



Áhrif hljóðrófs á skynjun sérhljóðslengdar í íslensku

Benóný Þór Björnsson
Heiðar Hrafn Halldórsson

Lokaverkefni til BS-gráðu
Sálfræðideild
Heilbrigðisvísindasvið



HÁSKÓLI ÍSLANDS

Áhrif hljóðrófs á skynjun sérhljóðslengdar í íslensku

Benóný Þór Björnsson
Heiðar Hrafn Halldórsson

Lokaverkefni til BS-gráðu í sálfræði
Leiðbeinandi: Jörgen Leonhard Pind

Sálfræðideild
Heilbrigðisvísindasvið Háskóla Íslands
Júní 2012

Ritgerð þessi er lokaverkefni til BS gráðu í sálfræði og er óheimilt að afrita ritgerðina á nokkurn hátt nema með leyfi rétthafa.

© Benóný Þór Björnsson og Heiðar Hrafn Halldórsson, 2012.

Prentun: Háskólaprent.

Reykjavík, Ísland 2012

Þakkarorð

Sameiginlega viljum við þakka leiðbeinanda okkar, Jörgen Leonhard Pind fyrir góð störf og þjónustu í okkar þágu sem og öðrum kennurum og starfsmönnum sálfræðideildar.

Benóný: Ég vil þakka foreldrum mínum, Birni og Guðrúnu fyrir þann stuðning sem þau hafa veitt mér í gegnum árin. Einnig vil ég þakka bróður mínum, Steinari og systur, Kolbrúnu.

Heiðar: Ég vil þakka kærustu minni, Snædís Birnu fyrir góðan stuðning gegnum námið.

Foreldrar mínir, sem og tengdaforeldrar hljóta alúðlegar þakkir fyrir stuðning af ýmsu tagi.

Einnig vil ég þakka Smára Sigurðssyni enskukennara, en án kynna minna við hann hefði ég líklega aldrei hafið sálfræðináám.

Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	4
Útdráttur	5
Inngangur	6
Undirstöður hljóðmyndunar, hljóðskynjunar og tals	8
Formendur	10
Málhljóð í íslensku	11
Upphaf talskynjunarrannsókna	13
Talviðmiðunarkenning.....	15
Íslenskar rannsóknir á tal og hljóðskynjun	15
Undirstöður þessarar rannsóknar	19
Markmið rannsóknar.....	22
Aðferð.....	23
<i>Þátttakendur</i>	23
<i>Áreiti</i>	23
<i>Mælitæki</i>	26
<i>Rannsóknarsnið</i>	26
<i>Frankvæmd</i>	26
<i>Tölfræðileg úrvinnsla</i>	27
Niðurstöður.....	28
Umræða	32
Talvísbendi	33
Furðuleg reynsla	33
Rannsakendur í samanburði við aðra þátttakendur.....	35
Svartímar	36
Heimildir	37

Útdráttur

Framkvæmd var rannsókn á skynjun sérhljóðalengdar tveggja sérhljóða, [a] og [ε]. Markmið rannsóknarinnar var meðal annars að reyna að skera úr um hvort að svartími þátttakenda væri lengri eftir því sem sérhljóð í orði lengdist, einnig að kanna mun á skynjun [a] og [ε]. Þátttakendur voru 24 og skiptust þeir í tvo hópa. Annar hópurinn tók þátt í tilraun sem innihélt áreitaraðirnar „sagg-sak“ með tveimur mismunandi rímlengdum, 300 ms (ellefu mismunandi sérhljóðalengdir) og 400 ms (14 mismunandi sérhljóðalengdir). Hinn hópurinn tók þátt í tilraun sem innihélt áreitaraðirnar „segg-sek“ sem höfðu þrenns konar formendabil og 14 mismunandi sérhljóða. Niðurstöður sýndu ekki umræddan svartímamun við lengra sérhljóð. Hinsvegar hafði rímlengd áhrif á skynjun sérhljóðalengdar í sak/sagg orðum og hljóðróf sérhljóðanna í sek/segg orðunum hafði marktæk áhrif á svartímamynstur í skynjun þeirra.

Inngangur

Sálfræði hefur verið til sem undirflokkur heimspeki allt frá tímum forngríkkja, aðallega í formi hugarheimspeki. Saga sálfræðinnar sem sér grein innan vísindanna hefst þó ekki fyrr en á 19. öld í Þýskalandi, og bera þar af þrjú nöfn; Wilhelm Wundt, stofnandi fyrstu rannsóknarstofunnar í sálfræði, Gustav Fechner, faðir sáeðlisfræðinnar og fyrsti maðurinn til þess að gefa út rit um slíkt efni, og Hermann von Helmholtz, einn seinasti þúsundþjalasmiður vísindanna, sem var brautryðjandi bæði í lífeðlisfræði og eðlisfræði ásamt framlögum hans til sálfræði (Boring, 1957).

Ekki eru allir á eitt sáttir með hvar draga á mörkin fyrir upphaf vísindalegrar sálfræði, en almennt eru þau talin hafa verið þegar Wilhelm Wundt stofnaði hina fyrstu formlegu rannsóknarstofu í tilraunasálfræði árið 1879 í Leipzig. Helsta röksemdafærslan fyrir því að kalla Wundt upphafsmann tilraunasálfræðinnar er sú að hann náði að koma tilraunasálfræði inn í akademískt umhverfi fyrstur manna, en einnig það að hann er fyrsti maðurinn sem fólk kallaði með öllu sálfræðing. Sálfræði hafði verið stunduð áður, en þeir sem stunduðu hana hafa almennt séð verið taldir undir önnur fög, Fechner var fyrst eðlisfræðingur og svo heimspekingur og Helmholtz var eðlisfræðingur og lífeðlisfræðingur (Boring, 1957). Í Leipzig rannsakaði Wundt fyrst og fremst upplifun fólks við ákveðnum áreitum eða aðstæðum þar sem hann hafði fulla stjórn á öllu því sem fram fór. Þátttakendur í rannsóknum hans voru látnir upplifa einhver ákveðin áreiti í aðstæðum þar sem rannsakendur höfðu fulla stjórn, og einfaldlega beðnir að lýsa hver upplifun þeirra væri. Þessi tegund innskoðunar var öðruvísi en það sem hafði tíðkast áður hjá hugarheimspekingum eins og Descartes, þar sem öll innskoðun í rannsóknarstofu Wundts átti sér stað í stöðluðum, endurtakanlegum aðstæðum (Leahey, 2004).

Aðrir vilja meina að tilraunasálfræði hafi byrjað fyrr, eða með riti Gustavs Fechner *Elemente der Psychophysik*, þar sem Fechner lagði línurnar fyrir sáeðlisfræði. Wundt sjálfur

benti á mikilvægi rannsókna Fechners í verkum sínum 1862 og 1863 (Boring, 1957). Fechner var áhugasamur um svokallaða skynþröskulda, eða hve mikla breytingu á áreiti þarf til þess að manneskja upplifi breytingu. Dæmi um slíkan skynþröskuld er hve mikinn sykur þarf að setja í líter af vatni til þess að finna bragðmun, eða hve mikilli þyngd þarf að bæta við lóð sem haldið er á til þess að finna þyngdarmun. Fechner komst að því að breytingar á skynþröskuldum voru kerfisbundnar, t.d. að til þess að finna mun á þyngd lóða sem haldið var á þurfti alltaf að bæta við sirka einum fertugasta, þannig að til þess að finna mun á breytingu þegar einstaklingur heldur á 40 grömmum þarf að bæta við einu grammi, en til þess að maður finni mun þegar maður heldur á 400 grömmum þarf að bæta við 10 grömmum. Fechner gaf þessu fyrirbæri nafn og nefndi það í höfuðið á manninum sem fyrstur sýndi fram á þessar kerfisbundnu breytingar, og kallaði það því lögmál Webers. Lögmál Webers segir að skynjanlegur breytileiki í styrk áreitis er fast hlutfall magns þess áreitis. Út frá þessu lögmáli bjó Fechner til fyrstu stærðfræðiformúluna sem lýsir skynjun okkar: $S = k \log R$, þar sem S , sálræn upplifun, er lógaritmi af áreitisstyrk, $\log R$, margfaldað með fasta, k . Þetta lögmál segir okkur það að þeim mun sterkara sem áreitið er, þeim mun meiri breytingu í styrkleika þarf til þess að upplifa breytingu (Wolfe og félagar, 2009).

Hermann von Helmholtz var einn af merkustu vísindamönnum 19. aldar. Hann var brautryðjandi á sviði eðlisfræðinnar, lífeðlisfræðinnar og sálfræðinnar. Segja má að upphaf áhuga hans á því sem nú fellur undir sálfræði hafi byrjað meðan hann var prófessor í lífeðlisfræði við háskólann í Königsberg, þar sem áhugi hans á lífeðilsfræðilegum undirstöðum sjónskynjunar fyrst vaknaði. Árið 1856 gaf hann út fyrsta bindi bókarinnar *Handbuch der physiologischen Optik*, sem síðan varð undirstöðurit fyrir sjónskynjunarrannsóknir. Árið 1856 tók hann stöðu sem prófessor í Bonn, þar sem áhugi hans á skynjun jókst og þar vaknaði áhugi hans á heyrn. Á árunum 1858-1871 var Helmholtz prófessor í lífeðlisfræði við Heidelberg, og á þeim tíma gaf hann út seinustu tvö bindin af

Optik, en einnig gaf hann út ritið *Tonempfindungen (On the sensations of tone)*, sem seinna átti eftir að verða undirstöðurit í rannsóknum sálfræðinga á heyrnarskynjun (Boring, 1957).

Undirstöður hljóðmyndunar, hljóðskynjunar og tals

Eins og segir í upphafi fyrsta kaflans í bók Hermann von Helmholtz *On the sensations of tone* (1863/1954): „Sensations result from the action of an external stimulus on the sensitive apparatus of our nerves“. Hljóð verða til við titring hluta. Hreyfing hljóðgjafans veldur hreyfingu í sameindum í kringum hljóðgjafann sem valda þrýstingsbreytingu í miðli hljóðsins. Hægt er að bera hljóðbylgjur saman við bylgjur sem verða til þegar steini er kastað út í lygna tjörn. Steinninn lendir í vatninu og veldur hreyfingu í vantssameindunum í kringum staðinn þar sem hann lendir. Hreyfing fyrstu sameindanna er ekki mikil, en nóg til þess að ýta á næstu sameindir og svo koll af kolli þannig að bylgjan sem myndast þegar steinninn lendir í vatninu berst áfram út frá upprunalega staðnum þar sem hann lenti án þess þó að hver sameind hreyfist mikið til (Wolfe og félagar, 2009). Helsti munur á hljóðbylgjum og gárum á vatni er sá að gárunar á vatninu ferðast bara ofan á yfirborði vatnsins, meðan að hljóðbylgjur ferðast til allra átta í andrúmsloftinu (Helmholtz, 1863/1954).

