

A ZÁRFELPATTANÁS SPEKTRÁLIS JEGYEI A HOSSZÚSÁGI OPPOZÍCIÓ FÜGGVÉNYÉBEN

Neuberger Tilda – Beke András

Bevezetés

Ismereteink szerint felpattanó zárhangok a világ eddig ismert összes nyelvében megtalálhatók, és hasonló artikulációs és akusztikai sajátosságokkal jellemezhetők (Henton et al. 1992). Az orális explozívák képzésére jellemző, hogy a szájüregben létrehozott zár miatt a glottisz felől áramló levegő megreked, áramlása fennakad (zárszakasz). A felgyülemelő levegő növekvő nyomása felpattintja a zárat (felpattanás). Artikulációs és aerodinamikai okok miatt a felpattanás el is maradhat, vagy intenzitása lehet olyan alacsony, hogy a regisztrátumon nem mérhető a zárfelpattanási zörej. Emellett nem ritka a többszörös felpattanás megjelenése sem (pl. Keating et al. 1980; a magyarra vonatkozó adatokat lásd Gráczi–Kohári 2012). Mindezek hátterében az akadályt képező szervek izomműködése és a felnyitáshoz szükséges intraorális nyomás mértéke áll.

Számos nyelvben a mássalhangzók (illetőleg azok bizonyos osztályai, például a felpattanó zárhangok) hosszúság szerinti oppozícióban állnak. A hosszú mássalhangzókra (geminátákra) a világ nyelveiben átlagosan 1,5–3-szor hosszabb időtartam jellemző a rövid konzonánsokhoz képest (Ladefoged–Maddieson 1996; a nemzetközi szakirodalomban használt terminológia szerint a tanulmányban szinonimaként használjuk a *hosszú mássalhangzó* és a *gemináta* kifejezést). A mássalhangzókon belül az explozívák esetében a rövid-hosszú szembenállás elsődleges akusztikai kulcsát a zárszakaszuk időtartamának különbségében találjuk (pl. Ham 2001; Ridouane 2010). A különböző nyelvekre (olasz, japán, magyar, palesztin arab, svéd stb.) vonatkozó vizsgálatok eredményei szerint a hosszú explozívák zárszakasza szignifikánsan hosszabb időtartammal valósul meg a beszédprodukcióban, mint a rövid párjaiké (vö. Ridouane 2010 összefoglaló táblázata).

A több nyelvet összehasonlító kutatások bizonyossága szerint a gemináták előfordulását néhány univerzális sajátosság jellemzi (Dmitrieva 2012). Többek között gyakrabban jelennek meg a zöngétlen zárhangok körében, mint a zöngéseknél. Ezt aerodinamikai okok is magyarázzák. A zöngéképzés alatt ugyanis a glottisz felől áramló levegő felgyülemlik a szájüregben mindaddig, amíg az intraorális nyomás egyenlővé válik a szubglottális nyomással. Ekkor a glottiszon keresztüli légáram abbamarad, és a zöngéképzés megszűnik. Minél hosszabb tehát a zárszakasz időtartama, annál nehezebb fenntartani az ej-

téshez szükséges nyomáskülönbségeket. Ennélfogva amely nyelvekben zöngés gemináták is előfordulnak, azokban a zöngések jellemzően rövidebb időtartammal valósulnak meg, mint a zöngétlenek, illetve nem ritka, hogy részben vagy egészben zöngétlenednek az artikuláció során (Ohala 1983).

Az időtartamot is érintő másik univerzális sajátosság a gemináták fonetikai helyzetével kapcsolatos. A pozíció tekintetében a szó belseji, intervokális helyzet (VGV) a legkedvezőbb a hosszú mássalhangzók (gemináták, jelölése: G) előfordulásának. A legtöbb nyelvben, ahol megtalálható az oppozíció, ebben a helyzetben lévő geminátákat találhatunk, pl. olasz [fato] ‘sors’: [fat:o] ‘megcsinált’ (Kabak et al. 2011), japán [kako] ‘múlt’: [kak:o] ‘zárójel’ (Amano–Hirata 2015), kairói arab [ħama:m] ‘galambok’: [ħam:a:m] ‘fürdőszoba’ (Davis–Ragheb 2014). Ennél ritkábbak a magánhangzóval határolt abszolút szóvégi (VG||) és a szó eleji (||GV) gemináták (pl. kairói arab, svájci német, illetve ciprusi görög, ausztronéz leti, dél-thaiföldi pattani maláj, berber). A legritkább előfordulást mássalhangzós környezetekben (CGV, CG||, ||GC) adatlótták (pl. marokkói arab, taba, svájci német) (Thurgood 1997; Kraehenmann–Lahiri 2008). Az időviszonyok is eltérően alakulnak a pozíció szerint. Pajak (2009) például a következő sorrendet találta a marokkói arabban: #GC > #GV > VGC > VGV, vagyis az intervokális helyzetben a legrövidebb a gemináták időtartama. A hosszú-rövid időarány azonban ellentétesen alakult: szókezdő mássalhangzós környezetben 1,7, míg intervokális helyzetben 2,2 volt a gemináták időtartamának a rövid mássalhangzókéhoz viszonyított aránya (minél kisebb az arány, annál közelebb áll a gemináták időtartama a rövid mássalhangzókéhoz).

A magyarban a gemináták csak magánhangzók között (intervokális helyzetben) vagy szóvégen jelennek meg hosszú mássalhangzóként az ejtésben. Utóbbi esetben is csak abszolút szóvégen, illetve akkor, hogyha magánhangzóval kezdődő szó követi őket. Mássalhangzós környezetben megrövidülnek (degeminálódnak), például *keddre* [kedrɛ], *kedd reggel* [kedrɛg:ɛl] (vö. Polgárdi 2008; Siptár–Grácsi 2014).

A rövid-hosszú oppozíció fonetikai megvalósulása tehát elsősorban az időtartamhoz köthető (Ham 2001; Ridouane 2010). Nemzetközi kutatások kimutatták, hogy a zárhangok esetében a zárszakasz időtartamán kívül más időbeli tényezők is hozzájárulhatnak a hosszúsági oppozícióhoz (Payne 2006; Idemaru–Guion 2008). A ciprusi görög, marokkói arab és török nyelvekben például a feloldás időtartamára, a svéd, a madurai és a bengáli nyelvekben pedig a megelőző magánhangzó időtartamára is hatással van a gemináció jelensége (Ridouane 2010).

A kvantitás nem időbeli (nem időtartam-alapú) akusztikai korrelátumaival kevesebb kutatás foglalkozott a nemzetközi szakirodalomban. Jóllehet a spektrális jellemzők vizsgálata kiterjedt, de a kutatások többsége a rövid zárhangokra fókuszált. Számos nyelvre leírtak például képzéshely szerinti különbségeket a bilabiális, az alveoláris és a veláris mássalhangzók között (pl.

