

A FORMÁNSMENETEK RENDSZERE CVC KAPCSOLATOK MAGÁNHANGZÓIBAN A C KÉPZÉSI HELYÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN

Abari Kálmán – Olasz Gábor

Bevezetés

A magyar beszédhangok formánsainak vizsgálata a több mint 70 éves múlt-
ra tekint vissza (Tarnóczy 1941), és ennek megfelelően rendkívül gazdag
szakirodalommal rendelkezik. Az akusztikai fonetika eme kiemelt témaköré-
nek alapfogalmai és a kezdeti kutatásoktól a napjainkig terjedő bemutatása
Gráczy és Horváth (2010) kitűnő tanulmányának bevezetőjében olvasható.
A magánhangzók formánsszerkezetét illetően ismert, hogy igényes ejtésben,
izolált szóban az első és második formáns már egyértelműen meghatározza a
magánhangzó minőségét (Gósy 2004). Mindaddig a mérések célzott hangfel-
vételeken alapultak, és sok esetben csak a magánhangzó közepéről vett for-
mánsértéket vizsgálták átfogóan. Vértes O. András az *agyagya* logatom máso-
dik [ɔ] magánhangzóját elemezte férfi beszélő ejtésében, és a tiszta fázisra jel-
lemző 1000 Hz-es érték előtt és után 1200 Hz-es és a fölötti részt talált a má-
sodik formánsban. Ez alapján írja: „Az említett jelenség nem kivétel. Éppen
ezért kérdéses, hogy mennyire jogos a magánhangzó közepére korlátozni a
méréseket” (Vértes 1982: 78). A magyar magánhangzók formánsszerkezetére
vonatkozó első átfogó elemzést Magdics (1965) adta közre. Vizsgálatában 26
mássalhangzó és 8 magánhangzó összes CV és VC hangkapcsolódásának
frekvenciaszerkezetét írja le. A CV hangpárok F_2 és F_3 formánsmozgásait áb-
rán követhetjük nyomon, de mindkét hangkapcsolat esetén (CV és VC) a for-
mánsmozgás indul és cél frekvenciaértékeire számszerű adatokat is találunk.
Attól függően, hogy a szomszédos beszédhangok artikulációja mennyire tér el
egymástól, a formánsfrekvencia-értékek az időben kisebb-nagyobb mértékben
változnak a magánhangzó képzési idején belül, azaz a formáns mozog a ma-
gánhangzón belül. Bolla (1978) szintén teljeskörű elemzést adott a magyar
magánhangzók tiszta fázisát jellemző formánsokat illetően, vizsgálataihoz be-
szédszintézist is használt. Olasz (1985) a CV és VC kapcsolatokat vizsgálja
analízis-formánszintézis módszerrel, melyhez szóadatbázist készít (407 elem
egyetlen férfi bemondóval). Törtvonalas közelítéssel megadja az F_1 , F_2 , F_3
mozgását a CV és a VC diád magánhangzójában 23 C-re és 9 V-re. Minden
hangkapcsolódásra találunk adatot, tehát a teljes magyar hangkapcsolódási te-
ret lefedi. A formánsmozgásokat számadatokkal írja le, amelyek korrektségét
szintetizált szavakon igazolja. A hangátmeneti részben bekövetkező for-

mánsmozgás percepcióban betöltött szerepét Gósy (1995) vizsgálta CV hangkapcsolatokban. A hangátmenettől megfosztott hangkapcsolat mássalhangzó-jának felismerhetőségével kapcsolatos kísérlete alapján megállapítja, hogy a hangátmenetek elsődleges vagy másodlagos akusztikus kulcsok az észlelésben, de sok esetben redundáns tényezőként funkcionálnak. Szerepük függ a mássalhangzók minőségétől és a kontextustól.

A formánsok mozgását leíró matematikai modellekre csak a nemzetközi szakirodalomban találunk példákat. A magánhangzó két átmeneti részét egy-egy másodfokú görbével írja le az egyik legkorábbi tanulmány e témában (Stevens et al. 1966), de van kísérlet a mozgási formák megragadására egyetlen parabolával (van Bergem 1993), exponenciális függvénnyel (Lindblom 1963) vagy diszkrét koszinusz-transzformációval (Watson–Harrington 1999). A mássalhangzó-magánhangzó találkozások formánsváltozásainak könnyen implementálható megközelítése a locus egyenlet (Krull 1987; vö. Csapó–Németh 2009), melyet főképp felpattanó zárhangok és magánhangzók átmeneteinek vizsgálatához alkalmaznak. A locus egyenlet a koartikulációs hatásokra két mérési pont alapján következtet. A módszer egyfajta általánosítását Broad és Clermont (2010) adja közre. Az általuk definiált lineáris modellben több mérési pont adata szerepelhet, például idézett tanulmányukban 11 pontot használnak a magánhangzó teljes hangidőtartamából a második formáns reprezentálására.

A jelen kutatás magyar nyelven elsőként vizsgálja a magánhangzók formánsmozgásait 5 mért pont alapján, formánsadatbázisból vett frekvenciaértékek vizsgálatával. A formánsmozgásokat saját modellel közelítjük, amely a magánhangzó teljes időtartamában jellemzi a formáns időbeli változását. A vizsgálati tér leszűkítésnek érdekében csak a CVC hangkapcsolatokat elemezzük, és ezeken belül is további hangösszevonásokat alkalmazunk a mássalhangzók képzési helyei (C_{kh}) és a magánhangzó minőségek (V_m) szerint. Ezzel olyan méretűre szűkítettük a mérési teret, ami kezelhetővé teszi a kérdéskört. Összefoglalva, a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hármasok rendszerében a formánsmozgásokon keresztül vizsgáljuk a koartikulációs hatásokat, és kísérletet teszünk a formánsmozgások formáinak meghatározására és rendszerezésére.

Ismert, hogy a mássalhangzók képzési helyei egy-egy jellemző artikulációs pozíciót jelentenek a toldalékos akusztikai átviteli tényezőinek formálása során. Vizsgálatunkban úgy tekintjük, hogy egy adott képzési helyet jellemző artikulációs konfigurációhoz hozzárendelhető a rá jellemző spektrális vetület, amelyet itt most csupán az F_1 és F_2 formánssal fejezünk ki (ez nem beszédhanghoz köthető formánsokat jelent). Ez a vetület a koartikuláció eredményeként hat a magánhangzón belül végbemenő formánsmozgásra a hangátmeneti szakaszokban és kisebb-nagyobb mértékben a magánhangzó tiszta fázisában is (Vértes 1989: 80). Úgy tekintjük, hogy a mássalhangzó képzési helyének (C_{kh}) ilyen fajta lenyomata a frekvencia tartományban nem függ lényegesen az ott képzett mássalhangzó képzési módjától és gerjesztésétől,

ezért általánosan alkalmasnak tartjuk mássalhangzó csoportok képviselőit (Olaszy 2003). Első hipotézisünk szerint az azonos $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ cellákhoz azonos jellegű formánsmozgások tartoznak a magánhangzóban.

Célunk, hogy a formánsmozgások alakjáról is képet kapjunk a magánhangzó teljes terjedelmében. Az általunk javasolt, matematikailag megfogalmazott alakok rendszerén keresztül tipikus formánsmozgások kategóriáit hozzuk létre. Második hipotézisünk szerint ez a kategorizálás megfelelően (kevés hibával) sorolja be az F_1 és az F_2 formánsmozgásokat az egyes kategóriákba, illetve alkalmas a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ cellák formánsmozgásainak jellemzésére.

A harmadik hipotézisünk az, hogy a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ magánhangzóiban lezajló formánsmenet típusok száma sokkal kisebb, mint a kapcsolatokból adódó hanghármas típusok száma. Ez azt jelenti, hogy lesznek olyan formánsmozgástípusok, amelyekkel többféle $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ -t lehet jellemezni. Így adattömörítésre nyílik lehetőség a formánsmozgások rendszerének leírásánál, esetleges algoritmusok kialakításánál.

Módszer

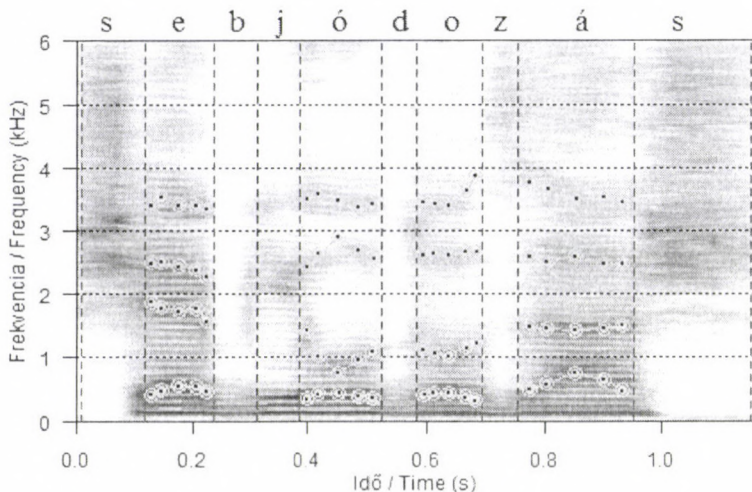
A vizsgálatokhoz az első, interneten elérhető magyar formánsadatbázis frekvenciaadataiból (Abari–Olaszy 2011) indultunk ki. Az adatbázis beszéd-korpusza szólistát tartalmaz, egy férfi (60 éves) és egy nő (32) felolvasásában (1500 szó). Magánhangzónként 3 mérési pont (az időtartam 25%-ában, 50%-ában 75%-ában) jellemzi az egyes formánsok mozgását. Azért, hogy a hangátmeneti részeket pontosabban tudjuk leírni, minden magánhangzóban 5 mérési pontot (10%, 25%, 50%, 75%, 90%) határoztunk meg a formánsmozgás jellemzésére. Így a hangátmeneti részek formánsmozgásait pontosabban tudjuk modellezni. Ez képezte a mérési teret. Az adatbázis használatát biztosítja, hogy a mérési eredmények bárki számára ellenőrizhetők (vizuálisan is), a mérések bármikor megismételhetők, más mérési eredményekkel összehasonlíthatók. Az 5 mérési pontos formánsadatbázis kiegészítő méréseinek adat helyességét vizuálisan ellenőriztük, tehát ez a formánsadatbázis is referenciának tekinthető, hasonlóan a 3 pontoshoz.

