksplosiooni intensiivsus, dB
AKA	eksp_3	60
AKA	eksp_2	54
AKA	eksp_1	45
APA	eksp_3	63
APA	eksp_2	49
APA	eksp_1	43
ATA	eksp_3	54
ATA	eksp_2	49
ATA	eksp_1	41

Vokaalide /a/ keskmised intensiivsused kõigi stiimulite puhul jäid vahemikku 67–68 dB. Vastavad väärtused absoluutskaala suhtes on tinglikud ning olenesid katses osalenu individuaalsest valikust arvuti helisüsteemi seadistamisel.

Lisaks eelkirjeldatule toimetasime stiimuleid, nii et nende kestused oleksid ligikaudu ühesugused (3 s), et helikõrgus vastaks noodikõrgusele g^1 ning, et erinevate stiimulite üldine intensiivsuse tase (mis on määratud eelkõige vokaalide intensiivsusega) oleks ligikaudu samasugune. Selline toimetamine ei puudutanud klusiilide otsese tuvastamisega seotud juhtlõngu, aga oli vajalik selleks, et asjasse mittepuutuvad tegurid, nagu erinevus stiimulite kestuses või juhuslik helikõrguslik vajumine ning tõusmine, ei hakkaks tajukatsetes osalejate jaoks seostuma mingi konkreetse klusiiliga. Helikõrguse korrigeerimisel kasutasime kommertsiaalset tarkvara *Melodyne essential 5.3.0.011*,⁴ mis võimaldab helikõrgust muuta, ilma et sellega kaasneksid muutused tämbris. Vajalik korrigeerimise määr jäi maksimaalselt veerand tooni piiresse.

Nii saadud 12 stiimuli (3 klusiili × 4 eksplosioonivarianti) baasil genereerisime veel viis stiimulite seeriat, kus stiimulitele oli lisatud kirikute ruumiakustikat imiteeriv reverberatsioon ja/või saateinstrumentide poolt osalist maskimist imiteeriv roosa müra (vt tabel 4). Roosa müra spekter hõlmab osahelidid kõikvõimalikel sagedustel, kusjuures osahelide amplituud kahaneb nende statistilises jaotuses võrdeliselt osaheli sagedusega suurenemisega. Kasutasime roosat müra, sest selle spekter sarnaneb sümfooniaorkestri pikaajalise keskmise helispektri statistilisele jaotusele, kus alates sagedusest umbes 500 Hz langeb helienergia võrdeliselt sageduse tõusuga (Sundberg 1987: 122). Nii reverberatsiooni kui roosa müra lisamiseks stiimulitele kasutasime skripti *Praat Vocal Toolkit* (Correte 2021–2022).⁵ Reverberatsiooni puhul kasutasime skripti eelprogrammeeritud valikut “church” reverberatsiooni määraga kas 25% või 50%. Skriptis kasutatud algoritm muutis algsed monohelid stereohelideks.

Võib hinnata, et skripti abil modelleeritud reverbereeruva akustika ligikaudne reverberatsiooniaeg $T60$ oli 5 s. Kasutasime küllalt pika reverberatsiooniajaga kirikutele tüüpilist akustikat ja mitte kontserdisaalidele omast lühema reverberatsiooniajaga akustikat, kuna pikema reverberatsiooniaja puhul ilmnes meid huvitav mõju meie hinnangul reljeefsemalt. Samuti oli argumendiks teadustöö eetikast tulenev printsiip mitte koormata liigselt tajukatsetes osalejaid, mistõttu loobusime ideest laiendada stiimulite hulka, lisades tüüpilise kontserdisaali akustikas esitamist imiteerivad stiimulid.

Ruumis tekkiv heli koosneb otseheli komponendist, mida pole veel mõjutanud peegeldused ruumi piiretelt, ning mille intensiivsus kahaneb 6 dB kauguse kahekordistudes, varajastest vaid ühe pörkega peegeldustest ja korduvatest peegeldustest moodustuvast reverberatsiooni väljast. Reverberatsiooni välja statsionaarse taseme kujunemine võtab aega. Selle intensiivsus on ühesugune terves ruumis, kuna on moodustunud paljudest juhusliku suuna ja ajalise hilistumisega ruumi peegeldustest. 50% reverberatsiooni puhul on otseheli ja reverbereeruva heli tasemed võrdsed.

Valisime stiimulitele lisatud roosa müra tinglikuks heliintensiivsuse tasemeks 50 dB (nii versioonides koos reverberatsiooniga või ka selleta). Taolise valiku puhul oli roosa müra stiimulis selgelt kuulda, kuid samas laulja hääl selle alla väga tugevalt ei mattunud. (Keskmine signaal/müra suhe lisatud roosa müraga stiimulite puhul oli 17 dB, originaalkujul stiimulite puhul aga 26 dB.) Seega kogu tajukatsetes kasutatud stiimulite paradigma oli 3 klusiili \times 4 eksplosiooni intensiivsust \times 6 akustilist olukorda = 72 stiimulit.

Tabel 4. Tajukatses kasutatud stiimulid kuues erinevas akustilises olukorras.

1	2	3	4	5	6
AKA	AKA_kirik25%	AKA_roosa müra	AKA_kirik25%+roosa müra	AKA_kirik50%	AKA_kirik50%+roosa müra
APA	APA_kirik25%	APA_roosa müra	APA_kirik25%+roosa müra	APA_kirik50%	APA_kirik50%+roosa müra
ATA	ATA_kirik25%	ATA_roosa müra	ATA_kirik25%+roosa müra	ATA_kirik50%	ATA_kirik50%+roosa müra

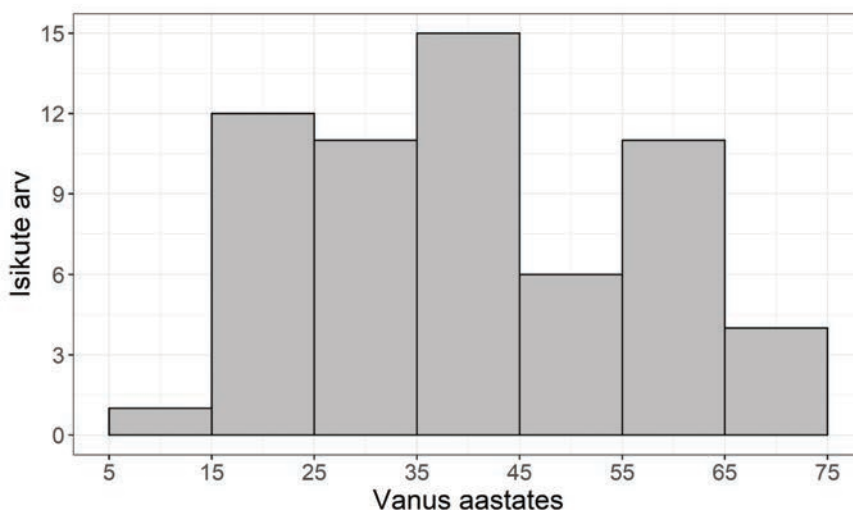
Iga stiimuli puhul selles tabelis kasutasime nelja erineva intensiivsusega klusiili eksplosiooni, mis selles tabelis ei kajastu.

Tajukatses osalejad ja protseduur

Tajukatsest võttis osa 60 inimest (21 meessoost, 38 naissoost ja üks muu soolise identiteediga) vanuses 11 kuni 74 aastat (vt vanuselise jaotuse histogramm joonisel 9). Püüdsime teadlikult hõlmata isikuid laias vanuselises skaalas sarnaselt sellele, milline võiks olla publiku vanuseline läbilõige juhusel ooperietendusel. Osalejate emakeeleks oli 55 isiku puhul eesti keel, kuid osalejate hulgas olid ka türgi, hiina, hispaania, portugali ja vene emakeelega isikud. Osalejad värvati uurimisrühma liikmete poolt kasutades isiklikke kontakte, meililiste ja Facebooki postitusi. Osalejad said ise valida enda jaoks sobiva aja ja koha katse tegemiseks, kasutades selleks isiklikku arvutit või nutiseadet. Juhises paluti teha tajukatse vaikselt kasutades kõrvaklappe. Enne katse alustamist soovitati reguleerida helinivoo sobivaks ja seda katse käigus mitte muuta. Tajukatse läbitegemine võttis aega 7 kuni 24 minutit (keskmiselt 12,4 minutit). Vastamisaeg ei olnud piiratud, kuid iga stiimulit esitati vaid üks kord.