Blumstein–Stevens 1979; Sussman et al. 1993; Lousada et al. 2012). Ezek alapján elmondható, hogy az explozívák felpattanásának energiakoncentrációja képzéshelyenként eltér: a bilabiálisokat alacsony (500–1500 Hz), az alveolárisokat magas (4000 Hz feletti) frekvenciatartomány jellemzi, míg a velárisoknál közepes (1500–4000 Hz) frekvenciájú zörejkomponensek találhatóak. A képzéshelyek megkülönböztetésére vizsgálták továbbá a felpattanás amplitúdóját (pl. Ohde–Stevens 1983), a spektrum relatív változását a felpattanástól a zöngé megindulásáig, illetőleg a locust (a mássalhangzók jellegzetes frekvenciahelyeit) és a magánhangzóátmeneteket (pl. Sussman et al. 1993), illetve a spektrális momentumokat, mint a spektrális középérték, csúcsosság és ferdeség (pl. Forrest et al. 1988; Lousada et al. 2012). Az utóbbi paraméterek esetében megállapították, hogy a [p] és a [t] hangok spektruma a középértékben és a ferdeségben eltér, de a csúcsosságban nem. Egyes kutatásokban a [k] spektruma hasonló volt a [p]-éhez középértékben és ferdeségben, de a többi képzéshelyétől a csúcsosságban eltért (Forrest et al. 1988). Más kutatásokban a [k] és a [p] spektruma a ferdeségben is különbözött, de a csúcsosságban nem tértek el a különböző képzéshelyű hangok (Lousada et al. 2012). Mindazonáltal minden szerző nagy beszélők közötti különbségekről számolt be. A zöngéesség szerint vizsgálta a felpattanás spektrális jegyeit Chodroff és Wilson (2014) az amerikai angolban. Kutatásukban a fent említett spektrális momentumokban (Forrest et al. 1988) kerestek különbségeket a zöngés és a zöngétlen explozívák között. Eredményeik szerint a zöngéesség szerinti megkülönböztetést a CoG (center of gravity, spektrális középpont) alapján a képzési hely függvényében lehet csak értelmezni: a [p] : [b] és a [t] : [d] oppozíciójában jelentős a különbség, de a [k] : [g] között nem volt kimutatható.

A hosszúsági oppozíció nem időtartam-alapú jellemzői között szokták említeni a zárhangok felpattanásának realizációit (felpattanás megléte vagy elmaradása), a felpattanás eltérő (gemináták esetén nagyobb) intenzitását, a követő magánhangzó f_0 -jának különbségeit a rövid és a hosszú mássalhangzók után (pl. pattani maláj: Abramson 1991, 1999; dél-marokkói berber: Ridouane 2010). A hosszú és rövid zárhangok eltérő artikulációs megvalósítását illetően az elektropalatográfus vizsgálatok szolgáltatnak bizonyosságot; a különböző nyelvekre kapott eredmények szerint a gemináták esetében nagyobb területen érintkezik a nyelv a kemény szájpadal, illetve megfigyelhető a palatális irányba való eltolódás (olasz: Payne 2006; svájci német: Kraehenmann–Lahiri 2008; dél-marokkói berber: Ridouane–Halle 2008). A hosszú mássalhangzók környezetében lévő magánhangzók formánsértékeiben talált különbséget a rövidekéhez viszonyítva Local és Simpson (1999) a dravida nyelvcsaládba tartozó malajálami nyelvben. Például a [mula] : [mul:a] minimális párban a geminátát megelőző magánhangzót szignifikánsan alacsonyabb F_1 - és magasabb F_2 -érték jellemezte, mint a szingletont, vagyis zártabb és előrébb képzett volt, mint a rövid mássalhangzót tartalmazó szóban.

Továbbá a követő magánhangzók centralizáltabb ejtését figyelték meg a rövid konzonánsok után, mint a gemináták után.

A nem időtartamon alapuló jellemzők különösképpen fontos akusztikai kulcsok azokban a nyelvekben, amelyekben szó elején is található zöngétlen felpattanó zárhangok (pl. pattani maláj: Abramson 1986; berber: Ridouane 2010). Ezeknek zárszakasza ugyanis néma fázis, így megnyilatkozás eleji pozícióban az elsődleges kulcs, amely a perceptuális döntésben szerepet játsza (a zárszakasz időtartama) nem megítélhető. A hallgatónak a rövid-hosszú kontraszt azonosításához tehát más akusztikai paraméterekre kell támaszkodniuk.

A magyar nyelvre is született néhány olyan kutatás, amely a zárhangok spektrális tulajdonságait részletesen elemezte (pl. Magdics 1965; Olasz 1985; Gósy 2004), kevesebb azonban azoknak a száma, amely a hosszúsági oppozícióra is kitért. Az objektív adatok alapján elmondható, hogy a [p, t, k] zárfelpattanása intenzív zöreje, a felpattanás intenzitása pedig az adott beszédhang és az artikuláció függvénye, de jellemzően mintegy 15–30 dB-lel alacsonyabb, mint a követő magánhangzó maximuma (Németh–Olasz szerk. 2010). A [p, t, k] hangok intenzitás-, idő- és frekvenciaszerkezetében eltérések mutathatók ki a pozíció szerint; a hangsorvégi zárhangok felpattanása például kisebb intenzitású, mint az intervokális helyzetben lévőké, illetve a zárfelpattanás és a lecsengő zöreje időtartama általában megnyúlik (Olasz 1985). A magyar mássalhangzók akusztikai szerkezetét tanulmányozva Magdics (1965) megállapította többek között a zárhangok jellegzetes frekvenciahelyeit (locusát). Mérései alapján a [p] és a [b] hangoknál alacsony frekvencián található a locus (a középérték férfiaknál 875 Hz, nőknél 910 Hz), a [t] és a [d] hangoknál magas frekvencián (középérték férfiaknál 1655 Hz, nőknél 1820 Hz), míg a [k] és a [g] hangok változó locust mutatnak az elől képzett és a hátul képzett magánhangzók szomszédságában (középértékek férfiaknál 2065 Hz, illetve 962 Hz, nőknél 2355 Hz, illetve 1099 Hz). A felpattanó zárhangok zörejfrequencia-helyeire Gósy (2004) is hasonló mérési adatokat közöl: a bilabiálisok esetén egyenletes eloszlású a 400–5000 Hz közötti tartományban, az alveolárisokra intenzív összetevők jellemzők 1600–2000 Hz és 3000–4000 Hz között, a velárisokra pedig 1000–3000 Hz között. A fent felsorolt kutatások jellemzően a rövid zárhangokra fókuszáltak, és nem említik a lehetséges eltéréseket a rövid és a hosszú zárhangok spektrális szerkezetében.