A vizsgálatokban a 9 magánhangzó-minőség szerepel (V_m): [ɔ], [a:], [ɛ], [e:], [i, i:], [o, o:], [ø, ø:], [u, u:] és [y, y:]. A mássalhangzókat 6 képzési hely szerint csoportosítottuk (C_{kh}): BL = bilabiális, LD = labiodentális, DA = dentálveoláris, AL = alveoláris, PA = palatális, VE = veláris. Ennek megfelelően $6 \times 9 \times 6 = 324$ féle $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármas a vizsgálat tárgya. Ezeket a hanghármas típusokat röviden *celláknak* nevezzük. A BL[ɔ]VE cella például a [bɔg], [pɔg], [mɔg], [bɔk], [pɔk] és [mɔk] hanghármasokat fedi le. A cellákban előforduló minták száma változó, ezt az adatbázis jelenlegi tartalma határozza meg.

A nyelvi anyagban 9778 db magánhangzó található, és kettő kivételével minden $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kapcsolatra van minta (a kivétel az LD[ø, ø:]LD és a BL[u, u:]VE cella). Az adatbázisban normál köznapi ejtéssel kiejtett magyar

szavak szerepelnek; a bemondókat semleges hanglejtésre kérték. A formáns-adatbázis készítésének további részleteiről lásd Olaszky et al. 2009.

Az 1. ábrán az adatbázis *sebjódozása* szóalakjában lévő 4 magánhangzó formánsmozgása (F_1 , F_2 , F_3 és F_4) látható. A fekete pontok az adatbázisban rögzített frekvenciaértékeket jelzik. A 4 magánhangzó rendre az AL[ε]BL, PA[o, o:]DA, DA[o, o:]DA és DA[a:]AL hanghármas kategóriák egy-egy adatbázisbeli előfordulása.



I. ábra

Példa három $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hangkapcsolat magánhangzójának az adatbázisban rögzített mérési pontjaira (a *sebjódozása* szóból)

A $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kapcsolatok magánhangzójának csak az F_1 , F_2 értékeit vizsgáltuk az 5 mérési ponton. Ez közel 100 000 formánsfrekvencia-értéket jelent. A formánsmozgások modellezésére matematikai módszereket használunk. Ezek részleteiről az egyes vizsgálatoknál szólunk. Az adatok rendszerezésére, lekérdezésére, statisztikai és fonetikai elemzésére az R statisztikai programot (2011) használtuk. (E tanulmányban a formánsmozgás szóösszetételén a konkrét formánsmozgásokat értjük egy-egy formánssra vonatkoztatva. A modellünkben szereplő 27 db (5. ábra) mozgásformára a formánsmenet összetett szót használjuk.)

A vizsgálat véghezviteléhez lépcsőzetesen közelítettünk. Az első lépésben normalizáltuk a mérési tér adatait, hogy nemtől függetlenül vizsgálhassuk az adatokat. A második lépésben a formánsmozgásokat összesítettük, hasonló-

ságukat statisztikai mutatóval jellemeztük. A következő fázisban modelleztük a formánsmozgásokat, és a modellek alapján meghatároztuk minden $C_{kh,1} V_m C_{kh,2}$ hanghármásra a jellemző formánsmenettípust. Statisztikailag értékeltük, hogy a formánsmenetek milyen mértékben kapcsolhatók a mássalhangzó képzési helyéhez a magánhangzó függvényében. Az utolsó lépésben a formánsmeneteket egyesítettük, és létrehoztuk a jellemző formánstérképeket, amelyekben mind az F_1 -re, mind az F_2 -re jellemző formánsmeneteket – hasonlóan a hangspektrogramhoz – megadtuk az idő függvényében. A formánstérkép jellemzi a magánhangzót, valamint a megelőző és a követő mássalhangzót a képzési helyük függvényében.

Eredmények Normalizálás

A formánsadatbázis adatainak együttes elemzéséhez a formánsértékeket normalizálni kell. Minden egyes formánsérték két koordinátponttal jellemezhető: egy időkoordinátával (a hangon belül) az x -tengelyen (mp-ben) és egy frekvenciakordinátával az y -tengelyen (Hz-ben). Az időben változó formánsmozgások vizsgálatához mindkét koordinátában szükség van az összemérhetőséget biztosító normalizált adatokra.

A normalizált állapotot az időtengelyen a mérési pontok egységes meghatározása eleve biztosítja. Itt nem volt szükség további teendőre, mert a mérési pontok a magánhangzó hangidőtartamának százalékos arányában lettek megállapítva (10%, 25%, 50%, 75%, 90%) az adatbázis összes magánhangzója esetén. A frekvenciátengelyen a sok szóba jöhető ún. magánhangzó-normalizálási eljárás közül a Lobanov-féle módszert (Lobanov 1971) választottuk, amely könnyen értelmezhető és jól használható a beszélők közötti különbségek eliminálására (pl. fiziológiai, anatómiai különbségek), míg a hangsor beszélőfüggetlen része, a fonemikus információ, változatlan marad (Flynn-Foulkes 2011).

A Lobanov-féle módszer a matematikai statisztikában megszokott Z -transzformáción alapul:

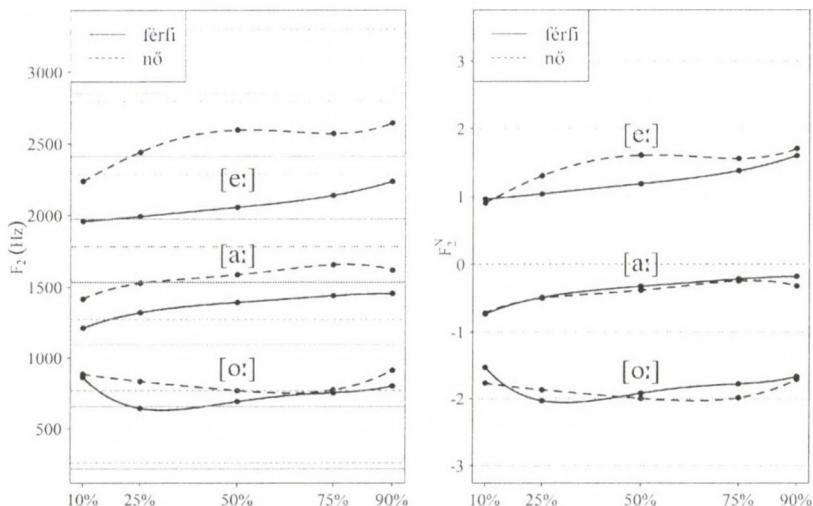
$$F_i^N = \frac{F_i - \bar{F}_i}{s_i}, i = 1, 2$$

A módszer alapján beszélőnként és formánsokként kiszámoljuk a formánsértékek átlagát (\bar{F}_i) és szórását (s_i), melyekkel korrigáljuk az összes magánhangzó megfelelő formánsértékeit. Az 1. táblázatban összefoglaltuk az adatbázisunk magánhangzóira kiszámolt statisztikai mutatókat, két beszélőre és két formánusra csoportosítva.

A normalizálás fontos szerepét a 2. ábra mutatja be egy példán keresztül. Három magánhangzó F_2 formánsmozgását láthatjuk három szó (*megóv*, *lékvágó*, *különbőség*) esetében. A bal oldali ábrán a normalizálás előtti állapotot, a jobb oldalin pedig a Lobanov-féle módszerrel korrigált mozgásokat láthatjuk.