Stiimulite esitamiseks tajukatse osalejatele kasutati tasuta veebipõhist platvormi *PsyToolkit*⁶ (Stoet 2010; Stoet 2017). Stiimulid mängiti iga katses osaleja jaoks genereeritud juhuslikus järjekorras. Osaleja pidi kirjutama ekraanile ilmuvasse alasse, millist häälikut ta kuulis kahe vokaali vahel. Kui tuvastamine tundus võimatu, võis alasse kirjutada ka küsimärgi.

Tajukatse osalemise eest tasu ei makstud. Võimalus oli jätta uurimisrühmale oma kontaktandmed, et soovi korral osaleda kõnealuse uurimisprojekti järgmistes etappides.



Joonis 9. Tajukatse osalenute vanuseline jaotus.

Tulemused II

Tulemuste kirjeldamisel võtsime arvesse eelkõige kaashääliku moodustamiskohta ja lugesime “õigeks” ka kõik need tajukatses osalenute vastused, kus /k/, /p/, /t/ kõrval oli märgitud nende lühemalt või heliliselt hääldatav analoog /g/, /b/, /d/ või kui klusiil oli märgitud koos aspiratsioonile viitava “h”-ga (/kh/, /ph/ või /th/). Võime eeldada, et selliselt tajutud alternatiivid ei vähendaks eesti keele puhul teksti sisulist arusaadavust, sest eesti keele seisukohalt (eesti keel oli valdava osa tajukatses osalenute emakeel) on tegemist eelkõige foneetiliste, mitte aga fonoloogiliste (foneemiliste) erinevustega (Wiik 1991: 172). Itaalia keele puhul (kus sulghääliku helilisuse eristamine on fonoloogiline) oleks eristamisel arvatavasti abiks ka teksti sisust tulenev kontekst.

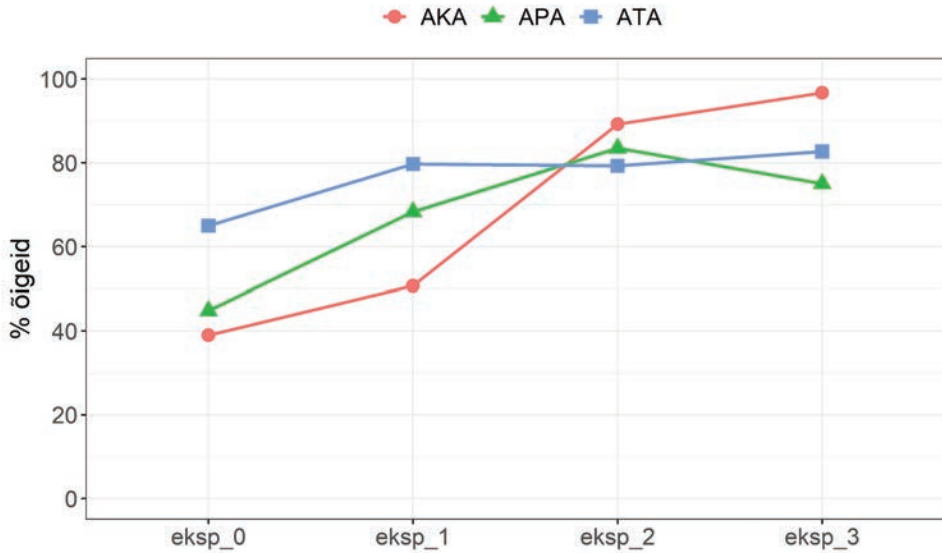
Joonisel 10 on näha, et kui vaadelda tajukatses osalejate vastuseid ühte koondatuna üle kõigi kuue akustilise tingimuse, siis “õigete” vastuste proportsioon klusiili eksplosiooni intensiivistudes paranes järjekindlalt vaid /k/ puhul, ulatudes peaaegu 100%-ni kõige intensiivsema eksplosiooniga stiimuli eksp_3 juures. “Õigete” ja “valede” vastuste proportsiooni sõltuvus eksplosiooni tugevusest oli /k/ puhul statistiliselt oluline ($\chi^2 = 404,6$, $P < 0,001$).

/p/ puhul võis täheldada, et “õigete” vastuste osakaal küll suurenes alguses eksplosiooni tugevamaks muutumisel, kuid jõudis maksimaalsele väärtusele juba keskmise intensiivsusega eksplosiooni eksp_2 juures, et siis jälle väheneda kõige intensiivsema eksplosiooni eksp_3 juures. Ka /p/ puhul oli “õigete” ja “valede” vastuste proportsiooni sõltumine eksplosiooni intensiivsusest statistiliselt oluline nii terve APA graafiku ulatuses ($\chi^2 = 135,9$, $P < 0,001$) kui ka siis, kui kõrvutasime vaid stiimulitele eksp_3 ja eksp_2 antud vastuseid ($\chi^2 = 8,1$, $P = 0,004$), mis näitab, et graafiku langus eksp_3 juures polnud juhuslik.

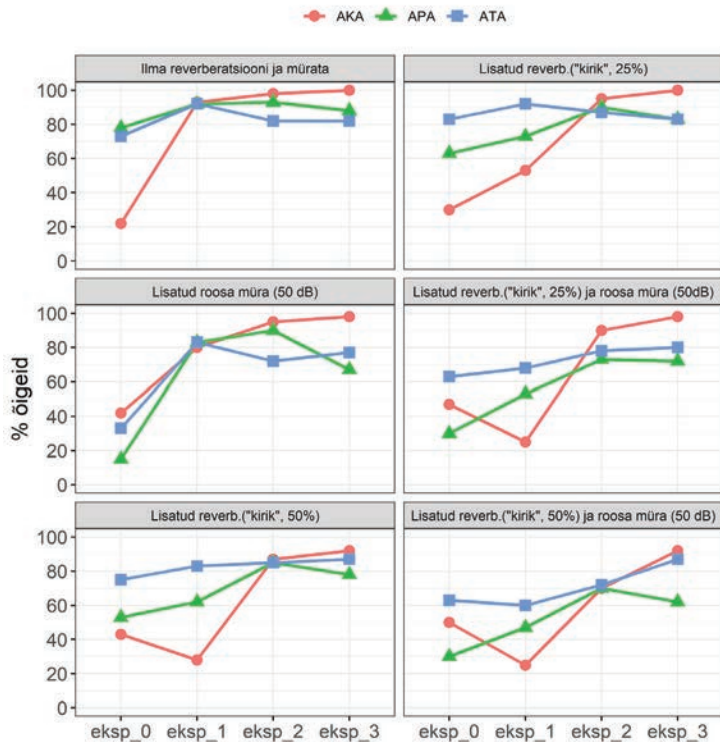
/t/ puhul sõltus identifitseeritavus (ligikaudu 80%) eksplosiooni intensiivsusest vähe ja langes märgatavalt tasemeni 65% vaid stiimuli puhul, mille eksplosiooniosa oli eemaldatud. “Õigete” ja “valede” vastuste proportsiooni sõltuvus intensiivsusest terve /t/ graafiku puhul oli statistiliselt oluline ($\chi^2 = 36,1$, $P < 0,001$).

Hoolimata klusiilide äratundmise halvenemisest ka teiste stiimulite puhul, mille klusiili eksplosiooniosa oli eemaldatud, ei langenud see kuue akustilise tingimuse koondgraafikul siiski kunagi madalamale juhusliku valiku tinglikust piirist (33%). Seega võime järeldada, et eksplosiooni kõrval mängivad klusiilide identifitseerimisel olulist rolli ka teist tüüpi akustilised juhtlõngad ning eksplosiooni puudumine (või ka näiteks selle täielik maskimine saateinstrumentide poolt) ei pruugi tingimata muuta klusiili täiesti tuvastamatuks (ehkki väheneb identifitseerimise tõenäosus).