Magyar nyelven – tudomásunk szerint – még nem született olyan vizsgálat, amely szisztematikusan összehasonlította a rövid és a gemináta zárhangok spektrális tulajdonságait. A jelen kutatás célja a zöngétlen explozívák spektrális szerkezetének elemzése a kvantitás függvényében. A nemzetközi eredmények tükrében azt feltételezzük, hogy a magyar rövid és a hosszú zárhangok között eltérések mutathatók ki a felpattanás spektrális jegyeiben, ami (univerzális) aerodinamikai okokra vezethető vissza. A jelen tanulmány kiin-

duló kérdése, hogy a rövid-hosszú oppozíció az időtartamon kívül milyen más akusztikai jegyekben ragadható meg a magyarban? Hipotéziseink szerint (i) különbségek mutatkoznak a felpattanás hiányában/többszöri megjelenésében a rövid és a hosszú zárhangok között, (ii) a zárfelattanás spektrális szerkezete eltér a kvantitás függvényében, (iii) a hosszú zárhangok képzése feltételezhetően nagyobb intenzitással történik.

Kísérleti személyek, anyag, módszer

A vizsgálathoz spontánbeszéd-felvételeket választottunk ki a BEA adatbázisból (Gósy et al. 2012). A beszélők tíz fiatal felnőtt férfi, életkoruk 20 és 27 év közötti, az átlagéletkor 24 év. Mindannyian magyar anyanyelvű, egynyelvű, budapesti, köznyelvet beszélő adatközlők. Beszédhibájuk nincs. A felvételek témája az interjúalanyok tanulmányai, munkája, szabadidős tevékenységei.

A rögzített hanganyagban az oscillogram, a spektrogram és auditív ellenőrzés alapján manuálisan annotáltuk a következő mássalhangzókat: rövid és hosszú bilabiális, alveoláris és veláris zöngétlen explozívák. A jelen vizsgálat csak az intervokális helyzetű explozívákra terjedt ki. Összesen 1303 beszédhangot címkéztünk fel a Praat program segítségével (Boersma–Weenink 2013). Ez beszélőnként átlagosan 130 beszédhangot jelent, amelyek közül 80 rövid és 50 hosszú mássalhangzó szerepelt. A kvantitás és képzési hely szerinti megoszlásukat az 1. táblázat mutatja. A címkézés során a zárhangok teljes időtartamát, a zárszakasz időtartamát, a felpattanás pillanatát, valamint a zöngékezdesi időt jelöltük be. Azokban az esetekben, amikor a zárhang többszörös felpattanással realizálódott, jelöltük a felpattanások számát, illetve a legelső felpattanásnál húztuk meg a zárszakasz határát (még ha nem is ez volt a legintenzívebb felpattanás).

Elemeztük a felpattanások kvantitatív jellemzőit, vagyis azt, hogy a zárhang felpattanás nélkül, egy vagy több felpattanással realizálódott.

1. táblázat: A vizsgált mássalhangzók megoszlása a képzési hely és a kvantitás szerint

Képzési hely	Rövid	Hosszú
Bilabiális	221	46
Alveoláris	307	264
Veláris	280	185

A spektrális elemzéshez megtörtént a felvételek előkészítése (vö. Forrest et al. 1988; Sundara 2005; Chodroff–Wilson 2014). Ehhez elsőként újramintavételeztük a hanganyagot 44,1 kHz-ről 16 kHz-re. Majd előkiemelést végeztünk az 1000 Hz alatti tartományban. Továbbá egy felüláteresztő szűrőt

is alkalmaztunk 200 Hz alatt annak érdekében, hogy az alacsony frekvenciás glottális vibráció befolyását csökkenteni tudjuk.

Az előkészített felvételeken elemeztük a hangenergia spektrális eloszlását: a beérkező audio jelet 64 pontos FFT-spektrummal bontottuk fel. Az FFT-spektrumot 1 ms-onként egy 3 ms hosszú Hamming típusú ablakkeretre számoltuk ki a felpattanástól számított -4 ms-tól $+4$ ms-ig.

A vizsgált paraméterek között szerepelt a spektrális középpont (center of gravity, CoG), a spektrum további három jellemzője: átlagos eltérés (SD), ferdeség (skewness), csúcosság (kurtosis), valamint az intenzitás négyzetes közepe (root mean square, RMS). Az első négy paraméter (momentum) a spektrális energieloszlást jellemzi (Forrest et al. 1988). A spektrális középpont vagy súlypont a különböző frekvenciákon jelenlévő energiakomponensek súlyozott átlaga. Ha az energia magasabb frekvenciákon koncentrálódik, akkor a CoG értéke magasabb lesz; ha az alacsonyabb frekvenciatarományban, akkor a CoG értéke is kisebb. A spektrum átlagos eltérése az ettől való szóródás mértékét fejezi ki. A ferdeség és a csúcosság az eloszlás szimmetriáját és formáját írják le. Normális eloszlás esetén a ferdeségi és csúcossági érték 0. Attól függően, hogy a ferdeségi érték negatív vagy pozitív, jobbra vagy balra tolódik el az eloszlás. A pozitív csúcosságérték jelzi, ha az eloszlás csúcsosabb, mint a normál eloszlás, a negatív pedig azt, ha lapultabb. Az RMS amplitúdót az intenzitás négyzetes átlaga adja, ennek a jellemzőnek számoltuk ki az átlagát, az átlagos eltérését és a maximumát anyagunkban.

A méréseket a MATLAB és a Praat program segítségével végeztük. A statisztikai elemzéshez az R szoftvert használtuk (R Core Team 2012). A felpattanások típusának (elmarad, egy felpattanás, több felpattanás) gyakoriságának statisztikai becslésére ordinális logisztikus regressziót alkalmaztunk, ahol a függő változó a felpattanás típusa volt (ordinális változó, mérési szintje 3: elmarad, egy felpattanás, több felpattanás), a magyarázó faktorok pedig a mássalhangzó fonológiai hosszúsága (nominális változó, mérési szintje 2: rövid, hosszú), a mássalhangzó képzéshelye (nominális változó, mérési szintje 3: bilabiális, alveoláris, veláris). A beszélőket mint random faktort léptettük be a modellbe. Az ordinális logisztikus regressziós modell létrehozásához az R „ordinal” csomagot és „clmm” függvényt használtuk (Christensen 2015).