1. táblázat: A Lobanov-féle normalizálás során felhasznált átlag- és szórásadatok az összes magánhangzó alapján

	Átlag (\bar{F}_i)		Szórás (s_i)	
	F ₁ (Hz)	F ₂ (Hz)	F ₁ (Hz)	F ₂ (Hz)
1. beszélő (férfi)	470	1535	122	439
2. beszélő (nő)	534	1781	153	506



2. ábra

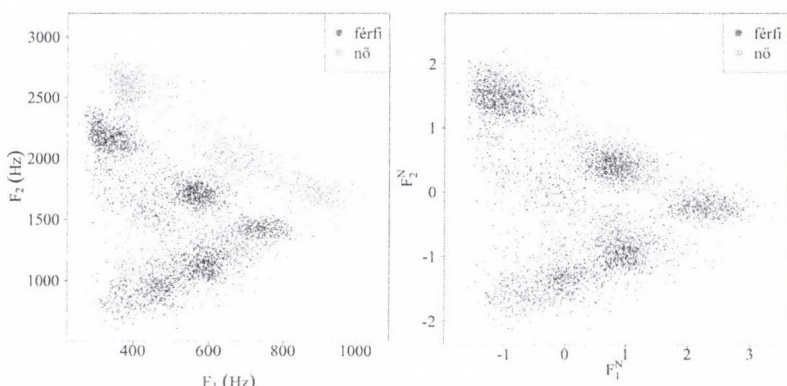
A normalizálás hatása a formánsértékekre. Az átlagtól azonos szórásnyi távolságra lévő frekvenciaértékek (bal oldali ábra) a normalizált formánstérben azonos pozícióba kerülnek (jobb oldali ábra)

A normalizálás eredményének jobb megértését rácsvonalakkal segítjük. A bal oldali ábrán folytonos vízszintes vonallal jelöltük a férfi beszélő F₂ formánsmozgás-átlagát (1535 Hz) a teljes adatbázisra vonatkozóan (lásd 1. táblázat), továbbá az egy szórásra lévő frekvenciákat (1096 Hz = 1535 Hz – 439 Hz és 1974 Hz = 1535 Hz + 439 Hz), valamint a két szórásra (657 Hz és 2413 Hz) és a három szórásra lévő értékeket (218 Hz, 2852 Hz). Szaggatott vízszintes vonallal jelöltük a női beszélő F₂ formánsmozgásának hasonló adatait: átlag (1781 Hz), egy szórásnyi távolságok (1275 Hz és 2287 Hz), két szórásnyi távolságok (769 Hz, 2793 Hz) és a három szórásnyi távolságok (263 Hz és 3299 Hz). A jobb oldali ábrán a normalizált formánstér –3, –2, –1, 0, 1, 2 és

3 pontjait emeltük ki. Az egyes értékek az átlagtól való szórásnyi eltérések együtthatóit jelentik.

A normalizálás úgy értelmezhető, hogy az átlagtól azonos szórásnyira lévő formánsértékek átfedik egymást a normalizált formánstérben különböző beszézők esetén. A 2. ábra bal oldali részén az [a:] hangra megadott középső két formánsmozgás mutatja, hogy a görbék a beszélőre jellemző saját átlaguknál csaknem azonos (saját szórásukban számolt) mértékben alacsonyabban helyezkednek el, így a jobb oldali ábrán ezek a görbék szinte átfedik egymást.

Hasonló átfedést láthatunk a 3. ábrán is, amely az F_1 - F_2 síkon a vizsgált formánsadatbázis összes formánsértékét mutatja be normalizálás előtt és normalizálás után. A tanulmány további részében ezeket a normalizált frekvenciaadatokat használjuk a Hz-ben mért értékek helyett.



3. ábra

Az adatbázis formánsértékei az 50%-os mérési pontokon mérve az F_1 - F_2 síkon, normalizálás előtt (balra) és normalizálás után (jobbra)

A formánsmozgások stabilitása

Adataink normalizálása után lehetőségünk van az összes formánsmozgás megrajzolására, az összes magánhangzóra az összes mássalhangzó-képzési hely függvényében beszélőtől függetlenül. Egy adott magánhangzó esetén a 6 képzési helyből képzett mátrixban, összesen 36 cellában rajzolhatjuk meg a különböző hangkörnyezetekben megvalósuló formánsmozgásokat. Az összes magánhangzóra vonatkoztatva 9 db ilyen mátrixot készítettünk formánsenként. A formánsmozgásokat az 5 pontra illesztett negyedfokú polinommal közelítjük. Az F_1 és F_2 formánsmozgások egy-egy mátrixára láthatunk példát a 4. ábrán az [o, o:] hangra. A 324 különböző $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kategóriában megvalósuló formánsmozgást áttekinthetjük azt mondhatjuk, hogy F_1 és F_2 tekintetében, minden kategória esetén, szemre, jellemzően azonos formánsmenet áll-

pítható meg. Az objektívebb értékelés érdekében egy ún. stabilitási mutatót (SM) vezettünk be, amely minden kategória esetén egy számértékkel jelzi a benne megvalósuló formánsmozgások hasonlóságát. Minél közelebb van nullához a mutató értéke, annál hasonlóbbak a cella formánsmozgásai.

Egy adott $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasra jellemző stabilitási mutató kiszámításához először meghatározzuk a cella átlagos görbét, az átlaggörbét (vagy a klaszteranalízisből kölcsönzött szóval a centroidját), amelyet az azonos időkoordinátával rendelkező formánsértékek átlagolásával kapunk meg. Az átlaggörbe 5 pontjának formánsértékeit jelöljük f_i -vel ($i = 1, 2, 3, 4, 5$). A stabilitási mutató az átlaggörbétől mért átlagos euklideszi távolság, azaz

$$SM = \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{\sum_{i=1}^5 (f_{ji} - \bar{f}_i)^2}}{n},$$

ahol n a cellában előforduló görbék száma, f_{ji} a j . görbe i . pontjának normalizált frekvenciaértéke. A stabilitási mutató alkalmas az egyes cellákban megvalósuló formánsmozgások hasonlóságának jellemzésére. A mutató biztosítja, hogy az adatbázisban gyakrabban előforduló hanghármasok (pl. DAV_mDA) és a ritkább kapcsolatok (pl. VEV_mPA) is összehasonlíthatók legyenek, hiszen átlagértékről van szó. A kiszámolt stabilitási mutatók segítségével a $324 C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármas akár sorba is rendezhető, továbbá csak a magánhangzók és csak a hangkörnyezetek esetében is felállítható egy-egy stabilitási sorrend.

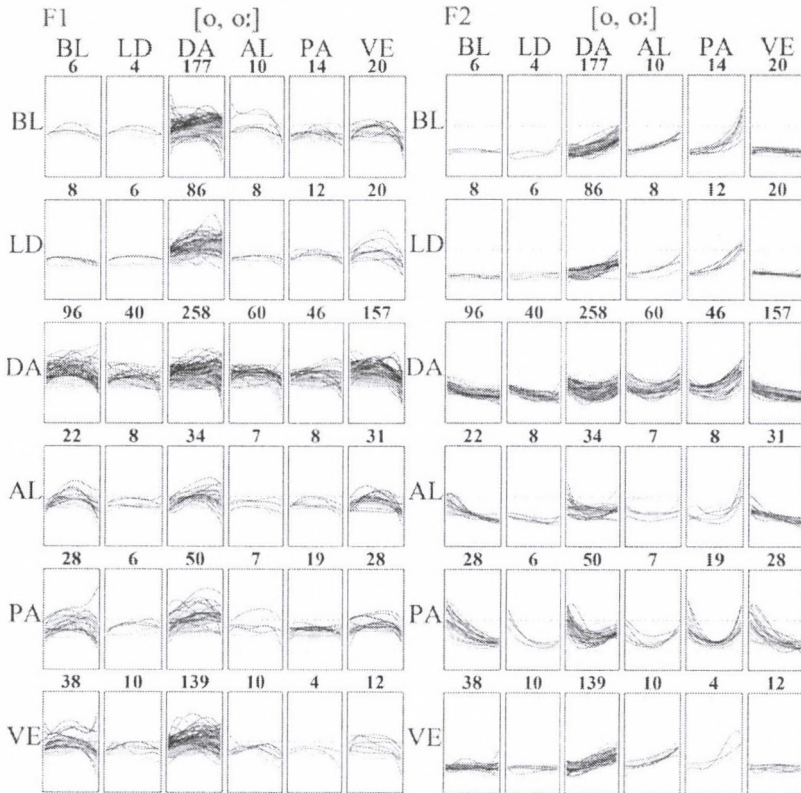
Az $[o, o:]$ magánhangzó kategória stabilitási mutatóit különböző hangkörnyezetekben a 2. táblázatban közöljük. A kisebb érték stabilabb formánsmozgás halmazt jelent a cellán belül.

2. táblázat: Az $[o, o:]$ magánhangzó minőség stabilitási mutatói, különböző hangkörnyezetekben F_1 -re és F_2 -re

	F_1						F_2					
	BL	LD	DA	AL	PA	VE	BL	LD	DA	AL	PA	VE
BL	0,47	0,55	0,91	1,13	0,65	0,78	0,19	0,39	0,42	0,36	0,72	0,31
LD	0,45	0,44	0,84	0,45	0,41	0,77	0,31	0,28	0,38	0,56	0,48	0,24
DA	0,98	0,81	0,84	0,98	0,87	0,81	0,42	0,37	0,55	0,59	0,78	0,36
AL	0,74	0,44	0,70	0,64	0,57	0,54	0,47	0,35	0,67	0,78	0,89	0,33
PA	1,06	0,53	1,09	0,85	0,47	0,66	0,87	0,59	0,81	0,53	0,90	0,83
VE	1,02	0,79	0,87	0,66	0,62	0,79	0,32	0,27	0,40	0,50	0,84	0,26

Az átlagok az adatbázis összes első és második formánsában megvalósuló formánsmozgás alapján: $SM(F_1) = 0,613$, $SM(F_2) = 0,474$. A két formánsban megvalósuló formánsmozgások stabilitása szignifikánsan eltér (Wilcoxon-próba: $p < 0,001$). Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy a különböző

$C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasokon belül az F_2 formánsmozgásai egységesebbek az F_1 formánsmozgásaihoz viszonyítva, vagyis a hangkörnyezet egymáshoz hasonlóbb mozgásformákat alakít ki a második formánsban, mint az első formánsban. A stabilitási mutató alkalmas a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasokban előforduló formánsmozgások hasonlóságának leírására, de a formánsmenet alakjáról nem nyújt tájékoztatást. A továbbiakban a cellákat leíró jellemző formánsmenetek meghatározását mutatjuk be.