Klusiili /t/ tundi tajukatses õigesti ära teistest klusiilidest kõige sagedamini (77% kõigist juhtudest: 68% /p/ puhul ja 69% /k/ puhul). Hii-ruut testi tulemuste põhjal on see erinevus kolme klusiili vahel statistiliselt oluline ($X^2 = 32$, $P < 0,001$).



Joonis 10. "Õigesti" identifitseeritud stiimulite protsent tajukatsel sõltuvalt klusiili eksplosiooni intensiivsusest. Vastused iga klusiili osas kõigi kuue akustilise tingimuse puhul on koondatud üheks graafikujooneks.



Joonis 11. "Õigete" vastuste osakaal sõltuvalt eksplosiooni intensiivsusest stiimulitele rakendatud akustiliste olukordade kaupa.

Joonise 11 paneelidel on eelkirjeldatud joonise 10 andmed esitatud lahku viiduna kuue töös uuritud akustilise olukorra kaupa. Graafikute põhjal võime teha järgmisi täpsustavaid järeldusi:

(1) Ilma reverberatsiooni ja roosa mürata oli stiimulite identifitseeritavus pidevalt kõrge (80% ja rohkem) ning see muutus erinevate eksplosiooni intensiivsuste puhul vaid vähesel määral (vt paneel ülal vasakul). (Vastuste erinevuse statistilist olulisust hii-ruut testi põhjal stiimulite eksp_1, eksp_2 ja eksp_3 vahel ei ilmnenud.) Erandiks on stiimulid eemaldatud eksplosiooniga (eksp_0), kus /k/ tuvastamine langes tasemele 22%, mis on allpool tinglikku juhusliku valiku taseme piiri (“õiged” vastuseid alla 33%). Ka /p/ ja /t/ puhul oli “õigete” ja “valede” vastuste proportsiooni erinevus stiimulite eksp_0 ja eksp_1 juures statistiliselt oluline (/p/ puhul vastavalt $\chi^2 = 4,2$, $P = 0,04$ ja /t/ puhul $\chi^2 = 7$, $P = 0,008$). Seega võime väita, et heade akustiliste tingimuste juures (madala reverberatsiooniga ruumides ilma saateta ja ansamblipartnerita laulmisel) pole klusiilide eksplosiooni tugevus teksti arusaadavuse tagamisel kriitiline ja isegi eksplosiooni puudumine ei pruugi oluliselt halvendada klusiilide /p/ ja /t/ identifitseeritavust. Erandiks on /k/, mis võib muutuda eksplosiooni puudumisel identifitseerimatuks. /p/ ja /t/ eksplosiooni intensiivistamine heade akustiliste tingimuste korral ei paranda teksti arusaadavust (joonise 10 põhjal ei pruugi olla välistatud isegi arusaadavuse teatud määral halvenemine liialt intensiivse eksplosiooni puhul).

(2) Lisatud 50% reverberatsiooni ja roosa müraga stiimulite puhul (vt joonisel 11, paneel all paremal) muutis intensiivsem eksplosioon nii /k/, /p/ kui /t/ üldiselt paremini identifitseeritavaks, kuid /p/ puhul eksisteeris sealjuures optimaalne piir eksp_2 juures, millest tugevam eksplosioon muutis tuvastamise uuesti raskemaks. Erinevuse statistilist olulisust “õigete” ja “valede” vastuste proportsioonis eksp_2 ja eksp_3 vahel polnud selle APA graafiku puhul siiski võimalik tuvastada.

(3) AKA graafikute puhul kõigi stiimulite korral, kus oli lisatud 50% reverberatsioon (vt joonisel 11 paneelid alumises reas) ja 25% reverberatsiooni puhul koos roosa müraga (paneel paremal keskel), tuvastamine paranes kui /k/ eksplosioon oli eemaldatud (stiimul eksp_0), võrreldes stiimuliga, kus eksplosioon oli nõrk (eksp_1). Vastav “õigete” ja “valede” vastuste proportsioonide erinevus eksp_0 ja eksp_1 stiimulite vahel oli statistiliselt oluline kõigil kolmel juhul: nii siis, kui oli lisatud 50% reverberatsioon ja roosa müra ($\chi^2 = 8$, $P = 0,005$), kui oli lisatud 25% reverberatsioon ja roos müra ($\chi^2 = 7,1$, $P = 0,013$), ja ka (marginaalselt) siis, kui oli lisatud ainult 50% reverberatsioon (paneel üleval paremal; $\chi^2 = 2,9$, $P = 0,09$). Me võime spekuloida, et selline nähtus võiks olla seotud kahe erineva teatud tingimustel omavahel võistleva

juhtlõngaga, mille alusel klusiil /k/ tuvastatakse (nt klusiili eksplosiooni müraspektri sageduslik jaotus ja formantsageduste siirde liikumisel klusiili lookusest külgnevale vokaalile). Müra ja reverberatsioon ilma eksplosiooni juhtlõngata võisid põhjustada tajus lülituse formantsageduste siirde juhtlõngale, mis hõlbustas tuvastamist. Püüda laulda /k/-d ilma eksplosioonita, selleks et parandada teksti arusaadavust, pole siiski otstarbekas, sest nagu eelpool näitasime, võib heades akustilistes tingimustes eksplosioonita /k/ muutuda tuvastamatuks.

Kokkuvõte ja arutelu

Käesoleva uurimuse tulemusel selgus, et ooperlikul laulmisel, võrreldes räakimisega, kalduvad nii vokaalid kui helitud klusiilid olema intensiivsemad, kuid vokaalidel on kalduvus intensiivistuda proportsionaalselt rohkem. Tendents valjema hääle puhul vokaalide suuremaks intensiivistumiseks võrreldes klusiilidega esines ka siis, kui teksti vaid loeti dramaatilisemalt ja oraatorlikumalt. See tendents peaaegu puudus vaid ühe meie poolt uuritud laulja (tenori) puhul (st kui ta luges teksti oraatorlikumalt, suurenes vokaalide ja helitute klusiilide intensiivsus enam-vähem samal määral). Huvitaval kombel on sellel tenoril väga hea diktsiooniga laulja maine ja tema karjäär rahvusvaheliselt on olnud kõikidest meie töös uuritud lauljatest kõige edukam. Helitute klusiilide eksplosiooni keskmine intensiivsus võrreldes vokaalide intensiivsustega oli sarnane nii eesti kui ka itaalia lauljate puhul, hoolimata mõningatest erinevustest lauldavas repertuaaris. See annab alust arvata, et meie poolt kirjeldatud nähtus on küllaltki universaalne vähemalt ooperižanri puhul.

Tajukatsete tulemuste põhjal, kus katses osalejad pidid tuvastama /a/-helitu klusiil-/a/ häälikutejadast koosnevates stiimulites keskmise hääliku, võib väita, et eelpoolkirjeldatud klusiilide ja vokaalide intensiivsusvahekorra klusiilide kahjuks halvenemine võib muuta klusiilide tuvastamise ja seetõttu ka lauldavast tekstist arusaamise raskemaks. Tuvastatavuse halvenemine näib puuduvat siiski eelkõige situatsiooni, kui lauldakse reverbereerivas akustikas ja/või ansambelis teiste muusikutega. Võime spekuloida, et sellist tuvastatavuse langust põhjustab maskimine. Maskimine on nähtus, kus nõrgem (maskitav) heli muutub tugevama (maskiva) heli tõttu kas täiesti kuuldamatuks, või kui maskimine on osaline, siis maskitav heli osutub oma intensiivsuselt paiknevaks kuuldelävele lähemal. Nii maskiv kui maskitav heli võivad olla ka kompleksheli osahelid (Howard & Angus 2006: 244).

Klusiilide identifitseeritavus muutus halvemaks ka siis, kui nende eksplosiooniosa puudus ja oli asendatud vaikusega. Tuvastatavus ei pruukinud

sel juhul siiski langeda allapoole tinglikku 33% taset, mil puhul võib "õigeid" vastuseid tajutestis pidada juhuseks.