Az egyes spektrális jellemzők varianciájának becslésére Bayesian általánosított lineáris kevert modellt használtunk Markov-lánc Monte Carlo-szimulációval. A Bayesian általánosított lineáris modell alapvető elméleti statisztikai megközelítésben tér el a gyakoriságon alapuló általánosított lineáris modelltől (részletesebben lásd: Press 2012). Az utóbbi megközelítés a valószínűséget mint gyakoriság kezeli. Ezzel szemben a Bayesian elmélet azt mondja: a legjobb paraméterbecslés az adatokból származó valószínűségen és a priori információn alapul (vagyis előzetes információn, amely vagy

előkísérletből, vagy előzetes szakirodalmi adatokból származik), az elemzést e kettőből származó poszteriori adatokon végzi:

$$\text{posterior} = \text{prior} * \text{likelihood}$$

Lényegi különbség, hogy míg a gyakorisági alapú paraméterbecslés pontbecslést alkalmaz, addig a Bayesian keretrendszerben a paraméterek becslése szintén része a valószínűségi eloszlás becslésében a modell paraméterein keresztül. Algoritmikusan az MCMCglmm abban tér el a glmm-től, hogy ML (Maximum Likelihood) modellillesztés helyett MCMC algoritmust alkalmaz. Előzetes kutatások bizonyították, hogy a Bayesian alapú paraméterbecslés pontosabb, megbízhatóbb (Rouder et al. 2005; Pandey et al. 2011), főként olyan esetekben, amikor a tapasztalati eloszlás kiugró adatokat tartalmaz, amelyek nem zárhatók ki az elemzésből, az elemszám alacsony, az eloszlás mérési szintje alacsony.

A Bayesian általánosított lineáris kevert modellhez a MCMCglmm programcsomagot használtuk (Hadfield 2010). A függő változók között a fent felsorolt akusztikai paraméterek szerepeltek. A fix faktor a kvantitás volt, amelynek két szintje van: rövid és hosszú. A beszélőket random faktorként szerepeltettük. A faktorok hatását megvizsgáltuk a mássalhangzó képzésheletől függetlenül és függően is.

A tanulmányban a paraméterek úgynevezett 95%-os megbízhatósági intervallum (credible interval, CI) alsó és felső határát prezentáljuk, amely azt mutatja, hogy az MCMC szimuláció során az adott paraméter milyen érték mellett a legvalószínűbb.

Eredmények

A zárfelpattanások kvantitatív jellemzői

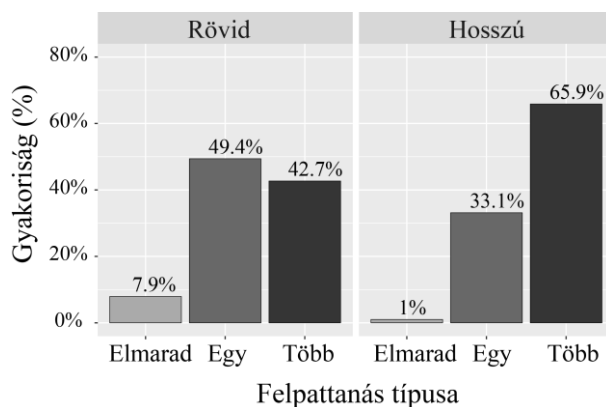
Elsőként megvizsgáltuk a zárhangrealizációkat a felpattanás megléte, illetve elmaradása szempontjából. Az elemzett beszédhangok 5,3%-ánál nem adatoltunk felpattanást, ez az arány a rövid zárhangok esetében 7,9%-os, míg a hosszú zárhangok esetében csupán 1,0%-os. A képzési hely szerint mindhárom típusú beszédhangnál találtunk felpattanás nélküli realizációt; legnagyobb arányban a rövid velárisoknál (13,9%), legkisebb arányban a hosszú alveolárisoknál (0,4%).

Az egyszeri felpattanással megvalósult zárhangok a teljes anyag 43,2%-át tették ki; a rövid beszédhangok 49,4%-át, míg a hosszú zárhangok 33,1%-át.

A többszöri felpattanás során kétszeres, háromszoros, sőt ritka esetben négynél több felpattanást is adatoltunk. A teljes anyagban 51,5%-os volt a többszöri felpattanás aránya; a rövid zárhangoknál 42,7%-os, míg a hosszúaknál 65,9%-os. Amíg a rövid zárhangokra az egyszeri felpattanás bizonyult a leggyakoribbnak, addig a geminátáknál a kétszeres felpattanás (1. ábra). A képzési hely szerint jellegzetes eltéréseket tapasztaltunk a többszöri felpatta-

nások megjelenésében. A bilabiális zárhangokra volt a legkevésbé jellemző a több felpattanás (a röviddek 27,6%-a, a hosszúk 39,1%-a), az alveolárisok (a röviddek 52,4%-a, a hosszúk 71,6%-a) és a velárisok (a röviddek 43,9%-a, a hosszúk 64,3%-a) esetében pedig igen nagy arányú volt.

A statisztikai vizsgálat szerint annak az esélye, hogy a mássalhangzó többszörös felpattanással realizálódjon 1,87-szer valószínűbb a hosszú mássalhangzók esetében [$\beta = \exp(0,6289) = 1,87$; $z = 8,784$; $p < 0,001$]. A mássalhangzó képzéshelyét tekintve megállapítható, hogy a bilabiális kategóriához képest a veláris esetén 1,6-szor valószínűbb a többszöri felpattanás megjelenése [$\beta = \exp(0,4740) = 1,6$; $z = 5,250$, $p < 0,001$], míg a bilabiálishoz képest az alveoláris esetén 2,3-szor valószínűbb [$\beta = \exp(0,8303) = 2,3$; $z = 9,277$; $p < 0,001$]. Mindez azt jelenti, hogy az alveoláris mássalhangzók esetében igen valószínű a többszörös zárfelpattanás realizálódása. A statisztikai vizsgálatok nem mutattak arra vonatkozó bizonyítékot, hogy a mássalhangzó fonológiai hosszúsága és a mássalhangzó képzési helye mint interakció szignifikáns hatással lenne a zárfelpattanás előfordulásának valószínűségére.



1. ábra

A rövid és hosszú explozívák felpattanásainak száma

A zárfelpattanások spektrális jellemzői képzéshelytől függetlenül

A felpattanások spektrális jegyeit elsőként a két nagy kategória, a rövid és a hosszú zárhangok közötti különbségek alapján vizsgáltuk meg, függetlenül a mássalhangzó képzési helyétől. A spektrális középpont (CoG) és a spektrum három további paramétere, az átlagos eltérése, a ferdesége és a csúcsossága eltéréseket mutatott attól függően, hogy rövid vagy gemináta zárhang felpattanásán mértük. A 2. táblázat az átlagértékeket, valamint zárójelben az átlagos eltérés értékeit mutatja a négy paramétert illetően.