Hljóðskynjun, sem sálræn upplifun, hefst í eyranu, þar sem hljóð eru tekin og kóðuð yfir í taugaboð. Eyrað er samsett úr þremur pörtum: ytra eyra, miðeyra og innra eyra. Ytra eyra samanstendur af hinum sjáanlega hluta eyrans, en sá partur er ábyrgur fyrir því að safna saman hljóðum og veita þeim í gegnum hlustina, hinn hlut ytra eyrans, að hljóðhimnu. Hljóðhimnan liggur á mörkum ytra- og miðeyrans, og hreyfist til og frá með þrýstingsbreytingum í hljóðbylgjum. Miðeyrað samanstendur af þremur smábeinum sem magna upp hljóðbylgjur. Fyrsta smábeinið, hamarinn, er tengdur við hljóðhinnuna á öðrum endanum og við annað smábeinið, steðjann, á hinum endanum. Steðjinn tengir saman hamarinn og ístaðið, þriðja smábeinið, og ístaðið tengist síðan við eggлага glugga á hinum

endanum. Egglaga glugginn er önnur himna, líkt og hljóðhimnan, sem tengir saman miðeyrað og innra eyrað. Hljóðhimnan, sem hreyfir hamarinn, er hins vegar 18 sinnum stærri en egglaga glugginn, sem er hreyfður af ístaðinu, og það veldur því að þrýstingurinn sem er á hljóðhimnunni verður u.þ.b. átjánfaldur á egglaga glugganum. Hlutverk innra eyrans, í grófum dráttum, er að breyta hljóðbylgjum umhverfisins í taugaboð. Egglaga glugginn liggur á líffæri sem kallast kuðungur. Í kuðungnum eru þrjár vökvafylltar rásir sem bera þrýstingsbreytingar frá egglaga glugganum. Hreyfing á líffæri Cortis, sem liggur í miðrásinni, vegna þrýstingsbreytinga í vökvunum veldur því að hárfurur, frumur sem eru sérhæfðar í því að breyta þrýsting yfir í taugaboð, hreyfast til og strjúkast upp við himnu. Þessi núningur veldur losun taugaboðefna um taugamót og veldur það því að heyrnataugar senda skilaboð til heilans, því meiri sem þrýstingurinn er, þeim mun meiri verður núningurinn og meiri losun taugaboðefna (Wolfe og félagar, 2009).

Málhljóð eru sér á báti, og einstök fyrir mannskepnuna. Maðurinn getur framkallað fjöldann allan af mismunandi málhljóðum, en í þeim u.þ.b. 5000 tungumálum sem til eru notar maðurinn um 850 mismunandi málhljóð (Wolfe og félagar, 2009). Hljóðmyndun er flókið ferli sem þarfnast samhæfingar margra hluta, þar af ber helst að nefna lungun, raddböndin og talsíuna (vocal tract), eða munnhol og kok. Þindin þrýstir lofti úr lungunum upp barkann og upp að barkakýli. Þar þarf loftið að fara í gegnum raddböndin og eftir því sem þau eru strektari þeim mun hærri verður grunntíðni (fundamental frequency) samsettu, lotubundnu hljóðbylgjunnar sem kemur fram. Með því að beita talfærunum sem eru fyrir ofan raddböndin er hægt að móta styrk einstakra tóna innan hljóðrófsins sem verður til í raddböndunum í nothæf málhljóð. Þannig virka efri talfærin í raun sem hljóðsía. Við þetta verða til ákveðnar tindar í tíðnirófi málhljóðsins þar sem ákveðnar tíðnir, þær sem eru á samhljómunarsviði munnholsins, eru áberandi háværi en aðrar. Þessir tindar eru kallaðir

formendur og hægt er að greina í sundur nærri því öll máhljóð með tilliti til þriggja dýpstu formendanna (Wolfe og félagar, 2009).

Formendur

Hér fyrir ofan var gefin ein útskýring á því hvað formendur eru, en einnig er hægt að útskýra það eins og segir í grein Ástu Svavarsdóttur, Halldórs Ármanns Sigurðssonar, Sigurðar Jónssonar og Sigurðar Konráðssonar (1982):

Formendur eru samhljómunarsvið munnhols ... líta má á munnhol (vocal tract) sem hljóðpípu. Eins og aðrar slíkar (t.d. í blásturshljóðfærum) myndar þessi hljóðpípa samhljómun (resonance) á ákveðnum tíðnisviðum við utanaðkomandi (frá hljóðgjafa) hljóðbylgjur. Þessi tíðnisvið eru samhljómunarsvið hljóðpípunar. ... Við sérhljóðamyndun eru raddbönd hljóðgjafí, munnhol hljóðpípa ... og formendur samhljómunarsvið þeirrar hljóðpípu.

Formendur eru því mismunandi eftir því hver lögun munnhols er þegar mismunandi sérhljóðar eru myndaðir. Þrennt skiptir þar höfuðmáli, en það er staðsetning minnstu opnu í munnholi, stærð þessarar opnu og kringing vara. Formendur eru einnig mismunandi eftir kyni og aldri þess sem talar, þar sem lengd munnholsins skiptir máli. Þeim mun styttra sem munnhol einstaklings er, þeim mun hærra verður tíðnisvið samhljómunar. Þar sem karlar eru almennt með lengra munnhol en konur og fullorðnir með lengra munnhol en börn verða sérhljóðaformendur fullorðinna karlmannna dýpri en sérhljóðaformendur fullorðinna kvenna og sérhljóðaformendur fullorðinna kvenna dýpri en hjá börnum (Ásta og félagar, 1982). Sem dæmi var meðaltíðni F_1 (Formendur eru yfirleitt merktir sem F_1 , F_2 o.s.frv. þar sem F_1 er dýpsti formandi) fyrir langt /e/ 471 Hz og 1813 Hz fyrir F_2 hjá körlum í rannsókn Ástu og féлага (1982), á meðan að meðaltíðni F_1 var 617 Hz og F_2 2075 Hz hjá konum. Í þeirri

rannsókn kom einmitt einnig fram að meðaltalsmunur fyrstu þriggja formendanna væri um 16,63% á milli kynjanna, hærri hjá konum.

Málhljóð í íslensku

Íslenska hefur sérhljóða og samhljóða í málfræði sinni. Í íslensku eru bæði stuttir og langir sérhljóðar. Þeir virka yfirleitt þannig að ef það er stuttur sérhljóði í orði koma einn langur eða fleiri stuttir samhljóðar á eftir. Ef það er hinsvegar langur sérhljóði í orði kemur einn stuttur samhljóði í kjölfarið. (Jörgen Pind, 1986). Þrenns konar greinimörk hafa verið notuð til að greina á milli sérhljóða og samhljóða. Í fyrsta lagi er það hlutverk hljóðanna í atkvæðum, það er að segja hvort þau geti borið atkvæði eður ei. Í öðru lagi er það mismunandi hljóðmyndun hljóðanna og í þriðja lagi er það greining á hljóðeðlinu. Sérhljóðar eru öðruvísi en samhljóðar að því leyti til að þeir eru atkvæðabærir. Þeir geta myndað atkvæði jafnvel þó að þeir standi einir og sér. Þegar börnum er kenndur munurinn á sérhljóðum og samhljóðum er algengt að útskýringin sem notast er við sé sú að sérhljóðarnir „segi nafnið sitt sjálfir“. Þegar sérhljóði er myndaður rennur hljóðið hindrunarlaust í gegnum munnhol og út í andrúmsloftið en í samhljóðamyndun myndast fyrirstaða í munnholi sem getur virkað á tvenna vegu. Annarsvegar getur fyrirstaðan lokað fyrir loftstrauminn og leyst hann aftur með einhverskonar hávaða, hinsvegar getur fyrirstaðan valdið einhverskonar hávaða þegar loftið þrýstist út. Þegar flokka skal sérhljóða og samhljóða á hljóðeðlisfræðilegan hátt er mismunandi fyrirstaða á loftstraum í munnholi aftur mikilvæg. Sérhljóð hafa reglulega formendabyggingu vegna óhindraðs loftstraums í munnholi og hafa því lotubundnar hljóðbylgjur sem flokkast sem tónn. Þetta á ekki við um samhljóða, en hljóðbylgjur þeirra flokkast sem hávaði í eðlisfræðilegu samhengi (Kristján Árnason, 2005).

Sérhljóð í íslensku eru 13 talsins. Þau skiptast í átta einhljóð og fimm tvíhljóð. Hljóðgildi einhljóðs haldast samfelld í gegnum allt hljóðið en tvíhljóðin breytast í miðju

hljóðinu, enda eru þau mynduð úr tveimur mismunandi málhljóðum sérhljóða. Einhljóðin eru [a, ε, I, i, Y, u, ɔ og æ] (a, e, i, ú, u, o og ö) en tvíhljóðin eru [æi, au, ei, ou og ai] (au, á, ei, ó, æ) (Kristján Árnason, 2005; Eiríkur Rögnvaldsson, 1990).

Samhljóð eru töluvert fleiri en sérhljóð og hafa mun meiri aðgreiningu í hljóðmyndun. Þetta stafar af meiri fjölbreytileika í hreyfingum talfæra og tengslum þess við mismunandi eiginleika hljóðs. Þau skiptast í lokhljóð, önglhljóð, nefhljóð, hliðarhljóð og sveifluhljóð. Hér verður látið nægja að gera grein fyrir myndun þriggja fyrstnefndu afbrigðanna. Lokhljóð myndast við lokun loftstraums út um munn á meðan nefgöng lokast með hjálp gómfillu. Það verður til þess að ekkert bergmál verður í nefi og þar með verður loftstreymi úr nefi að engu. Hægt er að greina á milli tveggja mismunandi lokhljóða, fráblásinna (til dæmis hljóðið [p^h] sem er þá fremst í orði) og ófráblásinna (til dæmis hljóðið [p] sem kemur þá eftir sérhljóði). Tvennt ræður því hvort lokhljóð eru fráblásin eða ófráblásin. Í fyrra lagi skiptir máli hvort svokölluð raddglufa standi opin eður ei og í seinna lagi taktur hreyfinga munnmyndunar og raddbanda (Kristján Árnason, 2005). Lokhljóð einkennast af ákveðnum hreyfingum formenda sem kallast formendasveigingar. Ástæða þess að formendar sveigjast ótt og títt er breytilegt form munns og koks í tali en afstaða formendanna fer eftir því. Hægt er að segja fyrir um hvers konar hljóð formendarnir mynda eftir því hversu sterkir eða veikir þeir eru og hvar í röð formenda þeir standa. Þannig má búast við lokhljóði ef tíðni fyrsta formanda lýsir sér í snarpri hækkun. Þessu komust Liberman og félagar að eftir að hafa mistekist ætlun sín um að búa til „hljóðstafróf“ fyrir þar til gerða lesvél. Ákveðið var að byrja upp á nýtt og skoða eðli talskynjunar. Greining á hinum raunverulega mun á tali og öðrum hljóðum annarsvegar og talskynjun og heyrnarskynjun hinsvegar var mikilvægt skref fyrir framhaldið. Þessi uppgvötun var nauðsynlegt þúsl í þúsluspilið sem miðar að því að skilja virkni málhljóða í talskynjun (Jörgen Pind, 2005).

Önghljóð myndast við þrengsli í loftstraumi sem verða til vegna snertingar efri og neðra hluta talfæranna. Líkt og í lokhljóðum lokast fyrir loftstraum nefgangna en í önghljóðamyndun fer loft úr lungunum út um munninn og myndar ákveðinn hávaða. Önghljóð geta verið annaðhvort rödduð eða órödduð (Kristján Árnason, 2005). Önghljóð má best greina í heimi formendanna á þann veg að tíðni fyrsta formenda er töluvert lægri í sniðum heldur en tíðni fyrsta formenda lokhljóðs (Jörgen Pind, 2005). Í nefhljóðum er opið loftstreymi um nefið á meðan að lokast um lofstreymi út um munn. Þetta gerist við niðursig gómfyllu og úfsins sem stendur aftast á gómfillunni. Líkt og önghljóð geta nefhljóð ýmist verið rödduð eða órödduð (Kristján Árnason, 2005).