Selline tulemus viitab klusiili eksplosiooni kõrval ka teiste juhtlõngade olemasolule ja nende rakendumisele (näiteks formantsageduste liug klusiili lookusest järgneva vokaali formantsageduste väärtusteni). Võime spekuleerida, et klusiili tuvastamise juhtlõngana saaks toimida ka klusiilile vahetult järgneva vokaali atakiosa kuju.

Püüame järgnevalt analüüsida detailsemalt ruumiakustikast ja klusiilide maskimisest tulenevaid olukordi, mis võisid kujundada meie tajukatsete tulemusi. Võime oletada, et klusiilide osaline või täielik maskimine meie tajukatses oli eelkõige põhjustatud vastavale klusiilile eelneva vokaali ruumipeegelduste poolt (mis praegusel juhul olid modelleeritud arvuti abil), mis ajaliselt kattusid klusiili eksplosiooniga, kuna saabusid hilistumisega. Heli levimine võtab aega – nt 34 cm teekonna läbimiseks kulub toatemperatuuril 1 ms (Howard & Angus 2006: 7). Võimalik on siiski ka ettemaskimine ja tahamaskimine, kus maskiv ja maskitav heli ei kõla samaaegselt (*ibid.*). Maskimine on efektiivsem maskija ja maskitava heli puhul, mis paiknevad sageduslikult teineteisele ligemal (*ibid.*). Vokaalide spektris on tüüpiliselt kõige tugevamad osahelid esimese formandi piirkonnas, mis paikneb tavaliselt madalamal kui 1000 Hz (Sundberg 1987: 103). Suhteliselt intensiivsem võib helienergia olla ka lauljaformandi alas, mis tüüpiliselt paikneb sagedusvahemikus 2,3–3,4 kHz. Kõrgemal, kui umbes 5,5 kHz pole vokaalide spektris helienergia tase enam arvestamisväärne (*ibid.*). Seetõttu võime eeldada, et vokaalide ruumipeegeldused, mis ajaliselt kattuvad vokaalile järgneva klusiili eksplosiooniga, suudavad väiksema efektiivsusega maskida klusiile ja seetõttu vähem häirida nende äratundmist, kui klusiili eksplosiooni müraspektris domineerib helienergia mis ulatub vokaalide spektrialast kõrgemale.

Raymond Kenti & Charles Read (1992) andmetel domineerib tugev helienergia 4 kHz-st kõrgemal kolmest klusiilist kõige rohkem /t/ puhul. Seda kinnitavad ka Arvo Eegi ja Einar Meisteri (1996b) esitatud andmed. Ka vokaaltrakti teise ja kolmanda formandi lookused paiknevad /t/ puhul (kui järgneb vokaal /a/) teiste klusiilidega võrreldes suhteliselt kõrgematel sagedustel (Eek & Meister 1996b). /t/ identifitseeritavus jäi meie tajukatses suhteliselt heaks ka siis, kui selle eksplosioon oli nõrk. Võime selle põhjusena oletada, et ka /t/ nõrga eksplosiooni puhul ei pruukinud selle maskimine eelnenud vokaali ruumipeegelduste poolt osutada efektiivseks maskija ja maskitava heli spektrite suure sagedusliku kattumatusse tõttu.

/k/ puhul, vastupidi, koondub eksplosiooni helienergia 4 kHz-st madalamale ja /p/ puhul on see jaotunud üle sagedusala ühtlaselt või on samuti koondunud pigem madalamate sageduste alasse (*ibid.*).

Meie tajukatses sõltus /k/ tuvastamine tema eksplosiooni tugevusest kõige rohkem. Kuna /k/ eksplosiooni iseloomustab helienergia domineerimine suhteliselt madalamas sagedusalas, mis võib /t/-st paremini kattuda vokaalide spektri sagedusalaga, siis võime eeldada, et vokaalid suudavad maskida /k/ madalat spektriosa suhteliselt efektiivselt, seda eriti siis, kui /k/ eksplosioon on nõrk. /k/ spektri kõrgemat sagedusala aga maskitakse vähem efektiivselt, kuna maskijana toimiva vokaali spektris on seal helienergia nõrk. Tulemusena hakkab kuulaja jaoks domineerima /k/ spektri kõrgemate sageduste piirkond tekitades väära mulje klusiilist /t/ või /p, või lihtsalt põhjustades identifitseerimisel kõhkli. Nii näiteks meie tajukatse stiimuli AKA eksp_1 puhul, kui sellele oli lisatud 50% reverberatsioon, identifitseeriti /k/ ekslikult /p/-na 36% juhtudes, ekslikult /t/-na 10% juhtudest, ning 24% juhtudel kasutati vastamisel küsimärki, viidates, et selget identifitseerimist võimaldavat muljet ei tekkinud. Intensiivsem /k/ eksplosioon parandas alati selle klusiili identifitseeritavust, sest oletatavasti muutus selle tõttu selgemini kuuldavaks (vähem maskituks) /k/ spektrile iseloomulik madalamate sageduste spektriosa domineerimine.

Kuna tajukatses käitus iga klusiil teistest veidi erinevalt, tulenevad sellest ka iga klusiili häälendamise tugevuse jaoks veidi erinevad soovituselised vokalistidele. Meie tulemuste laiendamisel üldisemate järelduste tegemiseks on mitmetel alljärgnevatel põhjustel oluline siiski teatud ettevaatus. Meie stiimulid sisaldasid kõikidest vokaalidest vaid /a/-d, selle helikõrgus stiimulites ei muutunud ning esituse tempo oli üsna aeglane. Tajukatses osalenutel oli erinevalt vokaalsetuste kuulamisest kontserdi- või teatrisaalides, piiramatult aega oma otsuste tegemiseks (kuigi kuulata sai iga stiimulit vaid ühe korra). Reverbereeruva ruumiakustika modelleerimisel kasutasime vaid kahte akustika varianti. Laulja häälega samal ajal kõlavate saatepartii või ansamblipartnerite helide imiteerimiseks kasutasime vaid ühte roosa müra intensiivsusevarianti. Samuti võis roosa müra tumedalt kahisev kõla provotseerida tajuma klusiilide asemel sibilante või spirante. Tegelikult musitseerimisel erinevates kontserdipaikades või ooperiteatrite laval varieerub enamiku toodud faktorite mõju tugevus pidevalt. Mõnel juhul võib näiteks kõrvuti asetsevate klusiilide ja vokaalide intensiivsuse vahetamine ja sellest tulenevad raskused lauldavast tekstist arusaamisest olla palju suuremad kui meie uurimuse tajukatses, teistel juhtudel aga leebemad. Reverberatsiooni aeg 5 s, mida kasutasime oma töös akustika modelleerimisel, vastab ruumile, mis oma akustiliste omaduste poolest on sarnane keskmise suurusega kiriku akustikale. Reverberatsiooni määr 25% või 50% vastab kuulaja distantsele lauljast mõni kuni kümnekond meetrit, arvestades nn kriitilist kaugust, mis võiks iseloomustada taolist ruumi (Meyer 2009: 195). Tegelikult kontserdipaikade reverberatsioon võib aga olla meie poolt modelleeritust väga erinev. Pikema reverberatsiooniajaga ja suurema reverberatsiooni määraga

akustika (näiteks laulmisel kubatuurilt suuremas kirikus, kus kuulaja paikneb lauljast kaugemal) oleks teksti arusaamist meie tajukatsete tulemustega võrreldes tõenäoselt veelgi halvendanud. Tüüpilisemates kontserdi- ja teatri-saalides on reverberatsiooniaeg siiski kirikute reverberatsiooniajast märksa lühem (ligikaudu 2 s; *ibid.*) ning reverberatsiooni mõju teksti arusaadavusele seetõttu oletatavasti leebem.