2. táblázat: A rövid és hosszú explozívák spektrális paraméterei

Kvantitás	CoG (Hz)	Átlagos eltérés (Hz)	Ferdeség	Csúcsosság
Rövid	1687 (± 900)	1158 (± 509)	1,60 ($\pm 1,37$)	5 (± 11)
Hosszú	1587 (± 700)	1092 (± 530)	2,06 ($\pm 1,71$)	9 (± 15)

Adataink azt mutatják, hogy a rövid zárhangok szignifikánsan magasabb spektrális középponttal (CoG) jellemezhetők, mint a hosszú zárhangok: *poszteriori átlag* = 79; *CI*(66,2; 255,7); $p = 0,004$. Ez azt jelenti, hogy a gemináták esetében az energia nagy része alacsonyabb frekvenciatartományban található, mint a rövid explozívák esetében.

A spektrum átlagos eltérése is szignifikáns különbséget mutatott a rövid és a hosszú zárhangok között: *poszteriori átlag* = 67; *CI*(14,3; 128,5); $p = 0,012$. Az utóbbiak esetében alacsonyabb értéket találtunk, ami azt jelzi, hogy a gemináták esetében az energia kisebb tartományban koncentrálódik a spektrális súlypont körül, mint a rövid hangok esetében.

A ferdeség a normális eloszlástól való eltérést jelzi. Mivel mind a rövid, mind a hosszú zárhangok esetében 0-nál nagyobb értékeket mértünk, kvantitástól függetlenül bal oldali aszimmetria figyelhető meg az adatok eloszlásában, vagyis az eloszlás maximuma a negatív, kisebb értékek felé tolódik el. A statisztikai elemzés szignifikáns különbséget jelzett a hosszúsági oppozíció szerint: *poszteriori átlag* = -3,625; *CI*(-6,113; -1,212); $p = 0,002$. A gemináták esetében magasabb volt a ferdeség mértéke (vagyis nagyobb az eloszlás aszimmetriája), mint a rövid explozíváknál.

A csúcsosságot is a normális eloszláshoz viszonyítjuk. A gemináták spektrumát nagyobb fokú csúcsosság jellemezte, mint a rövid zárhangokét, de kvantitástól függetlenül a normálhoz képest csúcsosabb volt az eloszlás. A különbség ebben a paraméterben is szignifikánsnak bizonyult: *poszteriori átlag* = -0,358; *CI*(-0,597; -0,125); $p < 0,001$.

A 3. táblázat a rövid és hosszú hangok felpattanásának intenzitásjellemezőit foglalja össze (átlagértékek és zárójelben az átlagos eltérés értékei).

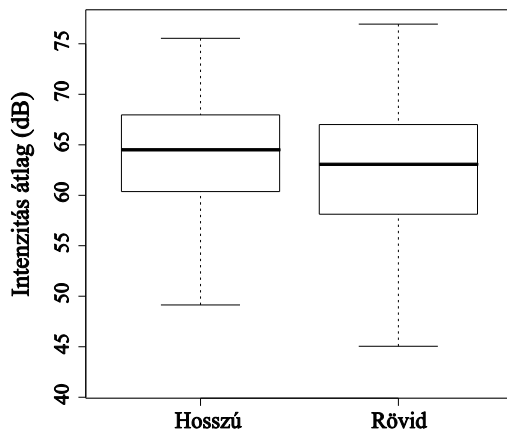
3. táblázat: A rövid és hosszú explozívák intenzitásértékei

Kvantitás	Intenzitás RMS átlag (dB)	Intenzitás RMS átlagos eltérés (dB)	Intenzitás RMS maximum (dB)
Rövid	62,26 ($\pm 6,53$)	8,30 ($\pm 4,37$)	85,41 ($\pm 2,16$)
Hosszú	63,84 ($\pm 5,74$)	9,59 ($\pm 3,99$)	85,49 ($\pm 2,12$)

Az intenzitás négyzetes átlagában szignifikáns különbséget találtunk a rövid és a hosszú zárhangok között: *poszteriori átlag* = 1,219; *CI*(-1,887;

-0,556); $p < 0,001$. A gemináták jellemzően intenzívebb felpattanással realizálódtak, mint a rövid zárhangok (2. ábra).

Adataink továbbá azt mutatják, hogy az intenzitás RMS átlagos eltérése a rövid zárhangok esetében szignifikánsan kisebb volt, mint a geminátáknál: *poszteriori átlag* = -1,325; *CI*(-1,831; -0,846); $p < 0,001$, de az intenzitás RMS maximumértékében nem találtunk matematikailag igazolható eltérést.



2. ábra

A felpattanások intenzitás RMS átlaga a kvantitás szerint

A statisztikai elemzés tehát a spektrum mind a négy vizsgált paraméterében különbségeket mutatott a rövid és a gemináta zárhangok között, valamint az intenzitásjellemzők közül az RMS amplitúdó átlagában és átlagos eltéréseiben. A részletesebb elemzés érdekében megvizsgáltuk a spektrális momentumokat, illetőleg intenzitásparamétereket a mássalhangzók képzési helye szerinti bontásban is.

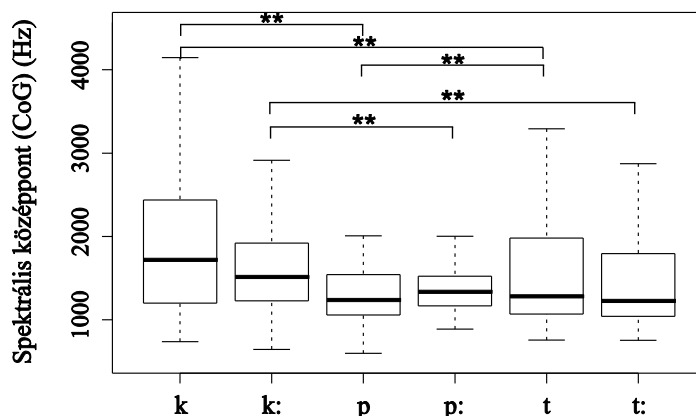
A zár-felpattanások spektrális jellemzői képzéshelytől függően

A spektrális középpont (CoG) értékeit mutatja a 3. ábra a mássalhangzó képzéshelyének függvényében mind a rövid, mind a hosszú zárhangok esetében. Míg a bilabiális és az alveoláris zárhangokat alacsonyabb CoG jellemezte, addig a veláris esetében magasabb értékeket találtunk. Az átlagértékek a bilabiális esetén: a rövideké 1243 Hz, a hosszúké 1343 Hz; az alveoláris esetén: a rövideké 1288 Hz, a hosszúké 1233 Hz; a veláris esetén: a rövideké 1726 Hz, a hosszúké 1520 Hz. A CoG a [t] és [k] hangok esetében alacsonyabb volt a geminátáknál, mint a rövid hangoknál, a [p] esetében ellenkező tendencia figyelhető meg. Az előbbi kettő esetében szignifikáns volt a kü-

lönbség a kvantitás tekintetében, az utóbbi esetében azonban nem (a statisztikai elemzés eredményeit lásd a 4. táblázatban).