Upphaf talskynjunarrannsókna

Með útgáfu sinni á bókinni *On the sensations of tone* lagði Hermann von Helmholtz grunninn að rannsóknum í tal- og hljóðskynjun. Hljóðskynjunarrannsóknir eftir daga Helmholtz beindust aðallega að sálífæðlislegri skynjun fram á miðja 20. öld þegar Franklin Cooper og Alvin Liberman hófu sína rannsóknarvinnu við Haskins rannsóknarstofuna.

Árið 1939 stofnuðu Caryl Haskins og Franklin Cooper Haskins-rannsóknarstofuna. Í fyrstu voru þar rannsökuð ýmis svið svo sem eðlisfræði, geislun og öreindalíffræði (a. Haskins Laboratories, á.á.). Snemma á 5. áratug seinustu aldar var rannsóknarstofan ráðin af bandarískum stjórnvöldum til þess að meta möguleikann á og hanna tækni sem gæti hjálpað hermönnum sem hefðu blindast í seinni heimsstyrjöldinni. Til þess að aðstoða Cooper í hönnun „hljóðstafrófs“, einskonar hljóðútgáfu af Braille tungumálinu, gekk Alvin Liberman til liðs við Haskins-liða árið 1944. Hljóðstafrófin áttu svo að vera lesin af þar til gerðri lesvél sem breytti rituðu máli í hljóðstafróf. Þessi hljóðstafróf voru búin til með blöndum af hreinum tónum af ýmsum tíðnum, og fór tíðnin eftir því hvaða staf vélin las. Á þeim tíma datt þeim ekki í hug að talað mál hefði nokkra sérstöðu fram yfir önnur hljóð, heldur væri það bara

einskonar lærður kóði sem hægt væri að skipta út fyrir annars konar kóða (Lieberman, 1996). Þeir reyndu að hanna lesvél fyrir þá blindu en komust að því að engin þeirra véla sem þeir reyndu var fullnægjandi sökum þess að hljóðstafróf var engan vegin jafngott til að flytja upplýsingar og tungumál. Ennfremur komust þeir að því að besta lesvélina þeirra gat ekki skilað texta hraðar til hlustanda en því sem nam einum tíunda af þeim hraða sem talað mál gat, svo að vel væri skiljanlegt (b. Haskins Laboratories, á.á). Einnig báru þeir saman hversu erfitt var að læra að þekkja sundur stafi og orð í þessum hljóðstafrófum sínum, og hversu erfitt var að læra að þekkja í sundur orð úr tungumáli sem þeir bjuggu til með því að breyta stöfum orða þannig að orðið hélt ennþá málfræðilegri uppbyggingu (sérhljóðar komu í stað sérhljóða og samhljóðar í stað samhljóða) en var þó töluvert ólíkt því sem fólk átti að venjast. Þetta tungumál kölluðu þeir „Wuhzi“, til heiðurs eins orðanna sem þeir bjuggu til. Þeir komust að því að miklu auðveldara var að læra „Wuhzi“ tungumálið heldur en nokkurt þeirra hljóðstafrófa sem þeir hönnuðu (Lieberman, 1996). Þar sem Lieberman og Cooper hafði ekki tekist ætlun sín um að búa til „hljóðstafróf“ fyrir lesvélina ákváðu þeir að byrja upp á nýtt og skoða eðli talskynjunar. Greining á hinum raunverulega mun á tali og öðrum hljóðum annarsvegar og talskynjun og heyrnarskynjun hinsvegar var mikilvægt skref fyrir framhaldið.

Í lok fimmta áratugarins byrjaði Franklin Cooper að hanna „Pattern Playback“ vélinu sem var ein af fyrstu talvélunum, og lauk hann smíð hennar snemma á sjötta áratugnum. Sú vél breytti hljóðrófsritum yfir í samsvarandi hljóð. Vélin var notuð af Cooper og Lieberman í tilraunum sínum í talskynjun, og á meðan á því stóð gekk Pierre Delattre til liðs við þá. Á sjötta áratugnum komust þeir að því með rannsóknum sínum að hljóðbútar eru yfirleitt ekki einangruð fyrirbæri, heldur væru hljóðfræðileg vísbendi í samhengi hljóðbúta, svonefnd sammyndun (coarticulation) mállhljóða. Þessi sammyndun verður vegna stöðu talfæra þegar eitt hljóð klárast og annað byrjar. Sem dæmi eru talfærin í mismunandi stöðu þegar þau bera fram essið í „So“ heldur en þegar þau bera fram fram essið í „Si“. Á áratugunum sem fylgdu

sérhæfði Haskins rannsóknarstofnunin sig í rannsóknum á töluðu og rituðu máli og var Liberman þar í broddi fylkingar (c. Haskins Laboratories, á.á.).

Talviðmiðunarkenning

Tilraunir Liberman og félaga til að finna stöðug hljóðkenni fyrir máhljóð reyndust erfiðar. Að finna hljóðkenni fyrir einstakt máhljóð var nánast ógjörningur enda aðlaga þau sig hvert að öðru og renna stundum saman (sammyndun). Rannsóknir leiddu einnig í ljós að talskynjun væri eina skynjunin sem væri flokkamiðuð, en með því er átt við að sundurgreining máhljóða ræðst af flokkun þeirra (Jörgen Pind, 2005). Önnur forsenda flokkamiðaðrar talskynjunar sem gert var ráð fyrir var ... „that categorical perception is the result of a learned association between an initial auditory representation and the sensory consequences of the same or different articulatory gestures required to match the acoustic signals“ (Liberman, 1996).

Þessar forsendur voru upphaf talviðmiðunarkenningarinnar sem kom fyrst fram árið 1967. Það sem olli Liberman og félögum hvað mestum heilabrotum var sú staðreynd að fólk skildi allt sem við það væri sagt þrátt fyrir að ekki virtist vera hægt að finna stöðug hljóðkenni einstakra máhljóða. Gert var ráð fyrir að fólk treysti á sjálf sig og þekkingu sína á tali og talfærum. Ástæða þess að fólk gæti greint á milli hljóða sem hefðu eins hljóð í upphafi atkvæðis væri bundið við mismunandi formendasveigingar og þar með talið stöðu talfæra (Jörgen Pind, 2005).

Íslenskar rannsóknir á tal og hljóðskynjun

Fyrsti íslendingurinn til að fjalla um hljóðlengd í íslensku var Stefán Einarsson. Árið 1927 gaf hann út doktorsritgerðina „Beiträge zur Phonetik der isländischen Sprache“, sem myndi þýðast sem „Framlag til hljóðfræði íslenskrar tungu“ (breiðdalssetur.is, 2006). Helsta uppgvötun Stefáns var lengdarmunur á hljóðkerfislega löngum og stuttum máhljóðlum.

Sveinn Bergsveinsson var annar Íslendingur sem telst meðal þeirra fyrstu sem rannsökuðu íslenska hljóðlengd. Rannsóknir hans voru ekki unnar á sama aðferðarfræðilega hátt og rannsóknir Stefáns Einarssonar. Þeir félagar höfðu að vísu báðir notað kymograf við rannsóknirnar og sjálfa sig sem hljóðhafa. Stefán notaði hinsvegar aðeins stök orð en Sveinn notaði orð í samhengi, bæði í samtals- og fyrirlestrarstíl. Rannsóknirnar voru því varla sambærilegar. Sveinn kannaði lengd lokhljóða. Þegar mælingar voru skoðaðar kom í ljós að þær voru töluvert styttri en í rannsóknum Stefáns. Þann mun mátti skýra með því að hljóðlengd er styttri í framburði í miðjum setningum en í stökum orðum. Ólíkt niðurstöðunum í rannsókn Stefáns var ekki hægt að álykta um muninn á löngum og stuttum lokhljóðum í rannsókn Sveins (Eiríkur Rögnvaldsson, 1980).

Fleiri aðilar sem notuðu mælitæki við rannsóknir á íslenskum máhljóðum voru annarsvegar Bandaríkjamaðurinn Sara Garnes og hinsvegar Magnús Pétursson. Garnes komst að því að munur á raunlengd langra og stuttra innistæðra samhljóða næmi aldrei helming, frekar þrír á móti fimm fyrir lokhljóð og fjórir á móti fimm fyrir önghljóð. Magnús Pétursson fann ekki marktækan mun á hljóðkerfislega löngum og stuttum samhljóðum hjá fólki sem talaði sunnlensku. Munur fannst hinsvegar hjá fólki sem talaði norðlensku. Niðurstöður Magnúsar hafa legið undir nokkurri gagnrýni hjá kollegum hans (Eiríkur Rögnvaldsson, 1980).

Lengd máhljóða er ekki sú sama hjá öllum. Þættir eins og talhraði og samhengi orða eru meðal þess sem hafa áhrif á mismunandi máhljóðalengdir milli einstaklinga. Jörgen Pind (1986) tók dæmi um tvær kenningar sem hafa verið gerðar um málefnið. Annars vegar sú kenning er nefnist normalísing að maður skynji máhljóð rétt út frá umhverfislegu samhengi, til dæmis talhraða mælanda. Hinsvegar að dreifni máhljóða sé fyrst og fremst yfirborðskennt fyrirbæri sem sjáist best í því að þegar að hljóðbylgjur séu skoðaðar myndist ákveðið óbreytilegt mynstur sem sé orsök þess að við skynjum máhljóð á réttan hátt.

Niðurstöður sýndu að hlutverk normalísingar var minna en ætla mætti. Það sem meiru máli skipti var hlutfall sérhljóðalengdar af rímlengd, táknað $V/(V+C)$. Hlutfall þetta er áreitisfasti og er ekki algilt í tungumálum. Talhraði getur vissulega haft áhrif á raunlengd máhljóðanna en hann hefur ekki áhrif á hljóðkerfislengd. Hlustendur virðast hafa einhvern ómeðvitan mekanisma sem metur hljóðkerfislega lengd máhljóða með tilliti til talhraða (Jörgen Pind, 2005). Orðin „risa“ og „rissa“ voru notuð í fyrstu tilrauninni og hljóðlengdum innan orðanna breytt á margvíslegan hátt. Notaðar voru tvennar rímlengdir, 320 ms og 370 ms. Eftir því sem sérhljóðið „i“ í „risa“ styttist og samhljóðin lengdust varð svörun þátttakenda æ oftar að þeir hefðu heyrt orðið „rissa“ (Jörgen Pind, 1986). Á þessu má sjá að skynjun fólks á máhljóðum í íslenskum orðum eru háð hlutfalli sérhljóða á móti samhljóða í rímlengd. Þó að einstaklingur tali mishratt ætti hlutfallið milli sérhljóða og samhljóða að vera það stöðugt að sá sem hlustar skynji rétt orð (Jörgen Pind, 2005). Hafa ber í huga að meðallengdir langra sérhljóða og samhljóða hafa mælst svipaðar, það sama á við um samanburð á stuttum sérhljóðum og samhljóðum. Sé því um að ræða orð sem hefur hljóðkerfilega langt sérhljóð á móti hljóðkerfislega stuttu samhljóði ætti að vera auðvelt að skera úr um hvaða orð er verið að segja (Jörgen Pind, 1982; 1993). Það er þó miserfitt eftir lengd ríms (Jörgen Pind, 1986).