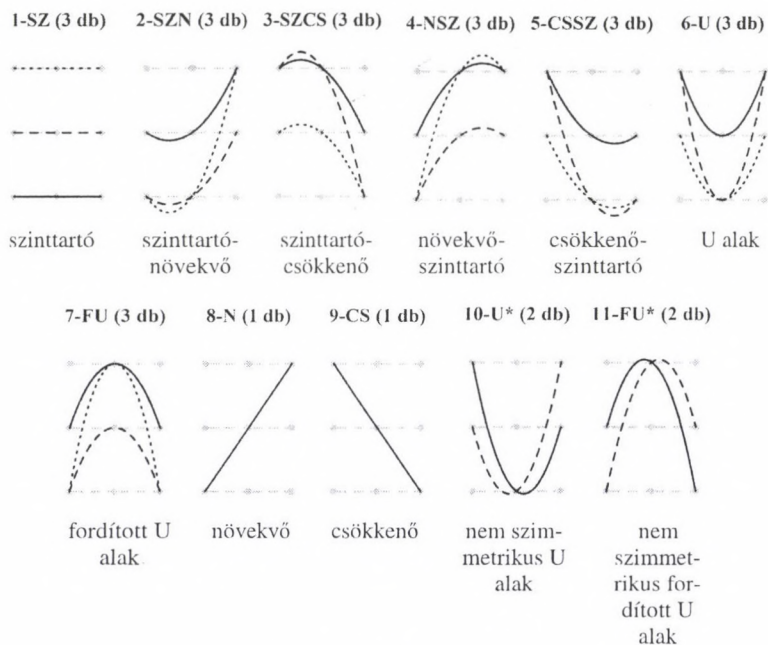
4. ábra

Az [o, o:] magánhangzók F_1 és F_2 formánsmozgásainak grafikus összesítése $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ helyzetekben a mérési pontokból származtatva. A megelőző mássalhangzó a mátrix sorainak, a követő a mátrix oszlopainak nevében szerepel. A cellák felett a hanghármas előfordulások (görbék) száma olvasható

A formánsmozgások modellezése: formánsmenettípusok

Eljárást dolgoztunk ki a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kapcsolatokban előforduló formánsmozgások kategorizálására. Először a formánsmozgások tipizálását végeztük el. Az 5. ábrán a matematikailag lehetséges ideális formánsmenetek rendszerét mutatjuk be. 27 db lehetséges ideális formánsmozgást definiáltunk, amelyeket 11 formánsmenettípusba soroltunk. Minden formánsmenettípus 9 pontot tartalmaz, 3 sorban és 3 oszlopban elrendezve. A 3 oszlop jelentése: a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hármás egyes elemeinek megfelelő artikulációs konfiguráció akusztikus vetülete. A három sor pedig a frekvenciaértékek 3 lehetséges szintje, melynek alapja, hogy a mássalhangzó-környezetbe helyezett magánhangzó frekvenciaértékeinek 2, ill. 3 fokozata figyelhető meg (Magdics 1965: 24). Az 5. ábra első formánsmenettípusának felirata: 1-SZ (3db), a neve szinttartó, és összesen 3 db lehetséges formánsmenetet tartalmaz (a pontozott, szaggatott és folytonos vonaltípusok különböztetik meg őket). Az egy típusba tartozó formánsmenetek a grafikon 9 pontjából úgy kötnék össze 3 pontot, hogy a 3 pont által meghatározott két átmeneti szakaszban, formánsmenetenként azonos a legyen mozgás iránya. A mozgás iránya lehet szinttartó, növekvő vagy csökkenő. Az 1. formánsmenettípus esetén mindkét átmenet szinttartó mindhárom formánsmenetben. A 2–5. grafikonokon további 3–3 ideális formánsmenetet látunk, az átmenetek itt: szinttartó-növekvő, szinttartó-csökkenő, növekvő-szinttartó és csökkenő-szinttartó. A 6. és 7. grafikon 3–3 szimmetrikus menete a csökkenő-növekvő és növekvő-csökkenő eseteknek felel meg. A 8. és 9. grafikon egy-egy ideális formánsmenete növekvő-növekvő illetve csökkenő-csökkenő mozgást mutat. A 10. és 11. csillaggal jelölt formánsmenettípusokról később ejtünk szót. Az 5. ábra egy formánsmenete tehát kiindul valamely hangátmeneti frekvenciából, átlagusból (középen), átlag felettiből vagy átlag alattiból (3 eset), elér egy tiszta fázisbeli értékhez [itt is 3 eset van: átlagos (középen), átlag feletti és átlag alatti], és zárul egy hangátmeneti frekvenciaértékkel (szintén 3 eset). Az ideális formánsmenetek száma így $3 \times 3 \times 3 = 27$ darab.

Az 5. ábra 11 darab formánsmenettípusa a görbékét alkotó 3 pont mozgásával átvihető egymásba. Távolságot definiálhatunk két formánsmenettípus között: minimálisan hány pontnyi mozgással juthatunk el az egyik típusból a másikba (3. táblázat). A távolság szimmetrikus tulajdonsága miatt a 3. táblázatban elegendő a felső háromszöget kitölteni. Az utolsó, Σ sorból azt olvashatjuk ki, hogy az adott típushoz képest az összes többi típus együttvéve milyen távol van. Minél kisebb ez a szám, annál hasonlóbb a többihez az adott típus (a szinttartó van a legközelebb a többihez). A Σ érték kiszámításához a felső háromszögből tükröztük az adatokat az alsó háromszögbe, majd összegeztük az oszlopokat.



5. ábra

A formánsmenettípusok 11 elméleti kategóriája. Zárójelben a típus által lefedett formánsmenetek száma látható

Amennyiben rendszerezni szeretnénk az adatbázisbeli formánsmozgásokat a fenti modell szerint, akkor minden konkrét formánsmozgást az 5. ábrán megjelenő 11 formánsmenettípus valamelyikébe kell besorolnunk. Nem gondoljuk, hogy a fenti séma minden formánsmozgást tökéletesen leír, hiszen alapvetően egyenes (1, 8–9), illetve parabola jellegű mozgással (2–7, 10–11) igyekszünk leírni a mozgásformákat. Ismert, hogy a formánsmozgások mindegyike pontosan nem írható le parabolikus görbével (Harrington 2010: 143), és már a mi 5 ponton alapuló mozgásaink között is elképzelhető az 5. ábrán látható formánsmenetekből lényegesen eltérő forma. Szükség van tehát egy 12. egyéb kategóriára, amelybe azok a formánsmozgások kerülnek, amelyek egy adott hibaküszöböt meghaladó mértékben illeszkednek csak az 1–11 típusokra. A módszerünk annál hatékonyabb, minél kisebb elemszámú a 12. kategória, vagyis minél kevesebb elemet kell figyelmen kívül hagynunk a további elemzésből. A módszer másik sarkalatos pontja a kategóriák közötti döntés biztossága. Látjuk, hogy sok 1 távolsággal rendelkező típuspár létezik, az ezek közötti döntés nagy körültekintést igényel.

3. táblázat: A 11 formánsmenettípus egymáshoz mért távolsága. Az utolsó sorban a teljesen kitöltött mátrix oszlopainak összege látható. A sor és oszlopnevek magyarázata az 5. ábrán szerepel

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-SZ	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
2-SZN		0	2	1	2	1	2	1	3	1	3
3-SZCS			0	2	1	2	1	3	1	3	1
4-NSZ				0	2	2	1	1	3	3	1
5-CSSZ					0	1	2	3	1	1	3
6-U						0	3	2	2	1	3
7-FU							0	2	2	3	1
8-N								0	4	2	2
9-CS									0	2	2
10-U*										0	4
11-FU*											0
Σ	14	17	17	17	17	18	18	22	22	22	22

Az adatok illesztése a formánsmenetekhez

A magánhangzó hangidőtartamában az 5 mérési ponton mért értékeket jelöljük m_i -vel, ahol $i = 1, 2, 3, 4, 5$. Az m_1 a 10%-os mérési pontban kapott normalizált formánsérték, az m_2 a 25%-os mérési ponthoz tartozó érték és így tovább. Ha képezzük az egymás mellett lévő pontok különbségét, akkor a mozgás irányáról kapunk képet. A $d_i = m_{i+1} - m_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$) összefüggés segítségével kapott különbség pozitív, ha növekedés van a formánsmozgásban, negatív, ha csökkenés, illetve nulla (körüli), ha nincs változás a mozgásban.

Az 5. ábrán közölt 11 formánsmenettípust használjuk fel egy adott pont-ötössel meghatározott formánsmozgás jellemzésére. Az eljárás során a fent definiált d_i különbségek játszanak központi szerepet. Azzal, hogy áttérünk az 5 db m_i formánsértékről a 4 db d_i különbségre a formánsmozgás y -koordináta szerinti helyét, az y -eltolás mértékét, elveszítjük. Mindössze a mozgásról marad információ, ami, mint látni fogjuk nagyon hasznosnak bizonyul az eljárás további részében.