A spektrális energiaeloszlás további három paraméterében is szignifikáns különbségek mutatkoztak a rövid és a hosszú mássalhangzók között a hátsóbb képzéshelyű zárhangoknál, de a bilabiálisnál nem. A képzéshely tekintetében is találtunk szignifikáns különbségeket: a rövideknél mindhárom képzéshelyű beszédhang szignifikánsan különbözött egymástól a CoG értékeiben, a hosszúaknál azonban a [p:] és a [t:] nem (lásd 3. ábra).

A spektrum átlagos eltérése a bilabiális hangok esetében volt a legkisebb, míg a másik két képzéshelyű hangok esetében a nagyobb értékű. A ferdeség tekintetében mind a három hangnál pozitív értékeket találtunk, ami arra utal, hogy az eloszlás aszimmetrikus és balra tolódik el: a képzéshely tekintetében a rövideknél [p] > [t] > [k] sorrendben, míg a geminátáknál a [t:] > [p:] > [k:] sorrendben. A csúcsosság értékei mindhárom képzéshelyű explozíva esetében pozitív értéket mutattak, vagyis az eloszlás csúcsosabb, mint a normál eloszlás: a képzéshely tekintetében a rövideknél [p] > [t] > [k] sorrend, míg a geminátáknál [t:] > [p:] > [k:] sorrend állítható fel.



3. ábra

A spektrális középpont értéke a képzéshely és a kvantitás szerint (képzéshely szerinti különbségek: a ** jelzi, hogy $p < 0,01$)

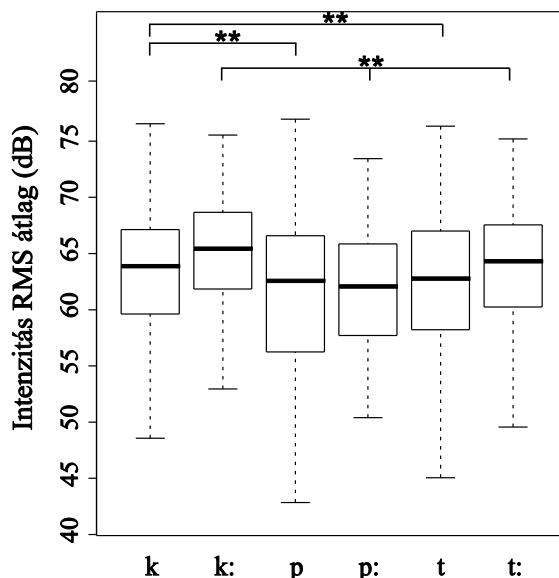
Az intenzitás RMS értékeiben szintén az alveoláris és a veláris explozíváknál figyelhetünk meg szignifikáns eltéréseket a hosszúsági oppozíció szerint (a statisztikai eredményeket lásd a 4. táblázatban). A [p] és a [p:] esetében csak az intenzitás RMS átlagos eltéréseben különböztek a rövid és a hosszú hangok. Az intenzitás átlaga a [p] zárhangnál a legalacsonyabb (az átlagérték a rövideknél 62 dB, a hosszúknál 62 dB), a [t]-nél magasabb (az át-

lagérték a rövideknél 62 dB, a hosszúknál 64 dB), a [k]-nál pedig a legmagasabb (az átlagérték a rövideknél 63 dB, a hosszúknál 65 dB), vagyis a képzéshely hátrébb tolódásával növekvő tendenciát mutatott (4. ábra). Az alveoláris és a veláris hangoknál megfigyelhető, hogy a geminátáknál magasabb intenzitás-átlagértékeket mértünk, mint a rövid párjuknál. A képzéshely hatása a rövid hangoknál a [k] és [t], illetve a [k] és a [p] között volt szignifikáns; a geminátáknál pedig mindhárom képzéshely tekintetében.

Az intenzitás RMS átlagos eltérése a bilabiális hangoknál volt a legkisebb, az alveolárisoknál a legnagyobb. A hosszú zárhangok mindegyik képzéshely esetén nagyobb intenzitás RMS átlagos eltéréssel jellemezhetőek a rövidekhez viszonyítva. A kvantitás hatása szignifikánsnak bizonyult. Az intenzitás RMS maximumértékei a [p] > [t] > [k] sorrendet mutatták. A kvantitás szerint csak az alveoláris és a veláris hangok különböztek ebben a paraméterben.

4. táblázat: A statisztikai elemzés eredménye: kvantitás szerinti különbségek (n. sz. = nem szignifikáns)

Jellemzők	Bilabiális	Alveoláris	Veláris
CoG	n. sz.	poszt. átl. = -199; CI(-333; -42); p = 0,004	poszt. átl. = -266; CI(-441; -106); p = 0,006
Átlagos eltérés	n. sz.	poszt. átl. = -161; CI(-262; -73); p = 0,001	poszt. átl. = -132; CI(-224; -41); p = 0,001
Ferdeség	n. sz.	poszt. átl. = 0,502; CI(0,187; 0,786); p = 0,006	poszt. átl. = 0,838; CI(0,420; 1,208); p = 0,001
Csúcosság	n. sz.	poszt. átl. = 6,593; CI(2,767; 10,326); p = 0,001	poszt. átl. = 6,516; CI(2,235; 10,785); p = 0,002
Intenzitás RMS átlag	n. sz.	poszt. átl. = 1,102; CI(0,333; 1,956); p = 0,004	poszt. átl. = 0,973; CI(-0,192; 1,906); p = 0,080
Intenzitás RMS átlagos eltérés	poszt. átl. = -1,566; CI(-2,888; -0,270); p = 0,016	poszt. átl. = -0,748; CI(-1,357; -0,150); p = 0,014	poszt. átl. = -0,875; CI(-1,512; -0,282); p = 0,010
Intenzitás RMS maximum	n. sz.	poszt. átl. = 1,001; CI(0,503; 1,486); p = 0,001	poszt. átl. = 0,665; CI(0,130; 1,331); p = 0,034



4. ábra

Az intenzitás RMS átlag a képzéshely és a kvantitás szerint (képzéshely szerinti különbségek: a ** jelzi, hogy $p < 0,01$)

Következtetések

A jelen kutatás arra kereste a választ, hogy az időtartam-alapú jellemzőkön kívül milyen más akusztikai jegyekkel írható le a rövid és a hosszú felpattanó zárhangok produkciós megkülönböztetése. A kérdés megválaszolásához elemeztük az explozívák felpattanásának realizációját, különböző spektrális jegyeit, illetve intenzitásjellemeit.