Lengd hljóða er ákveðið hljóðkenni fyrir máhljóð. Eitt af þeim fyrirbærum sem hvað mest hefur verið rannsakað á sviði lengdarhljóðkenna máhljóða er svokallaður aðröddunartími (voice onset time). Aðröddunartími skilgreinist sem sá tími sem líður frá því að lokhljóð kemur frá munni og þar til að komandi sérhljóð er raddað. Hann telst því mikilvægt hljóðkenni fyrir fráblástur lokhljóða og röddun (Jörgen Pind, 1999a).

Rannsóknir hafa sýnt að ekki er hægt að útiloka áhrif talhraða á aðröddunartímann. Þegar að hægist á tali lengist verulega á aðröddunartíma fráblásinna lokhljóða á meðan að hann helst stöðugur í ófráblásnum lokhljóðum. (Jörgen Pind, 1995). Þetta eru samsvarandi niðurstöður og hafa fengist í erlendum rannsóknum, til dæmis hjá Miller (1981).

Annað fyrirbæri sem hefur verið rannsakað á þessu sviði er afröddunartími (voice offset time) sem er annað nafn yfir aðblástur. Íslenska er eitt fárra tungumála í heiminum sem hefur aðblástur í málfræði sinni. Þetta hljóðkenni myndast á tvenna vegu. Annarsvegar þegar tvö hörð lokhljóð fara saman, til dæmis í orðunum „köttur“ og „bakka“. Hinsvegar þegar að hart lokhljóð kemur á undan samhljóðunum [l] eða [n] eins og í orðunum „vatn“ og „ætla“. Athygli er vakin á því að sérhljóð sem kemur á undan aðblæstri er ávallt stutt. Lengd sérhljóða hefur mikil áhrif á þau skynmörk sem maður hefur fyrir aðblástur en það sama á ekki við um fráblástur sem verður fyrir litlum áhrifum frá lengd sérhljóðsins sem á eftir kemur (Jörgen Pind, 1999a).

Sérhljóð hljóma ekki öll eins í stuttum og löngum framburði. Þetta á við um sérhljóðin [ε, o og ou] (e, o og ó). Til að gefa dæmi þá hljómar framburðurinn á [ε] ekki eins í orðunum „men“ þar sem sérhljóðið er langt, og „menn“ þar sem sérhljóðið er stutt. Ástæða þessa hljóðkerfislega blæbrigðamunar er mismunur á tíðni formenda eftir því hvort við erum að bera fram langt eða stutt [ε]. Þetta gerir það að verkum að ekki er hægt að lengja stutta sérhljóðið [ε] upp í langt eða öfugt og ætlast til þess að það muni hljóma eðlilega. Það er hinsvegar hægt með sérhljóðana [a, I, i, Y og u] (a, i, í, u og ú), þar sem formendurnir eru eins hvort sem sérhljóðin eru löng eða stutt (Jörgen Pind, 1996). Jörgen Pind (1999b) vildi kanna hvort að munur á löngum og stuttum sérhljóðum væri jafn skýr í tilfelli þeirra sérhljóða sem eru ólík í framburði eftir lengd. Þetta gerði hann með því að láta þátttakendur lesa upp orðin *seki*, *seggi*, *saki* og *saggi* á þrenns konar hraða: hægt, venjulega og hratt. Meðallengdir sérhljóðanna og eftirfarandi lokunar voru svo mældar. Niðurstöðurnar voru mjög sambærilegar á orðunum sem innihéldu [a] og [ε] þrátt fyrir hljóðkerfislegan mun á löngu og stuttu [ε] hljóði. Þetta gefur til kynna að við pössum upp á lengdarhlutföllin í [ε] þrátt fyrir að þurfa þess ekki í raun, þar sem okkur ætti að duga að passa upp á framburðinn. Því erum við með tvö vísbendi þegar kemur að hljóðinu [ε], bæði framburð og áreitistfastann V/(V+C).

Í tilfalli [a] þarf hinsvegar að passa vel upp á lengdarhlutföllin vegna þess að það eru einu vísbendin sem við höfum (Jörgen Pind, 1999b).

Undirstöður þessarar rannsóknar

Talvísbendi hjálpa okkur að greina í sundur mismunandi orð, orðhluta og stafi. Sýnt hefur verið fram á að tvö vísbendi skipta mestu máli þegar kemur að því að greina í sundur lengd sérhljóða og samhljóða í íslensku. Aðalvísbendið í þessum efnum er hlutfall sérhljóða á mótí rímlengd ($V/(V+C)$) (Jörgen Pind, 1995) en það vísbendi er svokallað tímavísbendi (temporal speech cue) en slík vísbendi eru skilgreind af lengd orðhlutans. Hitt vísbendið er hljóðrófslegt, og vísar til þess að til eru sérhljóð í íslensku (eins og áður hefur verið talað um) sem eru mismunandi í formendauppbyggingu eftir því hvort þau eru stutt eða löng, gott dæmi um þetta er sérhljóðið [ε] (Jörgen Pind, 1996).

Rannsókn Jörgens Pind (1998) skoðaði skynjun fólks af tölvugerðum hljóðum sem byggð voru upp á orðunum [sε :k] (sek) og [sε k:] (segg), og áhrif mismunandi formenda á þá upplifun. Þrjár tegundir áreitisins voru notaðar, sem skilgreindust af því hvar formendur orðanna voru festir. Í fyrstu áreitaröðinni var F_1 festur í 475 Hz og F_2 festur í 1800 Hz, í annarri áreitaröðinni var F_1 festur sem 510 Hz og F_2 sem 1700 Hz, og í þriðju áreitaröðinni var F_1 festur í 550 Hz og F_2 festur í 1600 Hz. Lengd sérhljóðsins jókst frá 108 ms upp í 264 ms og var sú breyting gerð í 12 ms skrefum, alls 14 áreiti og því varð heildarfjöldi áreita í tilrauninni 42 (3 formendapör × 14 sérhljóðalengdir). Til þess að halda orðunum alltaf jafn löngum styttist lokhljóðið í enda orðsins alltaf jafn mikið og sérhljóðið lengdist og var það lengst 292 ms en styst 136 ms, þannig hélst rímlengdin alltaf 400ms. Hvert áreiti skiptist því niður í 100 ms önghljóð [s] í upphafi, á eftir því kom sérhljóð og svo lokhljóð sem til samans höfðu rímlengdina 400 ms. Framkvæmd rannsóknarinnar fór síðan þannig fram að þátttakendur, sem voru 13 talsins, voru fyrst látnir hlusta á fimm dæmi sem væru

óumdeilanlega [sɛ :k] og síðan voru þeir látnir hlusta á fimm dæmi sem væru óumdeilanlega [sɛ k:], en þetta var gert til þess að kynna þeim hina gervilegu talgervilsrödd sem bar fram orðin, ásamt því að kynna fyrir þeim áreitni. Síðan tók við æfingarumferð þar sem hvert áreiti var spilað einu sinni og þátttakendur svöruðu til um hvort þeim þótti áreitið vera [sɛ k:] eða [sɛ :k].

Eftir æfingarumferðina tóku við fimm tilraunaumferðir þar sem hvert áreiti var spilað tvisvar og því var hvert áreiti spilað tíu sinnum í heildina. Rannsóknin sýndi fram á það að formendur skiptu töluverðu máli fyrir upplifun fólks á orðunum. Fónemamörk áreitaraðar eitt var við 153.3 ms, við 178 ms fyrir aðra röðina og við 223 ms fyrir þriðju röðina, en fónemamörk vísa til þess hvar mörk sérhljóðaflokkana eru (við 50% gildi á sálmælingarfallinu). Í þessu tilfalli þýðir það að sérhljóðið þurfti að vera lengra fyrir áreitaraðir tvö og þrjú til þess að skynjun þátttakendanna breyttist úr því að skilja sérhljóðið sem stutt yfir í það að skynja það sem langt. Meðalfjöldi [sɛ :k] svaranna meðal þátttakanda þegar fyrsta áreitaröðin var notuð var 92.9, 74.4 þegar önnur röðin var notuð og eingöngu 44.5 í þriðju röðin. Því er hægt að gera ráð fyrir því að hljóðróf sérhljóðans [ɛ] hafi áhrif á skynjun fólks á lengd hans (Jörgen Pind, 1998).¹

Rannsókn Jörgens Pind (2008) bætir ofan á fyrri rannsókn hans (1998). Meðal þess sem bætt var við var ein ný áreitaröð sem byggð var á orðunum *sak* (stofn sagnorðsins að *saka*) og *sagg* (stofn orðsins *saggi*). Áreiti þeirrar raðar svipuðu að öðru leyti til sek/segg áreitaraðanna, 100 ms öngljóð [s] í upphafi og svo 400 ms rímlengd sem fór úr því að var 108 ms sérhljóð og 292 ms samhljóð (lokljóð) yfir í það að vera 264 ms sérhljóð og 136 ms samhljóð. Einnig var þriðja áreitaröðin úr eldri tilrauninni (F₁ 550 Hz; F₂ 1600 Hz) tekin út.

¹ Í þessari ritgerð leyfa höfundar sér að nota tugabrotspunkt í stað tugarbrotskomu.

Ásamt því að mæla svar þátttakenda var svartími einnig mældur. Svörun fór þannig fram að ef þátttakanda heyrðist hljóðin vera *segg* eða *sagg* ýtti viðkomandi á g-takkann á tölvulyklaborði en ef honum heyrðist hljóðið vera *sek* eða *sak* ýtti þátttakandinn á k-takkann. Tilraunin var framkvæmd í e-prime og sá það forrit um að skrá svör og mæla svartíma. Helstu svartímaniðurstöðurnar urðu þær að talsverður munur fannst á svartíma við lægri enda sérhljóðalengdarinnar og miðpunktinum, smávægilegur munur á svartíma við lægri enda sérhljóðalengdarinnar og hærri enda hennar fyrir *sagg/sak* áreitaröðina, og lengsti svartíminn var í kringum fónemamörkin. Eðlilegt væri að ætla að svartíminni væri hæstur þegar sérhljóðalengdin er ekki afgerandi stutt eða löng, heldur liggur þar á milli, en það að munur sé á milli svartíma stystu og lengstu gerðar sérhljóðs er áhugavert, og var það frekar óvænt niðurstaða. Einnig ber að nefna að hvorugur þessara mismuna í svartíma fannst fyrir *segg/sek* áreitaraðirnar (Jörgen Pind, 2008).

Markmið rannsóknar

Í þessari rannsókn verður reynt að endurtaka rannsókn Jörgens Pind frá 2008. Ásamt því að skoða áhrif talvísbenda eins og sérhljóða-rímlengdar hlutfallið og hljóðrófsuppbýggingu á talskynjun, verður sérstaklega lögð áhersla á að skoða svartíma /a/ áreitaraðanna til þess að sjá hvort sama svartímamynstur komi fram og í fyrri tilraun. Tilgangur hennar er að reyna að komast að því hvort um raunverulegt fyrirbæri er að ræða, eða hvort mynstrið sé eingöngu tilviljankennt. Til þess að skoða sérhljóða-rímlengdar hlutfallið sem talvísbendi, verður bætt inn *sagg-sak* áreitaröð með 300 ms rímlengd ásamt þeirri upprunalega 400 ms löngu. Þar sem rímlengd þeirrar áreitaraðar er styttri ættu fónemamörkin að liggja framar (við styttri sérhljóða) en fyrir 400 ms áreitaröðina. Til þess að skoða áhrif formenda á skynjun sérhljóðalengdar verður notast við allar þrjár áreitaraðirnar úr rannsókn Jörgens Pind (1998). Sama mynstur ætti að sjást í flokkun sérhljóða og sást í þeirri rannsókn.