Reaalse muusika esitamise puhul võib esitatava materjali tempo olla meie stiimulite ajalise kestusega võrreldes oluliselt kiirem ning kasutatav helikõrguste ulatus võib ühe noodi asemel hõlmata mitmeid oktaave. Sel juhul peab ka kuulaja oma otsused tegema rutem ning sama aja jooksul tehtavate otsuste hulk võib kujuneda märkimisväärselt suuremaks, mis kõik võiks muuta häälikute tuvastamise raskemaks. Kõrgete nootide puhul ei pruugi efektiivselt töötada ka formantide siirde juhtlõng, kuna suure distantsi tõttu osahelide vahel pole akustiline informatsioon formantide asukohast kuigi täpne. Tuttava/mõtteka teksti puhul võib sellest arusaamist samas abistada *top down* tüüpi mehhanism, kus kuulajal tekivad elukogemuse, keele- ja repertuaari mäletamise pinnalt erinevad ootused ja sellest tulenev võime õigesti ennustada lauldavat teksti isegi siis, kui kõike polnud kuulda. Tekstist arusaamist võib hõlbustada ka visuaalne juhtlõng, kui kuulaja näeb laulja suuliigutusi.

Võrreldes meie tajukatsete stiimulitega on reaaleluline olukord erinev ka saateinstrumentide helide osas. Tegelikult muusika puhul on nendel helidel tüüpiliselt mingi konkreetne helikõrgus ja nende intensiivsus võib varieeruda suurtes piirides, mistõttu nende toime laulja hääle maskijana on ajas muutlik. Klusiilide kõrval võivad teistelt muusikutelt lähtuvad helid maskida ka kõiki ülejäänud häälikuid. Meie stiimulite puhul kasutatud roosa müra sageduslik struktuur, kus madalad sageduskomponendid on statistiliselt intensiivsemad, küll matkib orkestrisaate tüüpilist pikaajalise keskmise spektri sageduslikku jaotuskõverat, kuid oma sahiseva kõla tõttu võis see nt eemaldatud eksplosiooniga stiimulite puhul provotseerida identifitseerima vokaalide vahel paiknevat häälikut sibilandi või spirandina (/s/, /ʃ/, /h/, /f/).

Mitmed aspektid meie töös vajaksid täiendavat uurimist. Näiteks pole teada, kuivõrd mõjutab klusiilide äratundmist nende ajaline struktuur – kas see võiks olneda sulu osa ja eksplosiooni osa kestusest. Käesolevas töös keskendusime vaid helitutele klusiilidele, kuid häälikute intensiivsusvahekorra võimaliku muutumisega ning sellest tuleneva teksti arusaadavuse võimaliku halvenemisega seotud küsimused pakuvad huvi ka teiste kaashäälikute puhul. Oluline oleks veel teada, kuivõrd mõjutab häälikute äratundmist kontsertidel või ooperiteatris esitatava vokaalmuusika puhul inimese kuulmissüsteemi olukord, näiteks tüüpiline vanusega kaasnev kuulmislangus kõrgete sageduste piirkonnas.

Lõpetuseks saame anda mõningaid soovitusi vokalistidele helitute klusiilide laulmisel. Meie soovitude paikapidavust tuleks siiski igal konkreetsel juhul tegelikku esitust kuulates üle kontrollida. Käesoleva töö tulemuste põhjal võiksime väita, et selle töö sissejuhatuses refereeritud erinevate seisukohtade vastandlikkus, mis puudutab klusiilide produtseerimist, on põhjendatud. Näiteks, kui laulda akustikas, kus reverberatsioon on väike ning saateinstrumentide helisid pole, pole klusiilide hääldamise intensiivsus nendest hea arusaamise seisukohalt kriitiline ja nende vajemalt hääldamine identifitseeritavust ei paranda. /k/ puhul võiks siiski olla hääldamisel tähelepanelikum, sest kuuldamatult hääldatud eksplosioon võib /k/ muuta tuvastamatuks.

Lauldes rasketes akustilistes tingimustes, näiteks suures kirikus, eriti kui ollakse publikust kaugel ja kui lauldakse koos saatega või ansamblis, tuleks lauldavast tekstis parema arusaamise huvides eelistada veidi tugevamat klusiilide hääldamist. Siiski võib eksisteerida intensiivsuse piir, mille ületamisel tulemus halveneb jälle. Ettevaatlik liialt jõulise hääldamisega, aga samuti aspiratsiooni kasutamisel, tasuks olla eelkõige /p/ puhul.

Kasutasime oma tajukatses abstraktseid ilma tähendusliku kontekstita häälikuühendeid. Tegelike laulutekstide puhul võib konteksti olemasolu ülaltpoolse tajumehanismide läbi arusaamist hõlbustada, kuid selle aluseks on ikkagi ka alt-üles protsesside funktsioneerimine piisava efektiivsusega. Teksti hea arusaadavus on vaid üks kvaliteetse ettekande elementidest ning teatud juhtudel võib see olla vastuolus muusikaliste eesmärkidega, näiteks hea kantileeni või mingi emotsionaalse seisundi väljendamisega, millele puhul selgelt hääldatud tekst ei pruugi olla omane – mõnikord ei olegi teksti hea arusaadavus vokaalteose esitamisel eesmärgiks. Seetõttu peaks laulja suutma olla paindlik ning ta peaks oskama tajuda, kuidas tema esitus kostub publikule saalis, sealhulgas ka näiteks saali viimastesse ridadesse. Oluline on siiski osata vajaduselt hääldada häälikuid intensiivsemalt, kui see on tüüpiline tavavestluse puhul. Laulja võib vajada selle õppimiseks tagasisidet vokaalpedagoogilt, *coach*ilt või dirigendilt.

Meie tajukatsetes osalejate emakeel oli valdavalt eesti keel. Ka laulja, kes laulis sisse tajukatsete stiimulid, samuti viis lauljat, kelle esituse uurisime töö esimeses pooles, räägivad emakeelena eesti keelt. Eesti keele klusiilid ei hääldu tüüpiliselt eriti märgatava aspiratsiooniga (Eek & Meister 1996a) nagu itaalia keeles (Harpster 1984: 69) ja erinevalt näiteks saksa (Simon & Leuschner 2010) või inglise keelest (Roach 2004). Seetõttu pole välistatud, et teatud määral võiks selliste uurimuste tulemusi mõjutada inimeste emakeel. Selle kontrollimine oleks võimalik aga juba spetsiifilisema uuringuga.

Tänuavaldused

Artikkel on osa uurimisprojektist PRG1552 “Vokalistide võimalused teksti arusaadavuse parandamisel – probleemid ja teaduslik baas”, mida rahastab Eesti Teadusagentuur.

Uuringu läbiviimist toetas Eesti-uuringute Tippkeskus, mida rahastab Euroopa Regionaalfond.

Täname kõiki projektis osalenud lauljaid ja tajukatses osalenuid.

Kommentaariid

¹ <https://www.phon.ucl.ac.uk/home/sampa/italian.htm> (14.09.2023).

² https://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/Intro_6_2__Configuring_the_intensity_contour.html (15.09.2023).

³ www.newsinslowitalian.com (18.09.2023).

⁴ <https://www.celemony.com/en/melodyne/what-is-melodyne> (20.09.2023).

⁵ <https://www.praatvocaltoolkit.com> (20.09.2023).

⁶ www.psytoolkit.org (26.09.2023).

Kirjandus

Adams, David 2008. *Handbook of diction for singers. Italian, German, French*. Oxford, New York: Oxford University Press.

Appelman, D. Ralph 1986. *The science of vocal pedagogy: theory and application*. Bloomington, IN: Indiana University Press.

Behrman, Alison 2018. *Speech and voice science*. Third edition. With a Contribution by Donald Finan. San Diego, CA: Plural Publishing Inc.

Bloem-Hubatka, Daniela 2012. *The old Italian school of singing: a theoretical and practical guide*. Jefferson, NC: McFarland & Company.

Boersma, Paul & Weenink, David 2022. *Praat: doing phonetics by computer*. [Computer program.] Version 6.3.02 (<http://www.praat.org/> – 04.10.2023).

Brown, Oren L. 1996. *Discover your voice. How to develop healthy voice habits*. London: Singular Publishing Group, Inc.