Az 5. ábra 1–9-ig sorszámozott formánsmenet típusait jellemezhetjük pozitív c , c_1 és c_2 konstansok (valós számok), valamint a nulla segítségével. A 4. táblázat összefoglalja a formánsmenettípusokhoz tartozó konstansnégyeseket. A konstansnégyes elemei a mért pontok különbségeinek (d_i) felelnek meg. Az egyes formánsmenettípusok esetén a konstansok előírt értékei a lehetséges mozgási formákat (vagyis a d_i különbségeket) úgy korlátozzák, hogy segítségükkel az 5. ábrán szereplő formánsmeneteknek megfelelő kategorizálást el tudjuk végezni. Ezek a korlátozó tényezők a 4. táblázat „Konstansok” oszlopából olvashatók ki. A korlátozó előírások 3 típusba sorolhatók. Az említett oszlopban megjelenő nulla jelentése: a konstans értéke legyen nulla (kö-

rüli). Az előjel nélküli és negatív előjellel szereplő betűk (pl. $c_1, -c_2$) jelentése: a konstans nem egyenlő nullával, ha nincs előjel, pozitív, ha van, negatív értékű. Az utolsó előírás, hogy egy formánsmenettípuson belül az azonos konstansok azonos értéket jelölnek. Ha tekintjük például az 1-SZ szinttartó formánsmenet típust, akkor 5 olyan mért pont, amely illeszkedik a vízszintes egyenesre, különbségként 4 db nulla értéket szolgáltat. A 8-N növekvő esetben az 5 pont különbsége 4 db azonos nagyságú pozitív érték lesz (c, c, c, c). Utolsó példaként a 6-U típust leíró 5 képzeletbeli pont különbsége két negatív érték ($-c_2, -c_1$), majd fordított sorrendben pozitív előjellel ugyanaz a két érték (c_1, c_2).

4. táblázat: A formánsmenettípusok illesztése során használt elnevezések, konstansok és kiszámításuk

Formánsmenettípusok	Konstansok	Kiszámítás
1-SZ szinttartó	0, 0, 0, 0	–
2-SZN szinttartó-növekvő	0, 0, c_1, c_2	$c_1 = d_3$ $c_2 = d_4$
3-SZCS szinttartó-csökkenő	0, 0, $-c_1, -c_2$	$c_1 = -d_3$ $c_2 = -d_4$
4-NSZ növekvő-szinttartó	$c_2, c_1, 0, 0$	$c_1 = d_2$ $c_2 = d_1$
5-CSSZ csökkenő-szinttartó	$-c_2, -c_1, 0, 0$	$c_1 = -d_2$ $c_2 = -d_1$
6-U U alak	$-c_2, -c_1, c_1, c_2$	$c_1 = (d_3 - d_2)/2$ $c_2 = (d_4 - d_1)/2$
7-FU fordított U alak	$c_2, c_1, -c_1, -c_2$	$c_1 = (d_2 - d_3)/2$ $c_2 = (d_1 - d_4)/2$
8-N növekvő	c, c, c, c	$c = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4)/4$
9-CS csökkenő	$-c, -c, -c, -c$	$c = (-d_1 - d_2 - d_3 - d_4)/4$
10-U* nem szimmetrikus U alak	$-c_2, -c_1, c'_1, c'_2$	–
11-FU* nem szimmetrikus fordított U alak	$c_2, c_1, -c'_1, -c'_2$	–

Minden adatbázisbeli formánmozgást a fenti 1–9 típusozat illesztettünk, a formánsmozgást leíró (d_i) különbségek segítségével. Az illesztés során a hiba minimalizálása mellett kerestük a c (8. és 9. esetben), illetve a c_1, c_2 konstansokat (2–7. esetekben). Ha a 4. táblázat konstansait és nulláit egy formánsmenettípus esetén rendre $c_1^*, c_2^*, c_3^*, c_4^*$ -gal jelöljük, akkor az illesztés során a következő kifejezést kell minimalizálnunk:

$$\sum_{i=1}^4 (d_i - c_i^*)^2 \rightarrow \min$$

A minimum keresése során kapott c , c_1 , c_2 konstansok kiszámítása a 4. táblázat harmadik oszlopából olvasható ki. Az adatbázis minden formánsmozgáshoz hozzárendeltük a konstansok meghatározása során kapott legkisebb hibával rendelkező formánsmenettípus sorszámát. Így minden formánsmozgást azzal a számmal jelölt mozgáskategóriával jellemeztünk a 4. táblázat szerinti sorszámokból 1–9-ig, amelyre a legjobban illeszkedik. Itt két fontos kiegészítésre van szükség. *a)* Az 1. formánsmenettípus minden további mozgás (2–9) speciális esete. Egy 8. kategóriába tartozó formánsmozgás pozitív c értéke annyira közel lehetnek a 0-hoz, hogy az eredeti növekvő kategóriát szinttartóra kell cserélnünk. Bizonyos esetekben tehát a 2–9. sorszámozott formánsmozgásokat az 1. kategóriába kell átsorolnunk. Az átsorolás elvégzéséhez a c , c_1 , c_2 konstansokat használjuk fel. Azokat az eseteket soroltuk át az 1. kategóriába, amelyeknél minden $|c_i^*| < 0,12$ ($i = 1, 2, 3, 4$). A küszöb értékének meghatározásánál azt a szempontot vettük figyelembe, hogy az 1. kategória elemszáma a többi átlagával egyezzen meg. *b)* A másik kiegészítés az 5. ábra 10. és 11. kategóriájára vonatkozik. Ezek a kategóriák 4 különböző konstanssal írhatók le, azaz az illesztés során mindig 0 minimumot szolgáltatnak volna előjelhelyes esetekben. Ezen két kategóriába azokat az eseteket soroljuk át az 1–9. kategóriákból, amelyeknél az előjel megfelelő, és az illesztés hibája a saját formánsmenet-kategóriához egy adott küszöbértéket meghalad. Külön küszöbértéket használtunk fel F_1 -re és F_2 -re: a felső 15%-os legnagyobb illeszkedési hibával rendelkező formánsmozgást soroltuk át mindkét esetben. Az átsorolás során a küszöbérték feletti hibaillesztéssel rendelkező, de a konstansok előjelei alapján a 10–11. kategóriákba be nem sorolható görbéket egy új 12. (egyéb) kategóriába helyeztük. Míután az adatbázis összes formánsmozgását besoroltuk valamely kategóriába (1–12), lehetőségünk van a formánsmenettípusok gyakorisági táblázatát megadni külön az első és külön a második formásra (5. táblázat).

5. táblázat: Az 1–11 formánsmenettípusok eloszlása és a 12. kategória százalékos gyakorisági táblázata F_1 és F_2 esetén. (Az adatok egész %-ra kerekítettek.) A cellákban szereplő számok az adott formánsmenettel leírható formánsmozgások százalékát jelentik a teljes adatbázisban. Az oszlopnevek magyarázata az 5. ábrán szerepel

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
F1	11	6	22	13	1	1	30	2	1	0	8	7	100%
F2	13	14	11	9	9	7	7	8	5	1	1	12	100%

Az 5. táblázat szerint az F_1 mozgási formái kevesebb számú formánsmenettel jellemezhetők, mint az F_2 -éi: az F_1 formánsmozgásainak többsége leír-

ható 5-6 db formánsmenettípussal, míg F_2 leírásához 8-9 ilyen kategória szükséges. A mássalhangzó-környezet tehát elsősorban a magánhangzó második formánsának mozgására hat.

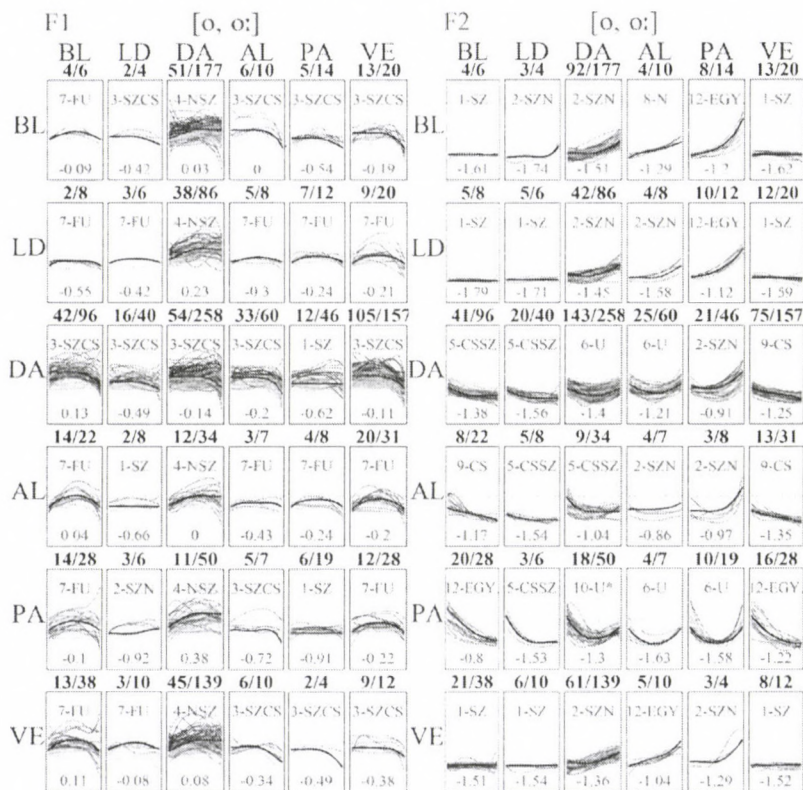
A képzési helyek és a formánsmenettípusok kapcsolata

Ha hozzárendeltünk minden formánsmozgáshoz egy formánsmenettípust, akkor megvizsgálhatjuk, hogy adott magánhangzó esetén vajon az azonos hangkörnyezethez azonos formánsmenettípussal rendelkező formánsmenetek tartoznak-e, a képzési helyre vonatkoztatva. Ez a korábban már látott stabilitásnak egy szigorúbb megközelítése, mert úgy kell hasonlónak lennie a magánhangzón belüli formánsmozgásoknak, hogy azok az 1–11 formánsmenettípus egyikével is jól egyezzenek. Most a legstabilabb esetet a csupa azonos típusú mozgások jelentik, a leginstabilabbat pedig az a helyzet, amikor mind-egyik típus (1–11) azonos arányban fordul elő az adott hangkörnyezetben. Végző soron arra a kérdésre keressük a választ, hogy az azonos képzési hely szerinti kategóriák a C-ben azonos formánsmenetet eredményeznek-e a V_m -ben. Ha a kérdésre igenlő a válasz, akkor az egyes cellák formánsmenetei jól leírhatók valamely ideális formánsmenettel, természetesen cellánként kissé eltérő mértékben. A cellához tartozó jellemző formánsmenettípus (1–12) meghatározásához a cellában lévő N darab görbe típusainak megfigyelt gyakoriságait (O_i) használtuk fel: a cellához azt az i típust rendeljük hozzá, amelyből a legtöbb volt a cellában, azaz amelyre az $SM_2 = O_i/N$ hányados maximális értéket ad. A szigorú stabilitási mutató (SM_2) értéke 0 és 1 között változhat, minél közelebb van az egyhez, annál stabilabban írja le a formánsmenettípust az adott cellát. A 6. ábrán az $[o, o:]$ magánhangzó celláiban – a hanghármashoz felett és alatt – a hanghármashoz rendelt formánsmenettípust és annak az 50%-os mérési pont alapján számolt y -eltolás értékét tüntettük fel. Minden cella esetében az SM_2 értéket is feltüntettük a cellák felett O_i/N formában, ahol az adott típusú görbék számát O_i és az összes görbe számát N adja meg.