Aðferð

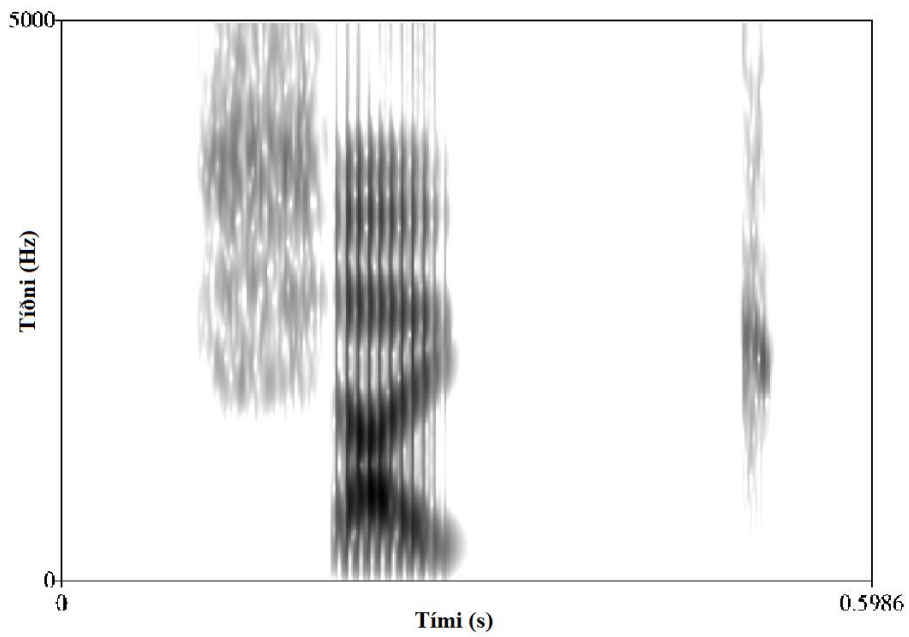
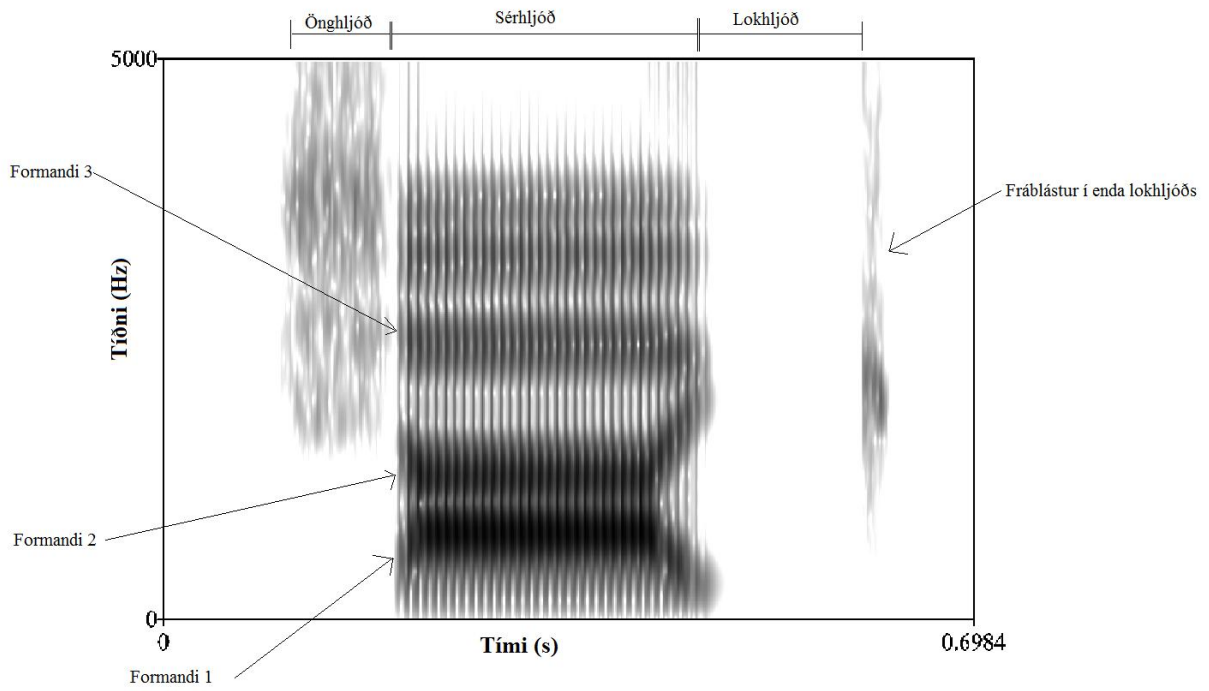
Þátttakendur

Þátttakendur voru 24 talsins, 15 karlar og níu konur. Þeir voru valdir eftir hentugleik utan við fimm nemendur í námskeiði innan sálfræðideildar sem höfðu skráð sig á skráningarblað sem var auglýst í tíma hjá þeim. Þátttakendum var skipt á tilviljunarkenndan hátt upp í tvo jafna hópa sem tóku hvor sína tilraunina. Meðalaldur þátttakenda var í kringum 25 ár.

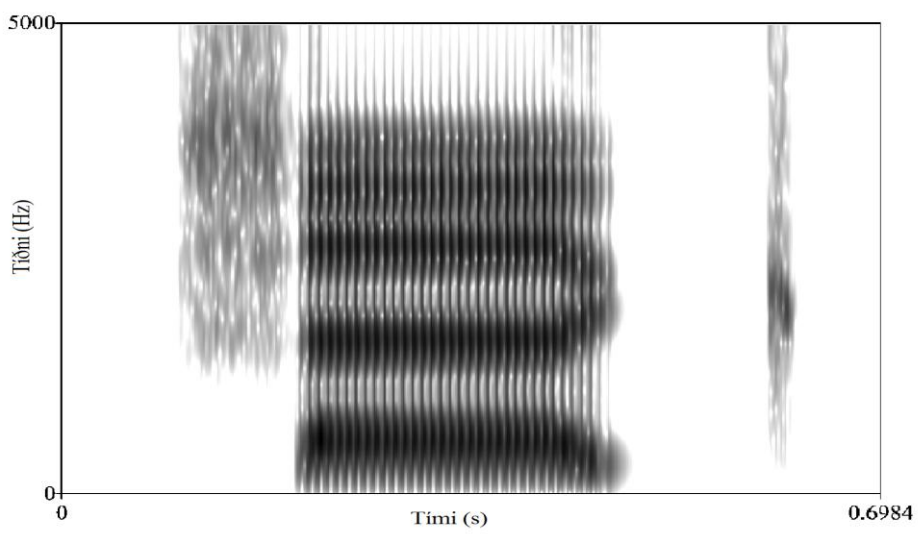
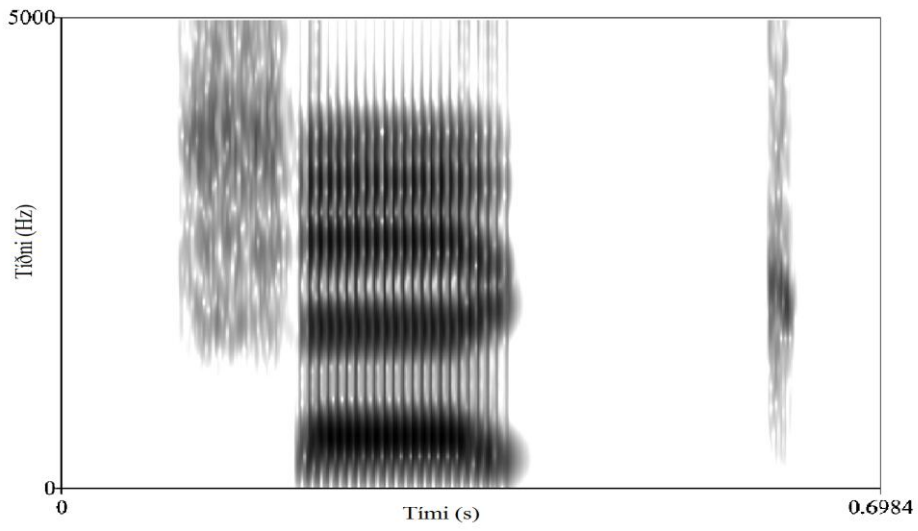
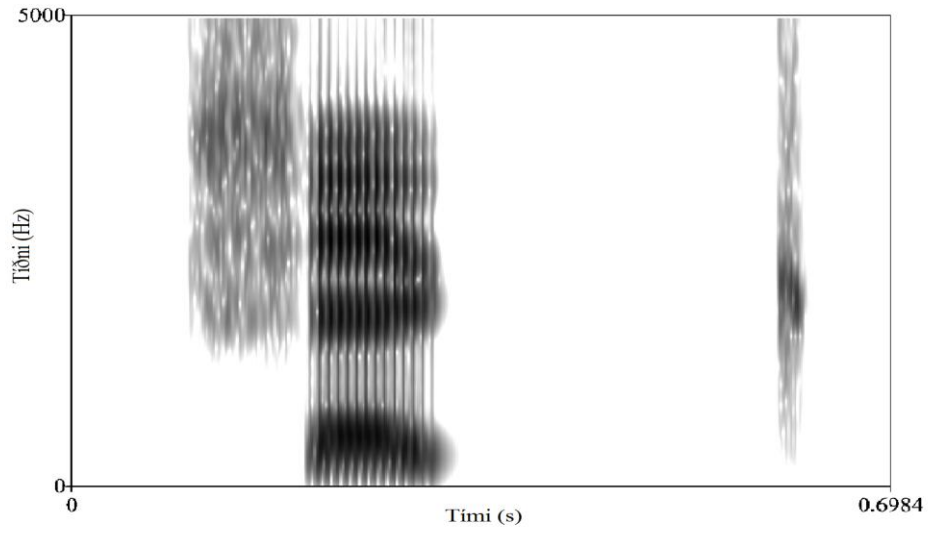
Áreiti

Áreiti í tilraununum voru orðleysurnar „sagg“ og „sak“ í annarri tilrauninni og „segg“ og „sek“ í hinni. Áreitin birtust hljóðrænt í tölvuforritinu E-Prime.

„Sagg-sak“ tilraunin innihélt eina áreitaröð þar sem áreiti höfðu 300 ms rímlengd og eina áreitaröð þar sem áreiti höfðu 400 ms rímlengd. Lengd önghljóðsins [s] var 100 ms þannig að heildarlengd orðsins var 400 ms annarsvegar og 500 ms hinsvegar. Í 300 ms rímlengdinni voru ellefu mismunandi sérhljóðalengdir með tilheyrandi lokunum. Sérhljóðalengdin var styst í 80 ms með 220 ms lokun. Hvert sérhljóð var tólf ms lengra en sérhljóðið á undan og styttist lokunin sem því nam. Lengsta sérhljóðið var 200 ms með 100 ms lokun. Í 400 ms rímlengdinni voru 14 mismunandi sérhljóðalengdir. Stysta sérhljóðið var 108 ms með 292 ms lokun. Það næsta í röðinni lengdist um tólf ms líkt og raunin var í 300 ms rímlengdinni. Lengsta sérhljóðið var 264 ms með 136 ms lokun. Formendar voru festir á eftirfarandi tíðni F_1 - F_5 : 750, 1280, 2450, 3250 og 3700 Hz. Myndir eitt og tvö sýna dæmi af þeim áreitum sem notuð voru í tilrauninni. Mynd eitt sýnir tvö dæmi um sagg/sak áreiti, annars vegar áreiti með 400 ms rímlengd og 264 ms langan sérhljóða, og hins vegar áreiti með 300 ms rímlengd og 80 ms langan sérhljóða.