A felpattanások kvantitatív jellemzőit vizsgálva azt találtuk, hogy a spontán beszédben megjelenő explozívák döntő többsége (94,7%) legalább egyszeri felpattanással realizálódik. Ez az eredmény megegyezik a korábbi, magyar nyelvre végzett kutatások eredményeivel: Gráczy és Kohári (2012) logatomok felolvasásakor az adatok 94,3%-ában adatolt legalább egy felpattanást a vizsgált konzonánsok körében. Kutatásukban a rövid explozívákra fókuszáltak, anyagukban hosszú mássalhangzók nem szerepeltek. A jelen vizsgálatban a hosszúsági oppozíciót tekintve a felpattanás elmaradása jellemzőbbnek bizonyult a rövid mássalhangzók esetében, mint a geminátáknál (7,9% vs. 1,0%). Ezzel szemben a többszöri felpattanás a geminátákra volt jellemzőbb (42,7% vs. 65,9%). Gráczy és Kohári (2012) kutatásában a rövid [p, t, k] esetében 44,4%-os arányt találtak a többszöri felpattanás előfordulására; ami szintén összhangban van a jelen kutatás eredményeivel. Továbbá

adataink is megerősítették azt a szakirodalmi megállapítást (pl. Keating et al. 1980; Gráczy–Kohári 2012), hogy a felpattanások többszöri megjelenése összefüggésben áll a zár helyével. A hátsóbb képzési hely esetén gyakoribb volt a többszöri felpattanás megjelenése, mint a bilabiális mássalhangzóknál. Ennek magyarázatául az akadályt képező területek különböző mérete, és az ezekre ható szájüregi nyomásviszonyok szolgálhatnak. A kvantitás nem döntő tényező ebben az artikulációs és aerodinamikai jelenségben, ugyanis mind a rövid, mind a hosszú zárhangoknál azonos módon, a képzéshelytől függően alakult a többszöri felpattanás gyakorisága.

A zár-felpattanások spektrális jegyeit illetően számos paraméterben szignifikáns különbségeket mutattunk ki a rövid és a hosszú zárhangok között: a CoG-ben, a spektrális energiaeloszlás átlagos eltérésében, ferdeségében és csúcosságában. Adataink azt támasztották alá, hogy a hosszú zárhangoknak alacsonyabb energiakonzentrációja van, mint a rövid explozívoknak. A részletesebb vizsgálat fényt derített arra, hogy a hosszúsági oppozíció szerinti különbségek képzéshelytől függőek. A legnagyobb spektrális különbségek a kvantitás tekintetében az alveoláris és a veláris zárhangoknál tapasztalhatók. A bilabiális zárhangok a spektrális középpont és az intenzitás tekintetében általában alacsonyabb értékekkel jellemezhetők, mint a másik két képzéshelyű mássalhangzó, így a rövid-hosszú pár közötti különbségek is kisebb mértékűek. Az okok feltárásához további vizsgálatok szükségesek kontrollált fonetikai környezet (a pozíció, a hangsúlyviszonyok, avagy a követő beszédhangok minősége tekintetében), valamint több beszélő (női adatközlők) bevonásával.

Adataink alapján az intenzitásviszonyok tekintetében is jellegzetes különbségek tapasztalhatók a rövid és a gemináta zárhangok között. Az utóbbiakra jellemzőbbek voltak a magasabb intenzitásértékek. Ennek egy lehetséges magyarázatát az intraorális nyomás különbségeiben kereshetjük a rövid és a hosszú hangok között. Mivel a gemináták hosszabb zárszakasszal jellemezhetők a rövid zárhangokhoz képest, és a szájüregi nyomás növekedése folyamatos a zár fenntartása alatt, így annak megnövekedett mértéke tükröződhet a rövid-hosszú zárhangok spektrális jegyeinek és intenzitásjellemzőinek különbségeiben. Ezen paraméterek vélhetően a hosszúsági oppozíció másodlagos akusztikai attribútumainak tekinthetők a felpattanó zárhangok esetében. Mindazonáltal a rövid-hosszú megkülönböztetésben betöltött szerepükről pontosabb képet akkor kaphatunk, ha megvizsgáljuk a jelentőségüket az észlelés szempontjából is.

Összefoglalásképpen elmondható, hogy a kvantitás elsődleges akusztikai-fonetikai korrelátuma az időtartam, a zárhangok esetében a zárszakasz időtartama – mint ahogyan azt a korábbi nemzetközi és hazai kutatások is alátámasztották. A jelen kutatás eredményei azonban tovább árnyalják ezt a képet: a rövid és a hosszú explozívák nemcsak a temporális dimenzióban különböznek, hanem spektrális jegyekben is találhatók eltérések közöttük.

Irodalom

- Abramson, Arthur S. 1986. The perception of word-initial consonant length: Pattani Malay. *Journal of the International Phonetic Association* 16/1. 8–16.
- Abramson, Arthur S. 1991. Amplitude as a cue to word-initial consonant length: Pattani Malay. In: *Proceedings of the 12th ICPHS*, Aix-en-Provence, August 1991. 98–101.
- Abramson, Arthur S. 1999. Fundamental frequency as a cue to word-initial consonant length: Pattani Malay. In: *Proceedings of the 14th ICPHS*, Berkeley, August 1999. 591–594.
- Amano, Shigeaki – Girata, Yukari 2015. Perception and Production of Singleton and Geminate Stops in Japanese: Implications for the Theory of Acoustic Invariance. *Phonetica* 72/1. 43–60.
- Blumstein, Sheila E. – Stevens, Kenneth N. 1979. Acoustic invariance in speech production: Evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 66. 1001–1017.
- Boersma, Paul – Weenink, David 2013. Praat: Doing phonetics by computer [Computer program]. 5.3. verzió. <http://www.praat.org/> (A letöltés ideje: 2013. október 10.)
- Chodroff, Eleanor – Wilson, Colin 2014. Burst spectrum as a cue for the stop voicing contrast in American English. *Journal of the Acoustical Society of America* 136/5. 2762–2772.
- Christensen, Rune Haubo Bojesen 2015. Regression models for ordinal data. <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal/> (A letöltés ideje: 2016. október 1.)
- Davis, Stuart – Ragheb, Marwa 2014. Geminate representation in Arabic. *Perspectives on Arabic Linguistics XXIV–XXV*. 3–19.
- Dmitrieva, Olga 2012. *Geminate typology and the perception of consonant duration*. PhD Thesis. Stanford University, Stanford.
- Gósy Mária 2004. *Fonetika, a beszéd tudománya*. Osiris, Budapest.
- Gósy Mária – Gyarmathy Dorottya – Horváth Viktória – Grácsi Tekla Etelka – Beke András – Neuberger Tilda – Nikléczy Péter 2012. BEA: Beszélt nyelvi adatbázis. In Gósy Mária (szerk.): *Beszéd, adatbázis, kutatások*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 9–24.
- Grácsi Tekla Etelka – Kohári Anna 2012. A zöngkezdesi idő egy módszertani kérdés függvényében. In Markó Alexandra (szerk.): *Beszédtudomány. Az anyanyelv-elsajátítástól a zöngkezdesi időig*. ELTE Bölcsészettudományi Kar – MTA Nyelvtudományi Intézet, Budapest. 228–248.
- Forrest, Karen – Weismer, Gary – Milenkovic, Paul – Dougall, Ronald N. 1988. Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: Preliminary data. *Journal of the Acoustical Society of America* 84/1. 115–123.
- Hadfield, Jarrod D. 2010. MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models: The MCMCglmm R package. *Journal of Statistical Software* 33/2. 1–22.
- Ham, William 2001. *Phonetic and phonological aspects of geminate timing*. Routledge, New York.
- Henton, Caroline – Ladefoged, Peter – Maddieson, Ian 1992. Stops in the world's languages. *Phonetica* 49. 65–101.
- Idemaru, Kaori – Guion, Susan G. 2008. Acoustic covariants of length contrast in Japanese stops. *Journal of the International Phonetic Association* 38/2. 167–186.