A 6. táblázatban összefoglaltuk, hogy a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármásokat milyen arányban és milyen átlagos stabilitással jellemzik az egyes formánsmenettípusok. Az első sorban lévő 20 és 0,47 érték azt fejezi ki, hogy az első formánsban az 1-SZ formánsmenettípus a lehetséges 324 $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármás 20%-át fedi le, és a cellák átlagos SM_2 értéke 0,47. A 6. táblázat alapján levonható konklúzió hasonló az 5. táblázatnál leírtakhoz, de itt nem az összes magánhangzóra vonatkoznak a következtetések, hanem a 324 darab $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármásra. A $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármásokhoz rendelt formánsmenettípusok F_2 -ben változatosabbak, mint F_1 -ben, és a hozzárendelés stabilitása is nagyobb F_2 -ben.

A 6. ábra $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármásait jellemző formánsmenettípusok y -eltolását a cellához rendelt formánsmenettípussal megegyező kategóriájú formánsmozgások 50%-os mérési pontjainak átlagolásával kapjuk meg. A 7. áb-

ra az összes y -eltolás értékének eloszlását szemlélteti. Az ábrán mindkét formáns esetén 3 módusz határozható meg, amely alapján az y -eltolásokat 3 típusba soroljuk (alacsony, közepes és magas). Például az első formáns esetében alacsony kategóriába soroltuk a 0,2-nél kisebb normalizált frekvenciaértékkel rendelkező formánsmozgásokat. Az y -eltolás típusainak eloszlása F_1 esetén alacsony: 67%, közepes: 22% és magas: 11%, míg F_2 esetén alacsony: 29%, közepes: 47% és magas: 24%. Az y -eltolásokat tekintetében azt állapíthatjuk meg, hogy F_1 -ben gyakoribbak az átlag alatti tiszta fázisban mért normalizált frekvencia értékek, míg F_2 -ben az átlag körüliek a jellemzőbbek.

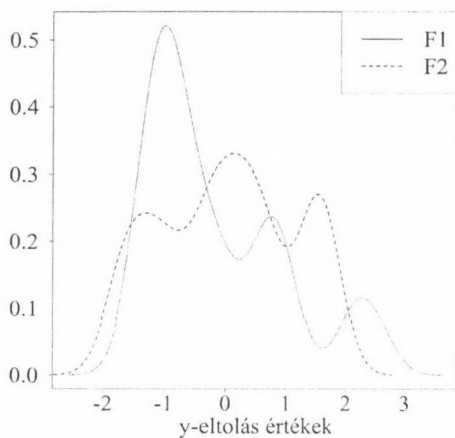


6. ábra

Az [o, ɔ:] magánhangzó különböző hangkörnyezetbeli F_1 és F_2 formánsmozgásaihoz rendelt formánsmenettípusok és az y -eltolás mértéke. A vastagított görbe az adott cella standard formánsmenetét közelíti, a cella típusával egyező formánsmozgások c_1^* , c_2^* , c_3^* , c_4^* értékei alapján

6. táblázat: A formánsmenettípusok eloszlása és az átlagos SM_2 értékek a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasok között. A sornevek magyarázata az 5. ábrán szerepel

Formánsmenet	F1		F2	
	Relatív gyakoriság (%)	SM_2 -átlag	Relatív gyakoriság (%)	SM_2 -átlag
1-SZ	20	0,47	14	0,55
2-SZN	5	0,43	16	0,49
3-SZCS	27	0,53	15	0,49
4-NSZ	5	0,46	6	0,52
5-CSSZ	0	–	10	0,51
6-U	0	0,50	8	0,54
7-FU	36	0,56	8	0,53
8-N	1	0,38	7	0,53
9-CS	0	–	6	0,60
10-U*	0	–	1	0,35
11-FU*	6	0,53	0	–
12-EGYÉB	0	–	9	–



7. ábra

Az y-eltolások eloszlása F_1 és F_2 esetén

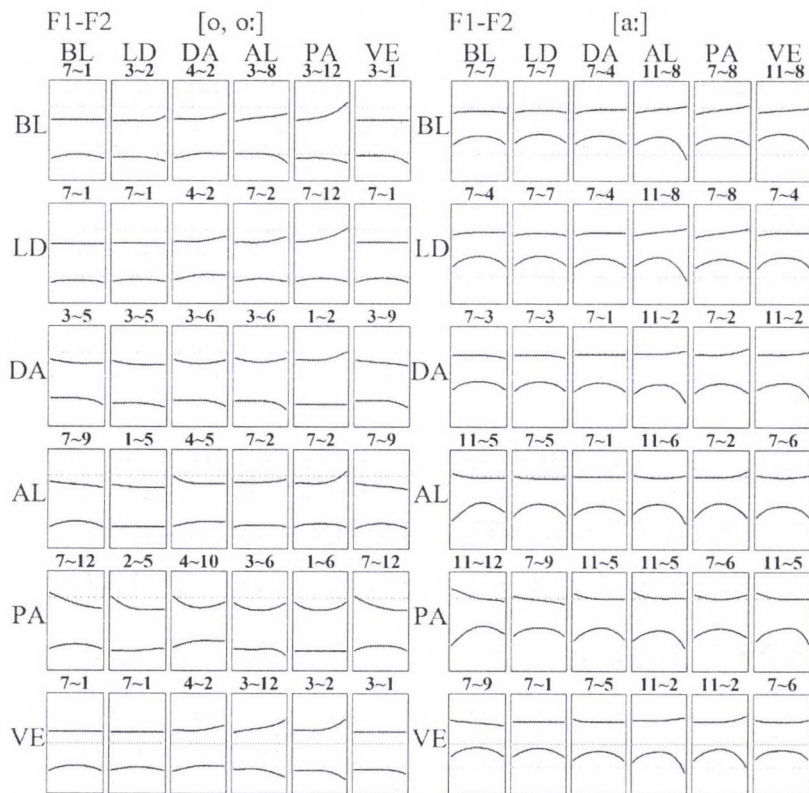
Formánstérképek

A jelen kutatás egyik végcélja a formánstérképek elkészítése volt. A formánstérkép az első és második formánsban eddig végrehajtott kategorizálások eredményeit egyetlen ábrán jeleníti meg, hasonlóan ahhoz, ahogyan a

hangspektrogramokon is látni a formánsokat. Létrehoztunk 9×36 db formánstérképet – a már megszokott mátrixos elrendezésben – a 9 magánhangzótipusra a mássalhangzó képzési helyeinek függvényében. A 8. ábrán az [o, ɔ:] és az [a:] magánhangzó formánstérképeit láthatjuk. Itt is, ahogyan a 6. ábrán is, a berajzolt formánsmenetek a cella típusával egyező formánsmozgások átlagolt c_1^* , c_2^* , c_3^* , c_4^* értékein alapulnak. Egy formánstérkép az adott cellára jellemző első és második formánsmenettípust és azok y -eltolásait tartalmazza. Az F_1 és F_2 formánsmenetét az y -eltolások figyelembe vételével tudjuk egymás fölé rajzolni, úgy, hogy az összeillesztés pontja F_1 esetében a +3-as, F_2 esetében a -3-as y -koordináta volt. A összeillesztési pontot a formánstérkép közepén egy folytonos vastag vonal jelzi. A vonal alatt az első formáns mozgását, a vonal felett a második formáns mozgását követhetjük nyomon. Mindkét részben a vastagabb szaggatott vonal az átlagos értéknek (nulla) felel meg, a pontozott vonalak pedig 1 szórással távolabbi pozíciót jelölnek. A formánstérképről cellánként a következő információ olvasható le: (1) F_1 menete, (2) F_1 y -eltolása a normalizált formánstérben, (3) F_2 menete, (4) F_2 y -eltolása és végül (5) F_1 és F_2 egymáshoz mért távolsága. A 8. ábrán a formánstérképek felett az F_1 és F_2 formánsmenettípusok sorszámaát adtuk meg, az y -eltolások és az y -eltolások különbségeként kiszámítható F_1 - F_2 távolságok leolvasását a rácsvonalak teszik lehetővé.