Mynd 1. Hljóðrófsrit af sagg/sak áreitum, 264 ms sérhljóðsáreiti með 400 ms rímlengd (efra) annars vegar og 80 ms sérhljóðsáreiti með 300 ms rímlengd (neðra) hins vegar.



Mynd 2. Hjórófsrit af sek/segg áreitum með stuttum sérhljóða úr áreitaröð S1 (efst), með miðlungslöngum sérhljóða úr áreitaröð S2 (mið) og með löngum sérhljóða úr áreitaröð S3 (neðst).

Í „segg-sek“ tilrauninni voru allar þrjár áreitaraðirnar með 400 ms rímlengd. Notast var við sömu tólf ms lengingu milli áreita og í „sagg-sak“ tilrauninni. Sérhljóðin voru því fjórtán talsins. Lengd öngljóðs var einnig það sama og í „sagg-sak“ tilrauninni og heildarlengd orðsins því 500 ms. Fyrstu tveir formendarnir voru settir á mismunandi tíðni (kallaðar áreitaraðir S1, S2 og S3). S1 var með fyrsta formanda settan í 475 Hz og annan formanda settan í 1800 Hz. S2 var með fyrsta formandann 510 Hz og annan formandann 1700 Hz, og S3 var með fyrsta formandann 550 Hz og annan formandann 1600 Hz. Formendar F_3 - F_5 voru þeir sömu í áreitaröðunum þremur: 2600, 3250 og 3700 Hz. Á mynd tvö sést dæmi um hljóðrófsrit áreita úr öllum þrem sek/segg áreitaröðunum. Eins og sjá má þegar hljóðrófsritin eru borin saman eru formendurnir mismunandi staðsettir. Efsta hljóðrófsritið sýnir dæmi um áreiti úr S1 áreitaröðinni (F_1 475 Hz, F_2 1800 Hz), og sést að það er töluvert lengra á milli fyrsta og annars formanda en dæmið um áreiti úr S3 áreitaröðinni (F_1 550 Hz, F_2 1600 Hz), en það sést á neðsta hljóðrófsritinu.

Mælitæki

Forritið E-Prime mældi svartíma þátttakenda og skráði hvaða svörun varð fyrir valinu hverju sinni.

Rannsóknarsnið

Notast var við tilraunarannsóknarsnið. Frumbreytur voru sérhljóðalengd og rímlengd í „sagg-sak“ tilrauninni en sérhljóðalengd og formendatíðni í „segg-sek“ tilrauninni. Fylgibreytur voru svartímar og flokkun þátttakenda.

Framkvæmd

Þátttakendur mættu, einn í einu á rannsóknarstofu í kjallara Odda sem er ein af byggingum Háskóla Íslands. Þar tóku rannsakendur á móti þeim og kynntu þeim fyrir helstu atriðum tilraunarinnar, en hún fór fram í hljóðklefa sem er sérstaklega ætlaður tilraunum sem þessum. Þátttakendur voru látnir setja upp heyrnatól sem voru faststillt á styrk 70 í Windows Media

Player. Í heyrnartólunum hljómaði svo áreiti sem gat verið annaðhvort „sagg/sak“ í fyrri tilrauninni eða „segg/sek“ í seinni tilrauninni. Í „sagg-sak“ tilrauninni var um að ræða einn æfingabálk og fimm tilraunabálka sem allir spiluðu 25 mismunandi áreiti. Hvert áreiti var spilað tvisvar sinnum. Áreitin höfðu tvennskonar rímlengdir. Í „segg-sek“ tilrauninni voru einnig einn æfingabálkur og fimm tilraunabálkar en þar voru hinsvegar 42 mismunandi áreiti í hverjum bálk. Hvert áreiti var spilað tvisvar sinnum. Í báðum tilraununum spiluðust áreitin algjörlega í tilviljunarkenndri röð. Þátttakendur fengu þau fyrirmæli að styðja á „g“ hnappinn á lyklaborði tölvunnar ef þeim heyrðist áreitið vera „sagg“ eða „segg“, en „k“ ef því heyrðist áreitið vera „sak“ eða „sek“. Þetta áttu þeir að gera eins fljótt og þeir treystu sér til. Þegar rannsakendur höfðu fullvissað sig um að þátttakendur skildu hvað tilraunin gengi út á lokuðu þeir hurðinni á hljóðklefanum og gáfu þátttakendum næði til að vinna tilraunina. Eftir að hver þátttakandi hafði lokið tilrauninni fóru rannsakendur inn í hljóðklefann til að fullvissa sig um að öll áreiti hefðu komið fram og þeim verið svarað.

Tölfræðileg úrvinnsla

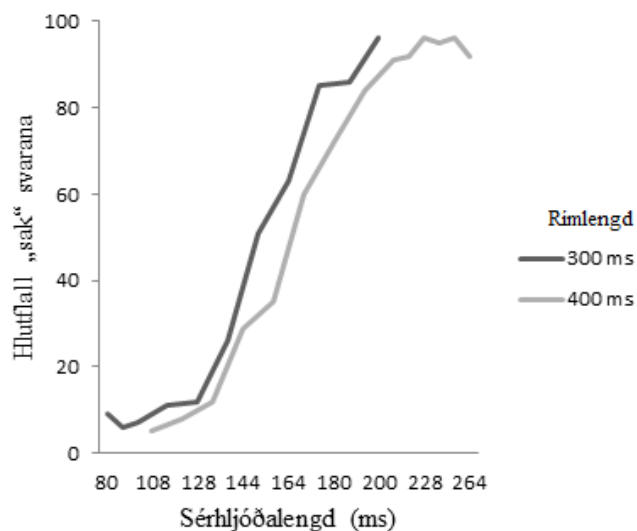
Gögn þriggja þátttakenda í segg/sek tilrauninni og gögn tveggja í sagg/sak tilrauninni voru tekin út þegar verið var að skoða svarmynstur. Ástæðan fyrir því er sú að svarmynstur þessara þátttakenda litu út fyrir að vera tilviljanakennd og samræmdust ekki því sem vitað er að svarmynstur í tilraun sem þessari eiga að vera. Einnig voru svör eins þátttakenda í sagg/sak tilrauninni endurkóðuð þannig að „g“ svaranir hjá viðkomandi yrðu „k“ svaranir og öfugt. Þetta var gert þar sem svarmynstur þess þátttakenda var þveröfugt við það sem vitað er að svarmynstur eigi að vera í tilraun af þessu tagi og var gert ráð fyrir að viðkomandi hefði misskilið leiðbeiningar og víxlað hvenær ætti að styðja á hvorn takka. Við skoðun á svartímum voru frávillingar miðaðir við þrjú staðalfrávik frá meðaltali. Frávillingar voru reiknaðir fyrir hvern þátttakenda fyrir sig. Tölfræðileg úrvinnsla fór fram í forritunum E-Prime, R og SPSS.

Niðurstöður

Mynd þrjú sýnir flokkun þátttakenda fyrir segg/sek áreitaraðirnar og mynd fjögur sýnir flokkun fyrir sagg/sak áreitaraðirnar. Fónemamörk voru reiknuð (með Probit-aðferð) fyrir áreitaraðirnar, og voru meðalfónemamörk fyrir sagg/sak áreitaraðirnar við 152.81 ms ef rímlengd var 300 ms og við 165.68 ms ef rímlengd var 400 ms. Gert var t-próf til þess að athuga hvort marktækur munur væri á fónemamörkum „a“ áreitaraðanna og reyndist svo vera $t(18) = 2.71, p < .014$. Meðalfónemamörk segg/sek áreitaraðanna voru við 171.22 ms fyrir S1 áreitaröðina, við 181.99 ms fyrir S2 áreitaröðina og við 217.34 ms fyrir S3 áreitaröðina. Gerð var dreifigreining til þess að athuga hvort munur var á fónemamörkum „e“ áreitaraðanna og reyndist svo vera, $F(2, 24) = 12.854, p < 0.001$. Notast var við t-próf til þess að athuga mun á stökum áreitaröðum og var marktækur munur á röðum S1 og S3, $t(13) = 4.02, p = .0014$ og á röðum S2 og S3, $t(9) = 3.51, p < .001$.



Mynd 3. Flokkun þátttakenda á segg/sek áreitaröðum. Meðaltal níu þátttakenda.

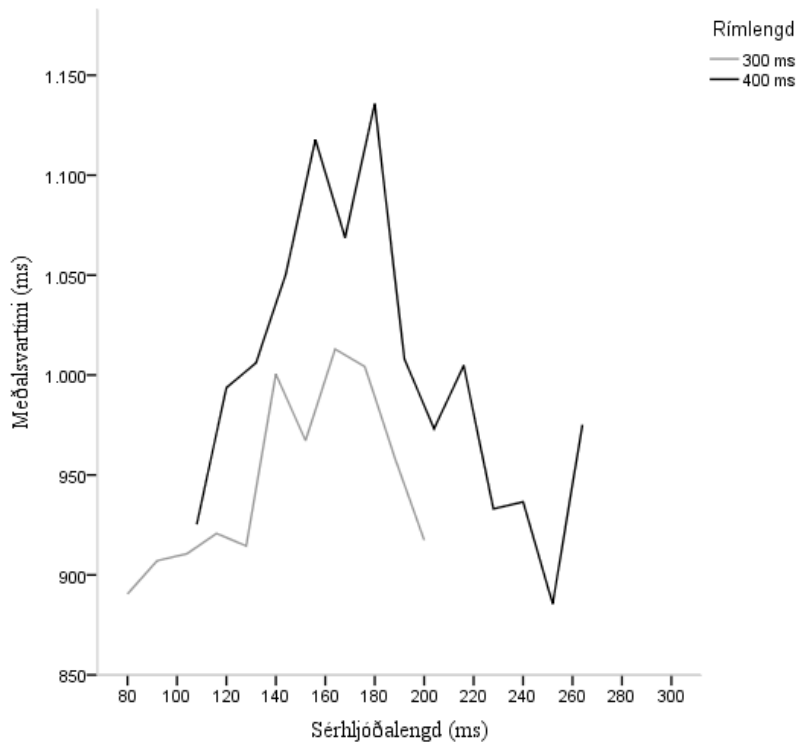


Mynd 4. Flokkun þátttakenda á sagg/sak áreitaröðum. Meðaltal tíu þátttakenda.

Meðalsvartímar fyrir sagg/sak áreitaraðirnar voru 945.74 ms fyrir áreitaröðina með 300 ms rímlengd en 1000.62 ms fyrir áreitaröðina með 400 ms rímlengd, og er sá munur marktækur, $t(1299) = 5.911, p < .001$. Eins og sést á mynd 5 er töluverðan mun að finna á svartímum milli 300 ms og 400 ms. Meðalsvartímarnir fyrir 400 ms eru á mun breiðara tímabili og ná mun hærri toppi heldur en meðalsvartímar fyrir 300 ms.