Brown, Ralph Morse 1946. *The singing voice*. New York, NY: Macmillan Co.

Christy, Van Ambrose. 1967. *Expressive singing, Volume 1, Basic principles. A Text for school or studio class or private teaching*. Dubuque, IO: W. C. Brown Publishing Co.

Correte, Ramon 2021–2022. *Praat vocal toolkit* (<https://www.praatvocaltoolkit.com/index.html> – 04.10.2023).

- Deme, Andrea 2014. Intelligibility of sung vowels: the effect of consonantal context and the onset of voicing. – *Journal of Voice* 28 (4), lk 523.e19–523.e25 (DOI:10.1016/j.jvoice.2014.01.003).
- Di Carlo, Nicole Scotto 2007. Effect of multifactorial constraints on intelligibility of opera-singing (I). – *Journal of Singing* 63 (4), lk 443–455.
- Di Carlo, Nicole Scotto & Germain, Aline 1985. A perceptual study of the influence of pitch on the intelligibility of sung vowels. – *Phonetica* 42 (4), lk 188–197 (DOI:10.1159/000261750).
- D’Orazio, Dario 2020. Anechoic recordings of Italian opera. – *Zenodo* (DOI:10.5281/zenodo.3628247).
- D’Orazio, Dario & De Secaris, Simona & Garai, Massimo 2016. Recordings of Italian opera orchestra and soloists in a silent room. – *Proceedings of Meetings of Acoustics* 28 (DOI:10.1121/2.0000425).
- Eek, Arvo & Meister, Einar 1996a. Eesti sõnaalguliste sulghäälikute akustika ja tajumine. – *Keel ja Kirjandus* 3, lk 164–170.
- Eek, Arvo & Meister, Einar 1996b. Eesti sõnaalguliste sulghäälikute akustika ja tajumine. – *Keel ja Kirjandus* 4, lk 241–253.
- Fine, Philip A. & Ginsborg, Jane 2014. Making myself understood: perceived factors affecting the intelligibility of sung text. – *Frontiers in Psychology* 5, 809. (DOI:10.3389/fpsyg.2014.00809).
- Fisher, Jeremy & Kayes, Gillyanne & Popeil, Lisa 2021. Pedagogy of different sung genres. – Welch, Graham F. & Howard, David M. & Nix, John (toim). *The Oxford Handbook of Singing*. Oxford: Oxford University Press, lk 707–728 (DOI:10.1093/oxfordhb/9780199660773.013.005).
- Fletcher, Harvey 1929. *Speech and hearing*. New York, NY: D. Van Nostrand.
- Friberg, Anders 1991. Generative rules for music performance. – *Computer Music Journal* 15 (2), lk 56–71.
- Fuchs, Viktor 1964. *The art of singing and voice technique*. New York, NY: London House and Maxwell.
- Gottfried, Terry L. & Chew Stephen L. 1986. Intelligibility of vowels sung by a countertenor. – *The Journal of the Acoustical Society of America* 79 (1), lk 124–130 (DOI:10.1121/1.393635).
- Gregg; Jean Westermann & Scherer, Ronald C. 2006. Vowel intelligibility in classical singing. – *Journal of Voice* 20, lk 198–210 (DOI:10.1016/j.jvoice.2005.01.007).
- Guenther, Frank H. 1995. Speech sound acquisition, coarticulation, and rate effects in a neural network model of speech production. – *Psychological Review* 102 (3), lk 594–621 (DOI:10.1037/0033-295X.102.3.594).
- Guenther, Frank H. & Hampson, Michelle & Johnson, Dave 1998. A theoretical investigation of reference frames for the planning of speech movements. – *Psychological Review* 105 (4), lk 611–633 (DOI:10.1037/0033-295X.105.4.611-633).
- Harpster, Richard W. 1984. *Technique in singing: a program for singers and teachers*. New York, NY: Schirmer Books.

- Houde, John F. & Jordan, Michael I. 1998. Sensorimotor adaptation in speech production. – *Science* 279 (5354), lk 1213–1216 (DOI:10.1126/science.279.5354.1213).
- Hollien, Harry & Mendes-Schwartz Ana P. & Nielsen, Kenneth 2000. Perceptual confusions of high-pitched sung vowels. – *Journal of Voice* 14 (2), lk 287–298 (DOI:10.1016/S0892-1997(00)80038-7).
- Howard, David & Angus, Jamie 2006. *Acoustics and psychoacoustics*. Third edition. New York, NY: Routledge.
- Joliveau, Elodie & Smith, John & Wolfe, Joe 2004. Vocal tract resonances in singing: the soprano voice. – *The Journal of the Acoustical Society of America* 116, lk 2434–2439 (DOI:10.1121/1.1791717).
- Kent, Raymond D. & Read, Charles 1992. *The acoustic analysis of speech*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Koffi, Ettien 2020. A comprehensive review of intensity and its linguistic applications. – *Linguistic Portfolios* 9, lk 1–27.
- Lindblom, Björn & Lubker, James & Gay, Thomas 1979. Formant frequencies of some fixed-mandible vowels and a model of motor programming by predictive simulation. – *Journal of Phonetics* 7, lk 147–161 (DOI:10.1016/S0095-4470(19)31046-0).
- MacNeilage, Peter F. 1970. Motor control of serial ordering of speech. – *Psychological Review* 77 (3), lk 182–196 (DOI:10.1037/h0029070).
- Marshall, Madeleine 1956. Is exaggeration required for good English diction? – *Diapason* 47, lk 18.
- Maryn, Youri & Zarowskia, Andrzej 2015. Calibration of clinical audio recording and analysis systems for sound intensity measurement. – *American Journal of Speech-Language Pathology* 24, lk 608–618 (DOI:10.1044/2015_AJSLP-14-0082).
- Melton, James 1953. Do you put the words across? An interview by Annabel Comfort. – *Etude*, June, 15.
- Meyer, Jürgen 2009. *Acoustics and the performance of music*. Manual for acousticians, audio engineers, musicians, architects and musical instrument makers. 5th edition. New York, NY: Springer.
- Miller, Richard 1996. *On the art of singing*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Perkell, Joseph S. & Matthies, Melanie L. & Lane, Harlan & Guenther, Frank H. & Wilhelms-Tricarico, Reiner & Wozniak, Jane & Guidod, Peter 1997. Speech motor control: acoustic goals, saturation effects, auditory feedback and internal models. – *Speech Communication* 22, lk 227–250 (DOI:10.1016/S0167-6393(97)00026-5).
- Perkell, Joseph S. & Matthies, Melanie L. & Svirsky, Mario A. & Jordan, Michael I. 1995. Goal-based speech motor control: a theoretical framework and some preliminary data. – *Journal of Phonetics* 23, lk 23–35 (DOI:10.1016/S0095-4470(95)80030-1).
- Qu, Ge & Sun, Yuan-Yuan & Han, Bao-Quijiang & Yu Ping & Liu Jian-Kun & Yang Shi-Ming 2020. Preliminary study on lyrics intelligibility at different pitches in Chinese vocal music. – *Acta Otolaryngologica* 140, lk 558–563 (DOI:10.1080/00016489.2019.1646926).