A formánstérképek megadásával létrehoztuk a magyar formánsmozgásokat általánosságban képviselő rendszerezett adathalmazt a vizsgált hármass hangkapcsolatokra. A formánstérképek lehetőséget adnak arra, hogy az összes F_1 - F_2 formánsmenettípust együtt vizsgáljuk, összehasonlítsuk. A formánstérképeken leggyakrabban előforduló formánsmenettípus-párt és annak gyakoriságát a 7. táblázat tartalmazza. Adatbázisunk 324 db különböző hanghármas kategóriája 57 db formánstérképpel írható le, ha az y -eltolásokat figyelmen kívül hagyjuk. A leggyakrabban előforduló típuspár a 3-SZCS~2-SZN (vagyis F_1 -ben szinttartó-csökkenő, F_2 -ben szinttartó-növekvő), amely 6,52%-ban fordul elő a 324 cellából (21 cella, azaz ennyiféle $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kapcsolat). A 7. táblázat „SM₂ (F_1)” és „SM₂ (F_2)” oszlopai a cellákban lévő formánsmozgások adott típusú formánsmenetként való beazonosításának átlagos arányát mutatják. Az első sort figyelembe véve, a 21 cellában átlagosan 53%-ban található 3-SZCS típusként azonosított formánsmozgás F_1 -ben, és 51%-ban 2-SZN F_2 -ben. Az ideális, 100%-os eset nagyon ritka, mindössze 8, illetve 7, kevés formánsmozgást tartalmazó cellában fordul elő F_1 és F_2 esetében (F_1 -ben pl.: BL[ɔ]BL, BL[a:]LD, AL[a:]DA és VE[a:]VE; F_2 -ben pl.: BL[ɔ]BL, VE[i, i:]BL, AL[o, ɔ:]LD, PA[o, ɔ:]DA). A táblázat utolsó sorában látható átlagok (49% F_1 -ben és 54% F_2 -ben) magyarázatához tisztában kell lennünk azzal, hogy a cellában lévő formánsmozgások elvileg 12 típus bármelyikébe is tartozhatnak, a legjellemzőbb azonban a táblázatban feltüntetett arányban van jelen. Ezen túlmenően a cella második leggyakoribb formánsmenetét is megvizsgáltuk, és amennyiben 1 távolságra volt a cella meg-

határozó formánsmenetítípusához (a távolságokhoz lásd a 3. táblázatot), akkor összevontuk a két típust. Összevonást tudtunk végrehajtani F_1 -ben az esetek 94%-ában, F_2 -ben pedig a cellák 96%-ában. Az egyezés megnövelte az egyezési arányt, ahogyan azt a 7. táblázat utolsó két oszlopa is tartalmazza, miközben a mozgás alakján lényegesen nem változtattunk. Az átlagos értékek 75%-ra nőttek F_1 -ben és 79%-ra F_2 -ben. Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy az 5. ábrán leírt formánsmenetmodellel a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármások formánsmozgásai jól leírhatók, de a formánsmozgások folytonosan töltenek ki egy határozottan körülírható részt a normalizált formánstérben.



8. ábra

Az [o, o:] és az [a:] magánhangzó formánstérképei a mássalhangzó képzési helyének függvényében

7. táblázat: A formánsmenet térképeken előforduló F_1 - F_2 formánsmenettípus-párok gyakoriság szerint csökkenő sorrendben

	F_1 - F_2 formánsmenettí- pusok	Relatív gyakori- ság (%)	SM_2 (F_1)	SM_2 (F_2)	Összevont SM_2 (F_1)	Összevont SM_2 (F_2)
1.	3-SZCS~2-SZN	6,52	0,53	0,51	0,79	0,78
2.	7-FU~1-SZ	6,21	0,60	0,51	0,84	0,72
3.	1-SZ~3-SZCS	5,90	0,51	0,58	0,75	0,83
4.	7-FU~3-SZCS	4,97	0,51	0,60	0,75	0,79
5.	7-FU~2-SZN	4,66	0,54	0,50	0,82	0,74
6.	3-SZCS~1-SZ	3,73	0,55	0,47	0,79	0,73
...
57.	8-N~3-SZCS	0,31	0,50	0,83	0,66	1,00
Átlag			0,49	0,54	0,75	0,79

Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy hányfajta formánstérkép különböztethető meg a magyar formánstérben a V_m -ekre vonatkoztatva (a mért hangkapcsolati formákban). Az előző pontban láttuk, hogy 57 formánsmenettípus-pár írja a lehetséges 324 kategóriát, de ebben nem szerepelnek az F_1 és F_2 y-eltolásai. Ez a két adat tovább finomítja a lehetséges kategóriákat. Kérdés lehet, hogy minden cella azonosítható-e ezen négy információ alapján (F_1 - F_2 menete és y-eltolásaik típusa). A négy faktor együttes figyelembe vétele az 57 típust 132 kategóriára bontotta tovább, azaz 132 különböző formánstérkép létezik az adatbázisunkban. A legnagyobb gyakoriságú 5-féle formánstérképet a 8. táblázat tartalmazza. A 324 cella 40%-ában olyan jellemző négyest kapunk, amely csak az illető $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármásra jellemző, vagyis ezekben az esetekben egyértelműen meghatározza a formánstérkép a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hármast. A cellák 24%-át olyan formánstérkép írja le, amely 2 cellához tartozik, továbbá a 14%-át 3 értékű, 10%-át 4 értékű és 5%-át 5 értékű formánstérképek jellemzik. A fentiek alapján azt mondhatjuk, hogy a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ magánhangzóiban lezajló formánsmozgások az F_1 és F_2 formánsmeneteinek figyelembevételével 57 különböző formánstérképet adnak, de ha az y-eltolások típusait is figyelembe vesszük, a cellák 60%-ában lehetőségünk van tömörítésre.

Az eredmények összehasonlítása, a formánstérkép mint mérőeszköz

A formánstérképek segítségével új típusú vizsgálatokat végezhetünk a magyar beszédhangok körében. Az eddigi vizsgálatok nagy része a mostani fogalmainkkal az y-eltolás értékére vonatkozott. A formánstérképek azonban a magánhangzó tiszta fázisát megelőző és követő részéről is nyújtanak információt. Egyelőre a szakirodalomban fellelhető néhány állítás ellenőrzésére mutatunk példát, ugyanis tézisszerű megfogalmazásokhoz az adatbázis méretét jelentősen növelnünk kell. Magdics szerint az első formáns mozgása kevésbé érzékeny a hangkörnyezetekre, de veláris magánhangzók esetén – ahol

az F_1 és F_2 távolsága kisebb – a frekvenciaértékek nagyobb változékonyságot mutatnak a palatálisokkal szemben (Magdics 1965: 47). Ennek ellenőrzésére az 1–12 formánsmenetek két osztályát hoztuk létre. A neutrális osztályba az 1. szinttartó formánsmozgástípus tartozott, a változó osztályba soroltuk be az összes többi mozgásformát. A hátul képzett magánhangzókhoz tartozó cellák 91%-ában változó mozgásformát találtunk F_1 -ben, míg elől képzett esetekben ez a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasok 72%-át jellemzi. Meghatároztuk az első két formáns y -eltolásának különbségét minden cella esetén. Ezt úgy kaphatjuk meg, hogy a második formáns y -eltolás értékéhez hozzáadunk 6-ot, és ebből vonjuk ki az első formáns y -eltolás értékét. A művelet a 8. ábra összeállításának magyarázatából következik. Azt találtuk, hogy a neutrális F_1 -mozgással rendelkező hanghármasok esetében az y -eltolás távolságok szignifikánsan nagyobbak, mint a változó osztályba soroltaké (kétmintás Wilcoxon-próba: $p < 0,001$).

8. táblázat: Az 5 legnagyobb gyakoriságú formánstérkép

Formánstérkép	Gyakoriság	$C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármas
1-SZ-3-SZCS alacsony-magas	4,35%	AL[e:]BL, AL[e:]DA, BL[i, i:]LD, LD[i, i:]DA, DA[i, i:]BL, DA[i, i:]LD, AL[i, i:]BL, AL[i, i:]LD, AL[i, i:]DA, PA[i, i:]BL PA[i, i:]LD, PA[i, i:]DA, PA[i, i:]AL, VE[i, i:]LD
3-SZCS-2-SZN alacsony~alacsony	2,48%	BL[ø, ø:]LD, VE[ø, ø:]PA, BL[u, u:]BL, BL[u, u:]AL, BL[u, u:]PA, LD[u, u:]PA, DA[u, u:]PA, VE[u, u:]AL
7-FU~1-SZ közepes~alacsony	2,17%	BL[ø]BL, BL[ø]VE, LD[ø]BL, LD[ø]VE, AL[ø]LD, VE[ø]LD, VE[ø]VE
3-SZCS-2-SZN alacsony~közepes	2,17%	BL[ø, ø:]AL, BL[ø, ø:]PA, LD[ø, ø:]AL, AL[ø, ø:]AL, AL[ø, ø:]PA, VE[ø, ø:]AL, DA[y, y:]PA
3-SZCS-4-NSZ alacsony-magas	2,17%	BL[e:]AL, BL[e:]PA, LD[e:]PA, DA[e:]PA, BL[i, i:]VE, DA[i, i:]AL, BL[y, y:]PA

A második formánsban neutrális formánsmenettel rendelkező $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasok esetében azt várjuk, hogy a környező mássalhangzók locusa (körülbelül) a magánhangzó F_2 -jével egy magasságban van (Vértes 1982: 92). Neutrális mozgással mindössze a cellák 14%-a rendelkezik, a legtöbb az [ø, ø:], majd az [ø], [u, u:], [i, i:], [ø, ø:], [e:], [y, y:], [a:] és [e] magánhangzó-minőségek esetén elől.