- Kabak, Baris – Reckziegel, Tanja – Braun, Bettina 2011. Timing of second language singletons and geminates. In: *Proceedings of the 17th ICPHS*, Hong Kong, August 2011. 994–997.
- Keating, Patricia A. – Westbury, John R. – Stevens, Kenneth N. 1980. Mechanisms of stop-consonant release for different places of articulation. *Journal of the Acoustical Society of America* 67. S93. http://www.linguistics.ucla.edu/people/keating/KeatingWestburyStevens_ASA1980.pdf (A letöltés ideje: 2016. október 1.)
- Kraehenmann, Astrid – Lahiri, Aditi 2008. Duration differences in the articulation and acoustics of Swiss German word-initial geminate and singleton stops. *Journal of the Acoustical Society of America* 123/6. 4446–4455.
- Ladefoged, Peter – Maddieson, Ian 1996. *Sounds of the world's languages*. Blackwell, Oxford.
- Local, John – Simpson, Adrian P. 1999. Phonetic implementation of geminates in Malayalam nouns. In: *Proceedings of the 14th ICPHS*, San Francisco, August 1999. 595–598.
- Lousada, Marisa Lobo – Jesus, Luis – Pape, Daniel 2012. Estimation of stops' spectral place cues using multitaper techniques. *DELTA: Documentação de Estudos em Lingüística Teórica e Aplicada* 28/1. 1–26.
- Magdics Klára 1965. *A magyar beszédhangok akusztikai szerkezete*. Nyelvtudományi Értekezések 49. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Németh Géza – Olasz Gábor (szerk.) 2010. *A magyar beszéd. Beszédkutatás, beszédtechnológia, beszédinformációs rendszerek*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Ohala, John J. 1983. The origin of sound patterns in vocal tract constraints. In MacNeilage, Peter F. (ed.): *The production of speech*. Springer, New York. 189–216.
- Ohde, Ralph N. – Stevens, Kenneth N. 1983. Effect of burst amplitude on the perception of stop consonant place of articulation. *Journal of the Acoustical Society of America* 74/3. 706–714.
- Olasz Gábor 1985. *A magyar beszéd leggyakoribb hangsorépítő elemeinek szerkezete és szintézise*. Nyelvtudományi Értekezések 121. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Pajak, Božena 2009. *Context-dependent perception of geminates*. <https://bpajak.github.io/pdfs/LSA09.poster.pdf> (A letöltés ideje: 2016. október 1.)
- Pandey, Badri N. – Dwividi, Nidhi – Pulastya, Bandyopadhyay 2011. Comparison between Bayesian and maximum likelihood estimation of the scale parameter in Weibull distribution with known shape under linex loss function. *Journal of Scientific Research* 55. 163–172.
- Payne, Elinor M. 2006. Non-duration indices in Italian geminate consonants. *Journal of the International Phonetic Association* 36/1. 83–95.
- Polgárdi, Krisztina. 2008. Geminates and degemination in Hungarian: A loose CV analysis. In Piñón, Christopher – Szentgyörgyi, Szilárd (eds.): *Approaches to Hungarian 10. Papers from the Veszprém conference*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 127–146.
- Press, James S. 2012. *Applied multivariate analysis: Using Bayesian and frequentist methods of inference*. Dover Publication, Mineola, New York.
- R Core Team 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.r-project.org/> (A letöltés ideje: 2016. június 1.)

- Ridouane, Rachid 2010. Geminate at the junction of phonetics and phonology. *Papers in Laboratory Phonology* 10. 61–90.
- Ridouane, Rachid – Halle, Pierre 2008. Word-initial voiceless geminate stops: Production and perception. *Journal of the Acoustical Society of America* 123/5. 3078–3078.
- Rouder, Jeffrey N. – Lu, Jun – Speckman, Paul – Sun, Dongchu – Jiang, Yi 2005. A hierarchical model for estimating response time distributions. *Psychonomic Bulletin & Review* 12/2. 195–223.
- Siptár, Péter – Grácsi, Tekla Etelka 2014. Degemination in Hungarian: Phonology or phonetics? *Acta Linguistica Hungarica* 61/4. 443–471.
- Sundara, Megha 2005. Acoustic-phonetics of coronal stops: A cross-language study of Canadian English and Canadian French. *Journal of the Acoustical Society of America* 118/2. 1026–1037.
- Sussman, Harvey M. – Hoemeke, Kathryn A. – Ahmed, Farhan S. 1993. A cross-linguistic investigation of locus equations as a phonetic descriptor for place of articulation. *Journal of the Acoustical Society of America* 94/3. 1256–1268.
- Thurgood, Graham 1993. Geminate: A cross-linguistic examination. In Nevis, Joel A. – McMenamin, Gerald – Thurgood, Graham (eds.): *Papers in honor of Frederick H. Brengelman on the occasion of the twenty-fifth anniversary of the Department of Linguistics*, California State University Fresno, Fresno. 129–139.

A kutatás az OTKA 108762. számú pályázat támogatásával, valamint az MTA Poszt-doktori Kutatói Pályázat keretében készült.

Spectral properties of stop burst depending on length

Abstract representations of geminates are reflected in the phonetic realisations. Phonetic examination of the two length categories (singleton vs. geminate) can provide a more accurate picture of Hungarian gemination process.

The present research investigates burst spectrum differences between Hungarian single and geminate stops. The data set contains manually segmented voiceless stop consonants in intervocalic positions from spontaneous speech samples. We analysed the following parameters: centre of gravity (CoG), standard deviation, skewness and kurtosis of burst spectrum, as well as root mean square (RMS) amplitude (mean, SD, maximum). Results proved major differences between singletons and geminates in terms of acoustic attributes of burst. This suggests that single and geminate stops differ not only in terms of durational but also of spectral properties.