- Roach, Peter 2004. British English: received pronunciation. – *Journal of the International Phonetic Association* 34/2, lk 239–245 (DOI:10.1017/S0025100304001768).
- Roolaid, Alice (koost) 1988. *Tallinna Riikliku Konservatooriumi vanema põlvkonna pedagoogide laulumetoodika*. Tallinn: Eesti NSV Kõrg- ja keskerihariduse Ministeriumi Teaduslik-metoodiline Kabinet.
- Saltzman, Elliot L. & Munhall, Kevin G. 1989. A dynamical approach to gestural patterning in speech production. – *Ecological Psychology* 1 (4), lk 333–382 (DOI:10.1207/s15326969eco0104_2).
- Savariaux, Christophe & Perrier, Pascal & Orliauget, Jean Pierre 1995. Compensation strategies for the perturbation of the rounded vowel [u] using a lip tube: a study of the control space in speech production. – *The Journal of the Acoustical Society of America* 98 (5), lk 2428–2442 (DOI:10.1121/1.413277).
- Sharnova, Sonia 1947. Diction. – *The NATS bulletin*, 3, 4.
- Simon, Ellen & Leuschner, Torsten 2010. Laryngeal systems in Dutch, English, and German: a contrastive phonological study on second and third language acquisition. – *Journal of Germanic Linguistics* 22 (4), lk 403–424 (DOI:10.1017/S1470542710000127).
- Smith, John & Wolfe, Joe 2009. Vowel-pitch matching in Wagner’s operas: implications for intelligibility and ease of singing. – *The Journal of the Acoustical Society of America* 125 (5), lk EL196–EL201 (DOI:10.1121/1.3104622).
- Stoet, Gijsbert 2010. PsyToolkit: a software package for programming psychological experiments using Linux. – *Behavior Research Methods* 42 (4), lk 1096–1104 (DOI:10.3758/BRM.42.4.1096).
- Stoet, Gijsbert 2017. PsyToolkit: a novel web-based method for running online questionnaires and reaction-time experiments. – *Teaching of Psychology* 44 (1), lk 24–31 (DOI:10.1177/0098628316677643).
- Sundberg, Johan 1987. *The science of the singing voice*. DeKalb, IL: Northern Illinois University Press.
- Sundberg, Johan 2004. Review of “The temporal structure of Estonian runic songs” by Jaan Ross & Ilse Lehist. – *Music Perception* 22, lk 159–162 (DOI:10.1525/mp.2004.22.1.159).
- Titze, Ingo 1989. On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation. – *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85, lk 901–906 (DOI:10.1121/1.397562).
- Vennard, William 1967. *Singing: the mechanism and the technic*. New York, NY: Carl Fisher.
- Ware, Clifton 1998. *Basics of vocal pedagogy. The foundations and process of singing*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Wiik, Kalevi 1991. *Foneetika alused*. Tartu: Tartu Ülikool.

Summary

The impact of the intensity ratio between vowels and voiceless plosives on the intelligibility of sung text

Allan Vurma

Professor of Musicology
Estonian Academy of Music and Theatre
allan.vurma@eamt.ee

Tuuri Dede

Postgraduate Student
Estonian Academy of Music and Theatre
tuurielo@gmail.com

Veeda Kala

Postgraduate Student
Estonian Academy of Music and Theatre
veeda.kala@eamt.ee

Einar Meister

Senior Researcher
Language Technology Laboratory, Tallinn University of Technology
einar.meister@taltech.ee

Lya Meister

Researcher
Language Technology Laboratory, Tallinn University of Technology
lya@ttu.ee

Marju Raju

Researcher
Department of Musicology, Estonian Academy of Music and Theatre
marju.raju@eamt.ee

Jaan Ross

Professor Emeritus of Musicology
Estonian Academy of Music and Theatre
jaan.ross@gmail.com

Keywords: voiceless plosives, plosive burst, masking, operatic singing, reverberation, text intelligibility, intensity of vowels and consonants

Background. In operatic singing, poor text intelligibility is often a problem. Some voice teachers believe that singers should articulate consonants more strongly to improve intelligibility, while others believe that this should be avoided.

Aim. The objective of this study is to ascertain (1) whether there is a tendency in operatic singing by which, compared to speaking, the intensity of all speech sounds is greater, but the intensity of voiceless plosive bursts increases proportionally less than that of vowels, which may make the recognition of plosives more difficult; and (2) whether pronouncing the bursts of voiceless plosives more strongly would improve their recognition.

Method. The investigation was split into two stages. In the first stage, five classically trained professional Estonian singers (soprano, mezzo-soprano, tenor, baritone, bass) were asked (1) to sing an aria in Italian from a romantic period opera, and (2) to read the text of the same aria. The recordings were segmented on the level of single speech sounds, and the intensity level of each sound was measured with the help of the software *Praat*. In addition, recordings of sung performances by three Italian singers (two sopranos and a baritone) and examples of spoken text by two different speakers were similarly analyzed.

In the second stage, a perception test with 60 listeners (21 male, 38 female, and one non-binary) was carried out. The listeners were aged between 11 and 74. Seventy-two sequences /a/-/k/-/a/, /a/-/p/-/a/ and /a/-/t/-/a/, sung by a mezzo-soprano on G4, were played to the listeners as stimuli. The listener had to identify the plosive in the middle of each stimulus. The intensity level of the plosive varied in four steps (including one step in which the plosive burst was removed and replaced with silence). To some stimuli sets were added either reverberation (to imitate room acoustics) or pink noise (to imitate masking sounds from accompaniment or ensemble partners); further stimuli sets included the addition of both reverberation and pink noise.

Results. The first stage of the research showed that in the case of the Estonian singers the intensity of the sung vowels was, on average, 14.2 dB greater than that of the corresponding spoken speech sounds, whereas the intensity of the voiceless plosive bursts increased by an average of only 7.1 dB. The intensity difference between sung and spoken speech sounds was similar in the case of Italian vocalists.

Producing the plosive bursts more strongly generally tended to improve the recognition of plosives only when reverberation and/or pink noise were added to the stimuli. The probable cause of lowered recognition is the masking of plosives by the room reflections of the preceding vowels and sounds from the accompaniment and ensemble partners. In the case of /p/, too intense a burst could actually diminish recognition to some extent. The recognition was often above the level of chance even if the burst was removed, indicating that besides the plosive burst some other clues to identify the plosive exist (such as the formants' glide from the locus of the plosive to the adjacent vowel).

Conclusions. There is no need to pronounce voiceless plosives with exaggerated vigor in singing if the room reverberation is small and there are no masking sounds from other musicians. The exception is /k/, which may remain unidentified if the plosive burst is not perceived. In poorer acoustic conditions, a stronger burst may improve intelligibility. However, the singer should be cautious not to overemphasize the /p/, as this may worsen its recognition.

Allan Vurma on Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia (EMTA) muusikateaduse professor. Ta lõpetas EMTA 1990. a ooperi- ja kontserdilaulja ning vokaalpedagoogina ja kaitses sealsamas 2007. a muusikateaduse doktorikraadi (juhendaja prof. Jaan Ross). Allan Vurma on olnud aastatel 1981–2009 Eesti Filharmoonia Kammerkoori solist ja hääleseadja. 1978. a lõpetas ta raadioinsenerina (MA ekvivalent) Tallinna Polütehnilise Instituudi. Tema uurimissuundadeks on lauluhääle akustika ja kognitiivne muusikateadus ning ta on paarikümne teadusartikli autor. Allan Vurma kuulub mitmetesse rahvusvahelistesse ühingutesse nagu Ameerika lauluõpetajate ühing (NATS), Collegium Medicorum Theatri (CoMeT) ja Pan European Voice Conference (PEVoC) nõuandev komitee.

Allan Vurma is a Professor of Musicology at the Estonian Academy of Music and Theatre (EAMT). He graduated from the EAMT in 1990 as an opera and concert singer and vocal pedagogue. In 2007, he defended his doctorate in musicology at the same institution (supervisor: Professor Jaan Ross). From 1981 to 2009, Allan Vurma worked as a basso soloist and vocal pedagogue at the Estonian Philharmonic Chamber Choir. In 1978, he graduated from the Tallinn Polytechnic Institute as a radio engineer (equivalent to MA). His areas of scientific interest have been vocal acoustics and cognitive musicology, and he is the author of about twenty scientific articles. Allan Vurma is a member of several international societies, such as the National Association of Teachers of Singing (NATS), Collegium Medicorum Theatri (CoMeT), and the Advisory Committee of the Pan-European Voice Conference (PEVoC).