Magdics (1965) szerint a [p], [b], [m] locusainak az egyes magánhangzókra gyakorolt hatása nagyon hasonló, így azt várjuk, hogy a BLV_mBL cella stabilitása nagy lesz. Adatbázisunkban az SM stabilitási mutató átlaga ebben

a cellatípusban 0,333, amely a negyedik legjobb a lehetséges 36 kontextusból. A három legnagyobb stabilitású mássalhangzó-környezet F_2 formánsmozgásai alapján: LDV_mLD (0,308), BLV_mVE (0,309) és LDV_mBL (0,313). Megvizsgálhatjuk, hogy a szimmetrikus $C_{kh}V_mC_{kh}$ hanghármasok milyen sorrendben következnek egymás után az adatbázisban mért stabilitási mutató alapján. Méréseink szerint a szimmetrikus hangkörnyezetek sorrendje a hasonlóbb formánsmozgásokat tartalmazótól a kevésbé hasonlóig a következő: LD, BL, VE, AL, DA, PA. Ez a sorrend magyarázható Magdiics (1965) magyar mássalhangzólocusokra vonatkozó megállapításaival. Mérései alapján a palatálisok [ɲ], [ç, ʝ] és [j] csoportokba sorolva, három határozottan különböző locusértékkel rendelkeznek, a dentaleolárisok pedig számosságuknál fogva egy nagyobb locustartományt fognak át.

A szimmetrikus $C_{kh}V_mC_{kh}$ hanghármasok segíthetnek annak a kérdésnek a megválaszolásában is, hogy a CV vagy VC helyzetben érvényesül-e jobban a hangkörnyezet hatása. A nagyobb hatás nagyobb formánsmozgás-elhajlással jár, tehát ha például CV-ben várunk nagyobb kontextushatást, akkor gyakoribbak a 4-es és 5-ös típusú, CV-ben jobban elhajló formánsmenetek, mint a 2-es és 3-as kategóriájúak, amelyeknél kisebb az elhajlás a követő mássalhangzó locusa felé. A lehetséges $6 \times 9 = 54$ szimmetrikus kontextusból 13 db 1-szinttartó, 12 db 6-U alak, 11 db 7-fordított U alak formánsmenet található az adatbázisban, melyek mindegyike szimmetrikus mozgással írja le a magánhangzó második formánsának változását. A nem szimmetrikus formánsmenetek közül 6 db 2-szinttartó-növekvő és 5 db 3-szinttartó-csökkenő, illetve 1 db 4-növekvő-szinttartó és 4 db 5-csökkenő-szinttartó, amely inkább a VC kapcsolatok erőteljesebb hatását mutatja. A Vértes (1982) által vizsgált *agyagya* logotom második magánhangzója a mi rendszerezésünkben a PA[ɔ]PA cellához tartozik. A 7. ábráról leolvasható, hogy ehhez a cellához F_2 -ben a 6-os, U-alakú formánsmenettípus tartozik.

Következtések

A 9 magyar magánhangzó-minőség formánsmozgásainak tipizálását végeztük el $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasokban, ahol C_{kh} a mássalhangzó képzési helyét jelenti (6 képzési hely). A tipizálást formánsadatbázis adataiból végeztük, magánhangzónként 5 mérési pont alapján. A kidolgozott eljárással a normalizált formánstérbe konvertált formánsmozgásokat 12 formánsmenettípusba soroltuk. A 324-féle $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármas egyes elemeihez hozzárendeltük a jellemző formánstérképeket, amelyek cellánként 4 adatértéket jelentenek: az F_1 és F_2 formánsmenettípusok és azok y -eltolás értékei. A kategorizálás részben sikeresnek mondható, hiszen a 12. egyéb (hibakategória) 7 és 12%-ban jelent meg az első és második formáns esetén, de a cellák formánsmenettípusainak meghatározásánál már csak F_2 -ben fordult elő 9%-kal. Az eljárás során definiált stabilitási mutatók (SM és SM_2) segítségével igazoltuk, hogy az azonos $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ cellákhoz azonos jellegű formáns-

mozgások tartoznak. A formánsmozgások a második formánsban nagyobb stabilitást mutatnak az első formáns mozgásaihoz képest. A cellákhoz rendelt formánsmenettípusok szigorú stabilitását az SM_2 mutatóval mértük, amelynek 0,49 és 0,54 értékei (első és második formáns) nem tekinthetők túl magasnak. Azonban ha a cella formánsmenetéhez a második leggyakoribb típust is hozzávesszük (feltéve, hogy köztük 1 a távolság), akkor a mutató értéke 0,75-re és 0,79-re nő.

A cellához rendelt formánsmenettípusok áttekintése után azt mondhatjuk, hogy a második formánsban 8-9 formánsmenettípussal tudjuk jellemezni a lehetséges formánsmozgásokat, míg F_1 -ben a szinttartó, a szinttartó-csökkenő és a fordított U alak a cellák 83%-át lefedi. A formánsterképek együtt írják le a két formáns menetét és az y -eltolást. A különböző formánsterképek száma jóval kisebb, mint a $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ kapcsolatokból adódó hanghármas típusok száma, így adattömörítésre nyílik lehetőség.

Az adatbázis jelentős bővítése folyamatban van, amelynek eredményeképpen a kevésbé gyakori $C_{kh,1}V_mC_{kh,2}$ hanghármasok számát úgy tervezzük megnövelni, hogy minden esetben lehetővé váljon a tendenciák kiolvasása az adatokból. A formánsmozgások rendszerezése további formánsvizsgálatok kiindulópontjával szolgálhat, például a koartikulációs hatások pontosítása terén. A formánsterképek jó alapot adnak formánstérték-javító algoritmusok kidolgozásához, így megnyílhat az út nagyméretű és sokbeszélős beszédatadatbázisok formánsterének adatbázisba rendezéséhez is.

Irodalom

- Abari Kálmán – Olaszgy Gábor 2011. Magyar formánsadatbázis az interneten. *Beszédkutatás* 2011. 73–82. (vö. <http://magyarbeszed.tmit.bme.hu/formans>).
- van Bergem, Dick R 1993. Acoustic vowel reduction as a function of sentence accent, word stress, and word class. *Speech Communication* 12. 1–23.
- Bolla Kálmán 1978. A magyar magánhangzók akusztikai analízise és szintézise. *Magyar Fonetikai Füzetek* 1. 53–67.
- Broad, David – Clermont, Frantz 2010. Target-locus scaling methods for modeling families of formant transitions. *Journal of Phonetics* 38/3. 337–359.
- Csapó Tamás Gábor – Németh Géza 2009. Mássalhangzó-magánhangzó kapcsolatok automatikus osztályozása szubglottális rezonanciák alapján. In Tanács Attila – Szauter Dóra – Vincze Veronika (szerk.): *Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferencia*. Szeged, 226–237.
- Flynn, Nicholas – Foulkes, Paul 2011. Comparing vowel formant normalization methods. In: *Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences ICPHS 2011*. Hong Kong, 683–686.
- Gósy Mária 1995. Szükséges és szükségtelen hangátmenetek. *Beszédkutatás* 1995. 20–32.
- Gósy Mária 2004. *Fonetika, a beszéd tudománya*. Osiris Kiadó, Budapest.
- Gráci Tekla Etelka – Horváth Viktória 2010. A magánhangzók realizációja spontán beszédben. *Beszédkutatás* 2010. 5–16.

- Harrington, Jonathan 2010. *The phonetic analysis of speech corpora*. Wiley-Blackwell. <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/~jmh/research/pasc010808/pasc.htm> (A letöltés ideje: 2011. szeptember)
- Krull, Diana 1987. Second formant locus patterns as a measure of consonant-vowel coarticulation. *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics University of Stockholm Sweden V*. 43–61.
- Lindblom, Björn 1963. Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America* 35/11. 1773.
- Lobanov, Boris 1971. Classification of Russian vowels spoken by different speakers. *Journal of the Acoustical Society of America* 49. 606–608.
- Olaszy Gábor 1985. *A magyar beszéd leggyakoribb hangsorépítő elemeinek szerkezete és szintézise*. Nyelvtudományi Értekezések 121. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Olaszy Gábor 2003. Az artikuláció akusztikai vetülete – a hangsebészet elmélete és gyakorlata. In Hunyadi László (szerk.): *Kísérleti fonetika, laboratóriumi fonológia a gyakorlatban*. Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, Debrecen, 241–254.
- Olaszy Gábor – Rác Zsuzsanna – Bartalis Máttyás 2009. Formánsmérések automatizálása, formánsadatbázisok létrehozása. *Beszédkutató 2009*. 134–147.
- R Development Core Team 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (A letöltés ideje: 2011. szeptember)
- Stevens, Kenneth – House, Arthur – Paul, Allan 1966. Acoustical description of syllabic nuclei: an interpretation in terms of a dynamic model of articulation. *Journal of the Acoustical Society of America* 40. 123–132.
- Tarnóczy Tamás 1941. *A magyar magánhangzók akusztikai szerkezete*. Királyi Magyar Pázmány Péter Tudományegyetem Általános Nyelvészeti és Fonetikai Intézete, Budapest.
- Vértes O. András 1982. A magyar beszédhangok akusztikai elemzésének kérdései. In Bolla Kálmán (szerk.): *Fejezetek a magyar leíró hangtamból*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 71–115.
- Watson, Catherine – Harrington, Jonathan 1999. Acoustic evidence for dynamic formant trajectories in Australian English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 106. 458–468.

A kutatást támogatta a CESAR project (Grant No 271022).