Framkvæmd voru þöruð t-próf þar sem að þrjár lengdir sérhljóða (stysti, mið- og lengsti sérhljóði) voru bornar saman í báðum rímlengdunum. Meðaltöl fyrir stysta, mið- og lengsta sérhljóða í 300 ms rímlengdar áreitaröðinni voru 890.48 ms, 1068.80 ms og 917.45 ms. Niðurstöður fyrir 300 ms sýndu marktækan mun á stysta sérhljóðanum og miðsérhljóðanum (80/168) $t(116) = 3.567, p = .001$ og miðsérhljóðanum og lengsta sérhljóðanum (168/200) $t(116) = 3.383, p = .001$. Ekki fannst munur á stysta og lengsta sérhljóðanum eða sem hér segir (80/200) $t(118) = .913, p = .363$. Niðurstöður fyrir 400 ms sýndu samskonar niðurstöður og voru fyrir 300 ms. Meðaltöl stysta, mið- og lengsta sérhljóða í 400 ms rímlengdar áreitaröðinni voru 925.29 ms, 1135.68 ms og 975.09 ms. Munur var á svartímum fyrir stysta sérhljóðann og miðsérhljóðann (108/180) $t(117) = 4.638, p < .001$ og

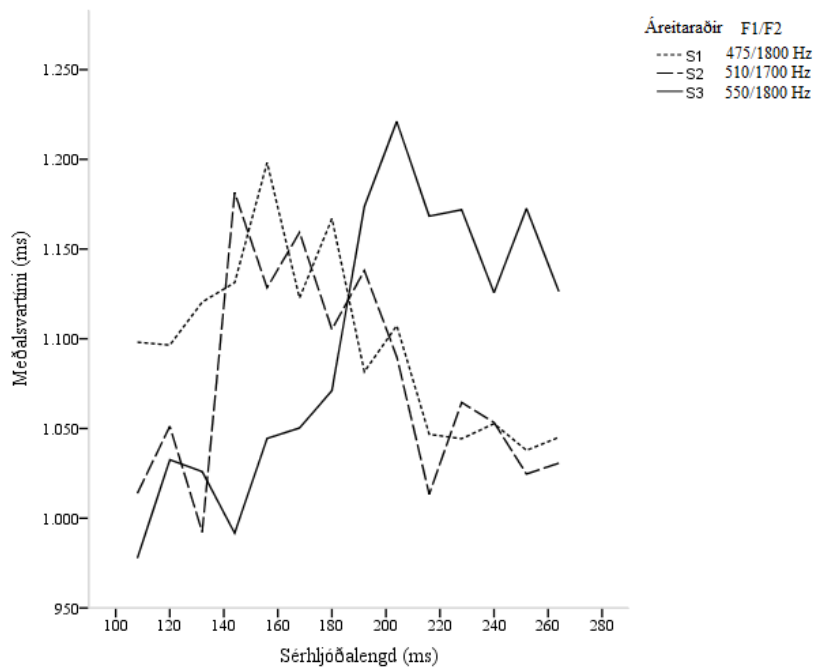
miðsérhljóðann og lengsta sérhljóðann (180/264) $t(117) = 3.106, p = .002$. Ekki var marktækur munur á svartímum stysta og lengsta sérhljóða (108/264) $t(118) = 1.624, p = .107$ þó svo að það munaði meiru en í niðurstöðunum fyrir 300 ms rímlengdina.



Mynd 5. Meðalsvartími miðað við sérhljóða og rímlengd fyrir a-áreitaraðir.

Meðaltöl „segg-sek“ áreitaraðanna voru skoðuð, og kom í ljós að meðalsvartími S1 var 1096.42 ms, meðalsvartími S2 var 1074.60 ms og meðalsvartími S3 var 1096.54 ms. Þetta lítur ekki út fyrir að vera mikill munur en þegar litið er á mynd sex kemur í ljós að svartímarnir radast mjög ólíkt niður á sérhljóða eftir áreitaröðum. Gerð var dreifigreining fyrir „segg-sek“ áreitaraðirnar til að athuga hugsanlegan mun á meðalsvartímum miðað við sérhljóðalengd og reyndist um marktækan mun að ræða $F(4, 4979) = 11.727, p < .001$. Til að skoða möguleg meginhrif og samvirkni fyrir sérhljóðalengd og formendur var framkvæmd marghliða dreifigreining, formendur (3) X sérhljóðalengd (14). Meginhrif fyrir sérhljóðalengd reyndust marktæk $F(13, 4942) = 2.333, p = .004$, en ekki fyrir formendur $F(2, 4942) = 1.620, p = .198$. Samvirkniáhrif fundust milli sérhljóðalengdar og formenda $F(26, 4942) = 3.248, p <$

.001. Loks voru gerð þöruð t-próf þar sem skoðaðar voru þrjár sérhljóðalengdir (stysti, mið- og lengsti sérhljóði) miðað við formendur S1, S2 og S3. Meðaltöl stysta, mið- og lengsta sérhljóða fyrir áreitaröð S1 voru 1098.09 ms, 1166.99 ms og 1045.18 ms. Meðaltöl sömu sérhljóða fyrir áreitaröð S2 voru 1013.85 ms, 1105.25 ms og 1030.71 ms og meðaltöl þeirra fyrir áreitaröð S3 voru 977.72 ms, 1071.03 ms og 1126.37 ms.



Mynd 6. Meðalsvartími miðað við sérhljóðalengd og formendur fyrir e-áreitaraðir.

Ekki verður farið í að greina frá öllum marktæktarprófunum hér heldur látið nægja að segja frá þeim þar sem marktækur munur fannst. Fyrir formendabilið S1 fannst munur milli fyrsta og seinasta sérhljóða ($108/264$) $t(118) = 2.384$, $p = .019$. Þegar línuritið fyrir s1 á mynd sex er skoðað er meðalsvartími fyrir sérhljóðalengd 108 ms í kringum 1100 ms en fyrir sérhljóðalengd 264 ms er meðalsvartíminn um það bil 1050 ms. Þetta eru ekki ósvipaðar niðurstöður og hjá Jörgen Pind (2008) þó svo að svartímadreifnin sé nokkuð meiri. Fyrir formendabilið S2 fannst munur milli fyrsta- og miðsérhljóða ($108/180$) $t(117) = 2.485$, $p = .014$. Þegar formendabilið S3 var skoðað kom í ljós munur milli fyrsta- og miðsérhljóða arnarsvegar ($108/180$) $t(117) = 2.162$, $p = .033$ og fyrsta- og seinasta sérhljóða hinsvegar

(108/264) $t(117) = 3.653, p < .001$. Að lokum fannst munur milli seinustu sérhljóða S2 og S3 (s3.264/s2.264) $t(117) = 2.123, p = .036$.

Umræða

Marmið þessarrar rannsóknar var að endurgera rannsókn Jörgens Pind frá 2008 með sérstaka áherslu á svartíma. Rannsóknir á svartímum í talskynjun hafa ekki verið ofarlega á baugi meðal rannsækenda en sérkennilegar niðurstöður sem komu upp í rannsókn Jörgens (2008) urðu uppspretta þessarrar rannsóknar. Munur sem reyndist rétt tæplega marktækur miðað við $\alpha = 0.05$ var á svartímum stystu og lengstu gerðar sérhljóða í a-áreitaröð. Ákveðið var að skoða þetta frekar með því að einblína á svartímaniðurstöður í þessari rannsókn með hliðsjón af öðrum fræðilegum niðurstöðum. Það reyndist ekki koma upp munur á svartíma stystu og lengstu gerðar sérhljóða en þeir voru mun lengri á miðgildissérhljóðunum við fónemamörkin eins og búist var við. Í „segg-sek“ tilrauninni voru svartímar formenda S1 og S2 svipaðir og í tilraun Jörgens Pind árið 2008 en S3, sem hafði verið notað í tilraun Jörgens árið 1998 og hafði aldrei verið skoðaður út frá svartíma, sýndi samvirknihrif. Þegar að lengri sérhljóðalengd mætir þrengra tíðnibili formenda verður til skritin tilhneiging í svörun. Toppurinn í svartímunum verður mun seinna í S3 heldur en S1 og S2. Þá lækkar svartíminn í S3 ekki í líkingu jafnmikið og hinir eftir því sem sérhljóðið lengist. Þátttakendur svöruðu töluvert oftar „segg“ en „sek“ í S3. Dæmi voru um að þátttakendur svöruðu allt að níu sinnum „segg“ í S3 þegar að sérhljóðinn var kominn í hámarkslengd (264 ms). Ástæður þessa ber ekki að fullyrða um en þó telja rannsakendur sig hafa nokkra hugmynd um hvað gæti verið hér á seyði. Meðaltíðni fyrir stutta sérhljóðið [ε] í framburði karlmannna er $F_1: 508$ Hz en $F_1: 471$ Hz fyrir langa sérhljóðið [ε] (Ásta Svavarsdóttir og félagar, 1982). Formendatíðnin í S3 var hinsvegar stillt í $F_1: 550$ Hz og því nokkuð skærari en venjuleg karlmannsrödd (rödd

hljóðgervilsins líktist meira karlmannsrödd). Eins og áður kom fram er ekki hægt að lengja stutt [ε] yfir í langt [ε] eða öfugt og ætlast til þess að þróun hljómblás sérhljóðsins verði með eðlilegum hætti. Því má velta því fyrir sér hvort að meginástæðan fyrir „segg“ svörunartilhneigingu í S3 liggi í því að formendatíðnin var stillt nær stuttu [ε] heldur en löngu [ε].

Talvísbendi

Eins og fyrr var rætt um eru tvö aðalvísbendi þegar kemur að talskynjun sérhljóða í íslensku. Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna dæmi um bæði vísbendin. Munur fannst á fónemamörkum 300 og 400 ms sak/sagg áreitaraðanna, þar sem fónemamörk 300 ms raðarinnar voru við styttri sérhljóðalengd. Þetta sýnir ágætlega fram á mikilvægi hlutfalls sérhljóðalengdar og rímlengdar. Þar sem 300 ms röðin er með styttri rímlengd en 400 ms röðin þarf styttra sérhljóð til þess að túlka það sem langt. Hitt vísbendið er staða formenda, og sést mikilvægi þess vísbendis vel á mynd þrjú þar sem sést greinilega að fyrir S3 (F_1 550 Hz og F_2 1600 Hz) röðina liggja fónemamörkin að lengri sérhljóðalengd en fyrir S1 (F_1 475 Hz og F_2 1800 Hz) og S2 (F_1 510 H og F_2 1700 Hz) raðirnar, en þegar hefur verið farið yfir líklegar ástæður þess.