ORCID 0000-0002-0654-7870

allan.vurma@eamt.ee

Tuuri Dede on metsosopran, kes kuulub aastast 2018 ühe maailma edukama nüüdismuusika soprani Barbara Hannigani mentorlusprogrammi Equilibrium Young Artists. Ta on olnud solistiks rohkem kui 30 suurteose ettekannetel paljude Euroopa tipporkestrite ees koostöös dirigentidega nagu Neeme Järvi, Barbara Hannigan, Arvo Volmer, Audrey Saint-Gil, Olari Elts, Risto Joost, Tõnu Kaljuste, Kaspar Mänd jt. ning esitanud mitmeid ooperirolle Eestis ja välismaal. Tuuri Dede on saanud auhinnalisi kohti konkurssidelt Eestis, Soomes ning Rootsisis. Ta on omandanud magistrikraadi Sibelius Akadeemias Soomes ning bakalaureusekraadi Eesti Muusika- ja Teatriakadeemias, kus jätkab aastast 2021 õpinguid doktorantuuris.

Tuuri Dede is a mezzo-soprano, who is an alumni of Barbara Hannigan's initiative for young professional singers called Equilibrium Young Artists. She has been a soloist in more than 30 vocal masterpieces in front of the best European orchestras with conductors like Neeme Järvi, Barbara Hannigan, Arvo Volmer, Audrey Saint-Gil, Olari Elts, Risto Joost, Tõnu Kaljuste, Kaspar Mänd, etc. Dede has performed different opera roles in Estonia and abroad. She has won prizes from competitions in Estonia, Sweden, and Finland. Dede received her master's degree from Sibelius Academy in Finland and her bachelor's degree from the Estonian Academy of Music and Theatre, where she is currently pursuing her doctoral degree.

tuurielo@gmail.com

Veeda Kala (1994) on muusikapsühholoogia uurija. Eesti Muusika- ja Teatriakadeemias lõpetas ta 2018. a bakalaureuseõppe klaveri erialal (juhendajaks Age Juurikas) ja 2020. a cum laude magistrantuuri muusikateaduses (juhendaja prof. Jaan Ross), kõrvalerialaks klaveripedagoogika (vanemlektor Mati Mikalai). 2020–2022 õpetas ta solfedžot, muusikalugu ja klaverit Kiili Kunstide Koolis. Alates 2022. aastast töötab V. Kala Eesti Muusika- ja Teatriakadeemias doktorant-nooremteadurina muusikateaduse suunal (juhendaja teadur Marju Raju).

Veeda Kala (1994) is a researcher in the field of psychology of music. In 2018 she graduated from classical piano at the Estonian Academy of Music and Theatre (Age Juurikas being her tutor). In 2020 she defended cum laude her master's thesis in her main field of study, musicology and psychology of music (Prof. Jaan Ross as the supervisor), and the minor field of study – piano pedagogy (Mati Mikalai as the tutor). In 2020–2022 she taught solfeggio, history of music and piano at Kiili Kunstide Kool. Since 2022 she has continued at the Estonian Academy of Music and Theatre as a doctoral student as well as Junior Research Fellow in the field of psychology of music (supervisor – researcher Marju Raju).

veeda.kala@eamt.ee

Einar Meister Einar Meister lõpetas Tallinna Polütehnilise Instituudi 1982. aastal elektroonika erialal ja 1998. aastal kaitses ta magistritöö infotehnoloogias. 2003. aastal kaitses ta Tartu Ülikoolis doktoritöö üldkeeleteaduse alal.

Alates 1982. aastast on ta töötanud Küberneetika Instituudis erinevatel ametikohtadel, sealhulgas insenerina, teadurina ja vanemteadurina ning juhtis foneetika ja kõnetehnoloogia laborit aastatel 1990–2016. Alates 2017. aastast on ta vanemteadur Tallinna Tehnikaülikooli keeletehnoloogia laboris. Aastatel 2018–2020 oli ta Ida-Soome ülikooli üldkeeleteaduse professor. Tema peamised uurimisvaldkonnad on eesti keele foneetika, võõrkeele aktsendi akustika ja taju, vanuse ja sooga seotud variatsioonid kõnes, samuti ta on loonud mitmeid kõne korpusi ja arendanud kõnetehnoloogia rakendusi.

Einar Meister graduated from Tallinn Polytechnic Institute in 1982 with a degree in electronics and in 1998 he defended his master's thesis in information technology. In 2003, he completed his doctoral thesis in general linguistics at the University of Tartu. Since 1982, he has worked at the Institute of Cybernetics in various positions, including that of an engineer, researcher, and senior researcher, and also led the Phonetics and Speech Technology Laboratory from 1990 to 2016. Since 2017, he has been a senior researcher at the Language Technology Laboratory of Tallinn University of Technology. From 2018 to 2020, he held the position of professor of general linguistics at the University of Eastern Finland. His main research areas include Estonian phonetics, acoustics and perceptual aspects of foreign language accent, variations in speech related to age and gender, and he has also created several speech corpora and developed speech technology applications.

ORCID 0000-0002-2179-735X

einar.meister@taltech.ee

Lya Meister töötab Tallinna Tehnikaülikooli keeletehnoloogia laboratooriumis teaduri ametikohal. 2005. aastal kaitses ta Tallinna Pedagoogikaülikoolis magistrikraadi (*cum laude*) "Vene aktsent eesti keeles. Akustiline analüüs." 2011. aastal kaitses doktorikraadi Tartu Ülikoolis "Eesti vokaali- ja kestuskategooriad vene emakeelega keelejuhtide tajus ja hääluses." Teadustöö peamised suunad on inimkõne foneetilised aspektid, eelkõige kõne variatiivsuse akustilised ja pertseptiivsed tunnused, võõrkeelne aktsent, kõnekorpused.

Lya Meister works as a researcher at the Language Technology Laboratory of Tallinn University of Technology. In 2005, she defended her master's degree (*cum laude*) at Tallinn Pedagogical University with a thesis titled "Russian accent in

Estonian: Acoustic analysis”. In 2011, she completed her doctoral degree at the University of Tartu with a thesis titled “The perception and production of Estonian vowel and duration-based categories by non-native subjects with Russian-language background: An experimental phonetic study”. Her primary research areas include phonetic aspects of human speech, particularly acoustic and perceptual features of speech variation, foreign language accent, and speech corpora.

ORCID 0000-0001-8815-9566

lya.meister@taltech.ee

Marju Raju on Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia muusikapsühholoogia teadur ja lektor ning uurimiseetika nõustaja. Marju Raju on Eesti Noorte Teaduste Akadeemia asutajaliige.

Marju Raju (PhD) is a researcher and lecturer of music psychology at the Estonian Academy of Music and Theatre (EAMT), and appointed advisor for research ethics integrity. Marju Raju is a founding member of the Estonian Young Academy of Sciences.

ORCID 0000-0002-1479-680X

marju.raju@eamt.ee

Jaan Ross on Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia muusikateaduse emeriitprofessor. Ta lõpetas 1980. aastal Eesti Muusika- ja Teatriakadeemia *cum laude* muusikateadlase ja pedagoogina, 1988. a. kaitses kunstiteaduste kandidaadi väitekirja “Konsonantsuse objektiivsed eeltingimused muusikas” Leedu Muusika- ja Teatriakadeemias ning 1992. a. psühholoogiadoktori väitekirja Turu Abo Akadeemias. Ross on mitmete Eesti ja välismaa teadusühingute liige. Eesti Teaduste Akadeemia liikmeks valiti Ross 2003. aastal, aastatel 2009–2018 oli ta Euroopa Kognitiivsete Muusikateaduste Ühingu (ESCOM) juhatuse liige.

Jaan Ross graduated *cum laude* from the Estonian Academy of Music and Theatre as a musicologist and educationalist in 1980, defended his first doctoral thesis “Objective preconditions of consonance in music” in studies of arts at the Lithuanian Academy of Music and Theatre in 1988, and his second doctoral dissertation in psychology at Åbo Akademi University in 1992. Ross is a member of several Estonian and international scientific societies. He was elected

Allan Vurma, Tuuri Dede, Veeda Kala, Einar Meister, Lya Meister, Marju Raju, Jaan Ross

a member of the Estonian Academy of Sciences in 2003; in 2009–2018 he was a board member of the European Society for the Cognitive Sciences of Music.

ORCID 0000-0003-0457-0265

jaan.ross@gmail.com