Furðuleg reynsla

Það vakti athygli rannsakenda að flestir þátttakendur greindu frá furðulegri reynslu sem þeir höfðu upplifað á seinni stigum tilraunarinnar. Þeir sögðu frá breytingum í málhljóðunum sem þeir þóttust heyra og voru þær á ýmsan veg. Meðal annars voru dæmi um að fólk hefði talið sig heyra „sægg“, „sæll“ og „sigg“. Allir greindu frá þessu að fyrra bragði og töldu sumir rannsóknina hafa einhvern leyndan tilgang sem þeim hefði ekki verið sagt frá. Undantekningalaust átti þessa furðulega uppákoma að hafa gerst í fjórða eða fimmta

tilraunabálk. Þátttakendur áttu eins og gefur að skilja í meiri vandræðum með að greina á milli áreitanna tveggja þegar þeir vildu meina að þeir væru að heyra eitthvað allt annað. Nú var ekki svo að um einhvern laumuleik væri að ræða. Áreitinn voru spiluð í tilviljunarkenndri röð þannig að ekki var mikill möguleiki á því að áreitinn á mesta óvissuskeiðinu hefðu öll raðast upp í restina. Þarna var greinilega um einhverja skynvillu að ræða. Það var engu líkara en að þátttakendur höndluðu ekki það að heyra svona svipuð áreiti í jafnmörg skipti og raun bar vitni. Í rannsóknum framtíðarinnar væri fróðlegt að setja upp samanburðarhóp sem þyrfti einungis að svara þremur tilraunarbálkum. Ef niðurstöður myndu reynast skýrari hjá þeim hóp heldur en hópnum sem svaraði fimm tilraunabálkum væri líklega best að hafa rannsóknir sem þessar aðeins styttri en rannsóknina sem fjallað er um hér. Jafnvel þó að þátttakendur hefðu orðið fyrir þessum skynvillum þá kom það ekki niður á svartíma þeirra, þar sem að meðalsvartíminn var nánast undantekningalaust lægri fyrir seinni tilraunabálkana. Mögulega gæti það verið sökum þess að fólk sé farið að venjast rödd talgervilsins.

Það skal þó hafa í huga að þátttakendum var gert fullljóst í byrjun að þeir mættu og skyldu endilega taka sér pásu eftir hvern tilraunabálk ef þeim sýndist svo. Lítið var þó gert að því enda flestir að flýta sér og reyna að „ljúka þessu af“. Það er vandamál sem er nær óumflýjanlegt og erfitt fyrir rannsakendur að eiga við. Það eru þó til aðferðir sem gætu fengið þátttakendur til að sýna verkefninu meiri metnað. Til að mynda væri hægt að bjóða þeim verðlaun fyrir að ná sem flestum atriðum „rétt“ í rannsókninni. Enda þótt komi óvissutímabil þegar sérhljóðin og samhljóðin skarast og ekkert svar er réttara en hvað annað, gæti það fengið þátttakendur til að einbeita sér meira að tilrauninni og gefið henni annað gildi. Einnig væri mögulegt að festa ákveðin biðtíma á milli umferða og neyða þannig þátttakendur til þess að taka sér pásu á milli.

Rannsakendur í samanburði við aðra þátttakendur

Áður en rannsóknin hófst höfðu rannsakendur prófað hana í tvígang. Fyrst var prófuð útgáfa Jörgens Pind frá 2008 en seinna var bætt við áreitaröðinni fyrir S3, líkt og var notað í rannsókn Jörgens Pind frá 1998. Þegar rannsakendur höfðu prófað sjálfa sig tvisvar sinnum veltu því þeir fyrir sér hvort skynsamlegt væri að hafa sig með í aðaltilrauninni sökum æfingaráhrifa. Ekki þótti neitt sérlega líklegt að æfingaráhrif hefðu áhrif á svartíma þannig að úr varð að rannsakendurnir voru á meðal þátttakenda. Þegar niðurstöður voru skoðaðar kom í ljós að flokkun annars rannsakandans (þess er tók þátt í „segg-sek“ tilrauninni) var töluvert skýrari heldur en hjá flestum öðrum þátttakendum. Hann var með 100% flokkun að stuttum sérhljóða [ε] þegar það átti við og 100% flokkun að löngum sérhljóða [ε] þegar að það var viðeigandi. Ekki fannst jafn mikill munur á hinum rannsakandanum og þeim sem tóku þátt í „sagg-sak“ tilrauninni enda virtist flokkunin almennt séð vera betri hjá þátttakendum í þeirri tilraun. Ástæður þess munar sem var á rannsakandanum sem tók þátt í „segg-sek“ tilrauninni samanborið við aðra þátttakendur gæti verið bundinn við þjálfun og vitneskju um fyrirbærið. Rannsakandinn hafði vissulega þjálfun í viðfangsefninu, hann vissi einnig um þá staðreynd að sérhljóðið [ε] væri ekki hægt að lengja þannig að það hljómaði eðlilega, líkt og er til dæmis hægt með sérhljóðið [a]. Kunnáttan um hverju ætti að hlusta eftir var því meiri hjá rannsakandanum en öðrum þátttakendum. Það að ekki hafi komið munur á rannsakandanum í hinni tilrauninni samanborið við aðra þátttakendur er eðlilegt. Málhljóðið [a] virðist hafa hljómbæ sem erfitt er að breyta þannig að það blekki fólk. Þetta hafa rannsóknir meðal annars sýnt þar sem fólk heyrir sérhljóða og á svo að segja til um hvaða sérhljóða var um að ræða og hversu skýr hann var á skalanum einn til fimm (Jón Þór Hrannarsson og Viktor Díar Jónasson, 2012).

Svartímar

Munur var á svartímum eftir lengd sérhljóða. Aftur reyndist rímlengd skipta máli því marktækur munur var á svartímum eftir því hvort rímlengdin var 300 ms eða 400 ms. Svartímar fyrir 400 ms rímlengd náðu mun hærri meðalsvartímatoppi, sem var í kringum sérhljóðsmiðgildið. Sem dæmi má nefna að þegar að sérhljóðalengdin var 150 ms var meðalsvartími fyrir 400 ms rímlengd um það bil 1120 ms en aðeins 975 ms fyrir 300 ms rímlengd. Það er erfitt að segja um nákvæmar ástæður þessa marktæka munar en það má þó velta fyrir sér hvort megi vera að 300 ms rímlengdin sé einfaldlega algengari í daglegu tali í íslensku og því sé fólk vanara að fást við þesskonar áreiti. Einnig ber að hafa í huga að það voru þremur færri sérhljóð í 300 ms rímlengdinni en þeirri sem hafði 400 ms rímlengd. Áreiti 300 ms rímlengdarinnar spannaði því styttra sérhljóðslengdarbil sem gæti hugsanlega haft áhrif á möguleika þess að ruglast á lengdargreiningu sérhljóðs.

Ekki fannst munur á svartímum lengstu og stystu sérhljóðalengdar í „sagg-sak“ áreitaröðinni, hvorki við 300 ms rímlengd né 400 ms rímlengd. Jörgen Pind (2008) hafði fundið tæplegan mun á stystu og lengstu sérhljóðalengd við 400 ms rímlengd sem þótti athyglisvert þar sem ekki hafði komið fram áður í rannsóknum tilhneiging sem benti til aukins svartíma við lengri sérhljóðalengd. Í þessarri rannsókn fannst þó samskonar tilhneiging fyrir áreitaröð S3. Þar var marktækur munur milli svartíma fyrsta og seinasta sérhljóða. Eins og sést á mynd sex var svartíminn innan við 1000 ms á stysta sérhljóðanum en vel yfir 1100 ms á lengsta sérhljóðanum. Þetta þarf ekki að koma á óvart í ljósi þess að fyrsti formandi í S3 var stilltur í 550 Hz. Það er of há tíðni til að geta verið venjuleg fyrir langt [ε] í karlmansrödd og að sama skapi of lág tíðni fyrir langt [ε] í kvenmannsrödd. Þetta hefur því nokkuð skiljanlega valdið nokkrum ruglingi hjá þátttakendum.

Heimildir

- Ásta Svavarsdóttir, Halldór Ármann Sigurðsson, Sigurður Jónsson og Sigurður Konráðsson (1982). Formendur íslenskra einhljóða: meðaltíðni og tíðnidreifing. *Íslenskt mál og almenn málfræði*, 4, 63-85.
- Boring, E. G. (1957). *A history of experimental psychology* (2. útgáfa). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Breiðdalssetur.is (2006). *Dr. Stefán Einarsson*. Málvísindi. Sótt á internetið 17 apríl 2012 á http://www.breiddalssetur.is/malvisindi/index.php?option=com_content&view=article&id=20%3A-dr-stefan-einarsson&catid=25%3Aum-dr-stefan-einarsson&lang=is
- Eiríkur Rögnvaldsson (1980). Lengd íslenskra samhljóða: Vitoð er enn – eða hvað? *Íslenskt mál og almenn málfræði*, 2, bls 25-51. Sótt á internetinu 17 apríl 2012 á <https://notendur.hi.is/eirikur/lengd.pdf>
- Eiríkur Rögnvaldsson (1990). *Íslensk hljóðfræði handa framhaldsskólum*. Mál og menning, Reykjavík.
- Haskins Laboratories. *Decades of Discovery – 1930s, 1940s, 1950s*. Sótt 18.04.2012.
a) <http://www.haskins.yale.edu/decades/thirties.html>
b) <http://www.haskins.yale.edu/decades/forties.html>
c) <http://www.haskins.yale.edu/decades/fifties.html>
- Helmholtz, H. L. F. (1954). *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music* (A. J. Ellis þýddi úr þýsku). New York: Dover Publications, Inc. (Upphaflega gefið út 1863).
- Jón Þór Hrannarsson og Viktor Díar Jónasson (2012). *Íslensk sérhljóð: Tveir og þrjár formendur*. Óbirt BS-ritgerð: Háskóli Íslands, Sálfræðideild.
- Jörgen Pind (1986). The perception of quantity in Icelandic. *Phonetica*, 43, 116-139.
- Jörgen Pind (1993). Skynjun hljóðlengdar og aðblásturs í íslensku. *Íslenskt mál*, 15, 35-76.

- Jörgen Pind (1995). Speaking rate, voice-onset time, and quantity: The search for higher-order invariants for two Icelandic speech cues. *Perception and Psychophysics*, 57, 291-304.
- Jörgen Pind (1998). Auditory and linguistic factors in the perception of voice offset time as a cue for preaspiration. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 2117-2127.
- Jörgen Pind (1999a). Skynjun hljóðlengdar og aðblásturs í íslensku II. *Íslenskt mál*, 21, 71-106.
- Jörgen Pind (1999b). Speech segment durations and quantity in Icelandic. *Journal of the acoustal society of America*, 106, 1045-1053.
- Jörgen Pind (2005). Mál og maður. Kristján Árnason *Íslensk tunga, I: Hljóð. Handbók um hljóðfræði og hljóðkerfisfræði*. Reykjavík: Almenna bókafélagið, 481-512.
- Jörgen Pind (2008). Reaction times in the perception of quantity in Icelandic. *Fonetik 2008*, 49-52.
- Kristján Árnason (2005). Hljóð, handbók um hljóðfræði og hljóðkerfisfræði. Meðhöfundur: Jörgen Pind. *Íslensk tunga, 1 bindi*. Almenna bókafélagið, Reykjavík.
- Leahey, T. H. (2004). *A history of psychology* (6. útgáfa). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Liberman, A. M. (1996). *Speech, a special code*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Miller, J. L. (1981). Some effects of speaking rate in phonetic perception. *Phonetica*, 38, 159-180. Sótt á internetið 19. apríl 2012 á:
<http://content.karger.com/ProdukteDB/produkte.asp?id=doi%3A10.1159%2F000260021>
- Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., Lederman, S. J., Merfeld, D. M. (2009). *Sensation & perception* (2. útgáfa). Sunderland: Sinauer Associates, Inc.