

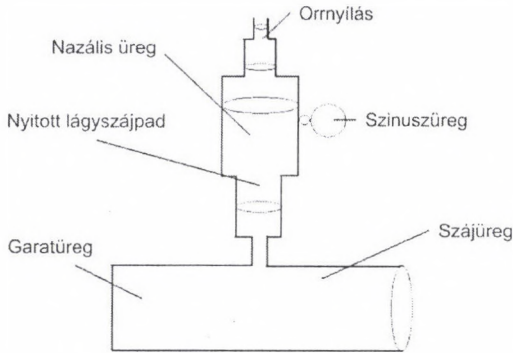
A NAZÁLIS KOARTIKULÁCIÓ VARIABILITÁSA A SPONTÁN BESZÉDBEN

Beke András – Horváth Viktória

Bevezetés

A koartikuláció a folyamatos beszéd természetes jelensége: a beszédképzés során az egyes beszédhangok nem önálló egységként realizálódnak, hanem különféle módon és mértékben módosítják egymás artikulációs konfigurációját. A hangképző szerveknek egyrészt bizonyos időre van szükségük ahhoz, hogy átálljanak az egyik hang artikulációs konfigurációjáról a másikéra; másrészt az artikulációs gazdaságosság miatt a beszédhangok hasonlóbbakká válnak a szomszédos hangokhoz. A koartikuláció tehát egyfelől fiziológiai okokra vezethető vissza, ezért univerzális jelenség, megvalósulása azonban nagymértékben nyelvspecifikus, bizonyos mértékben egyénfüggő (Gósy 2004).

A nazalizált magánhangzók realizációja a koartikulációnak egy sajátos területe, mivel képzésükkor egyszerre nyitott az orr- és a szájüreg: a lágyszájpad leereszkedik, de nem képződik zár a szájüregben, a levegő tehát folyamatosan áramlik az orr- és szájüregben keresztül (Rose 2002, Chen 1996, vö. 1. ábra).



1. ábra

Az artikulációs csatorna sematikus felépítése (Chen 1996 alapján)

A magánhangzók nazalizációjával kapcsolatban számos kutatás született különböző nyelvekre (vö. Beddor 2007, Chen et al. 2007, Delvaux et al. 2007), az eredmények azonban meglehetősen árnyalt képet mutatnak a jelenség meg-

valósulásáról. A vizsgálatok azt mindenestre igazolták, hogy a nazalizáció hatása a magánhangzók akusztikai szerkezetére nagymértékben függ a hangkapcsolatban részt vevő beszédhangok minőségétől (Pickett 1999). A nazálisok hatásának átfogó leírását számos tényező nehezíti: a jelenség nyelvspecifikus realizációja, a magán- és mássalhangzó-minőségétől (Ladefoged 2005) és a szótag pozíciójától függő megvalósulás (Krakow 1993, Greenberg 1999, Beddor 1993), valamint a beszélők egyéni jellegzetességei.

A magyar nyelvre vonatkozó kutatások eredményei szerint a magánhangzó két nazális mássalhangzó között nazalizálódik (Földi 1989); a progresszív nazalizáció erősebb hatású, mint a regresszív (Horváth 2005, Horváth 2008); továbbá a jelenség nagymértékben függ a hangkapcsolatban részt vevő beszédhangok minőségétől. A VNC hangkapcsolatokban a nazális mássalhangzó időtartama a követő mássalhangzó képzésmódjától függ. Résmássalhangzó hatására a nazális időtartama rövidül, az előtte lévő magánhangzó időtartama – ellensúlyozva a nazális időtartamának csökkenését – nő (Gósy–Beke 2008).

A nazalizált magánhangzók akusztikai paramétereinek meghatározása a kutatási terület egyik legfontosabb kérdése. A szakirodalom azonban nem egységes a nazális mássalhangzók hatásának pontos akusztikai szerkezetével kapcsolatban, vagyis hogy milyen paraméterekkel írható le a jelenség; egy nazalizált magánhangzó milyen akusztikai jegyekben különbözik egy orális, ugyanolyan minőségű vokálistól.

Az akusztikai vizsgálatok egy része azt mutatta, hogy a nazálisok koartikulációs hatása a magánhangzó spektrumában az alsóbb tartományban a legerősebb; az alacsony frekvencián megjelenő póluson 200 Hz körül, az első formáns amplitúdójának csökkenésében, a sáv szélességében, extra csúcsok megjelenésében 1000–2500 Hz között, a spektrum kisimitásában 0–1300 Hz között mutatható ki (vö. Fant 1960, Maeda 1982, Stevens et al. 1987), és ezek a paraméterek a magánhangzó minőségétől függetlenül meghatározó akusztikai jegyei a nazalizációnak (Hawkins–Stevens 1985).

Az elmúlt évtizedek vizsgálatai alapján a magánhangzó-nazalizációt tíz jól mérhető akusztikai paraméterrel próbálták leírni, ezeket Pruthi (2007) foglalta össze. A nazalizált magánhangzók akusztikai struktúrájában a következő változások figyelhetők meg: a nazális hatására a magánhangzó első formánsának frekvenciaértéke és intenzitása csökken, a sáv szélesség szűkül, és extra pólus-zérus pár jelenik meg. Az akusztikai elemzések szerint a nazalizáció érinti a magánhangzó második és harmadik formánsának a frekvenciaértékét és amplitúdóját is. A nazalizált magánhangzók formánsszerkezetét a szájüregben kialakult formánsokon kívül a nazális formánsok, valamint a két csatorna interakciója miatt létrejövő antiformánsok befolyásolják (Johnson 2003).

A nazalizált magánhangzók automatikus osztályozásával számos kutatás foglalkozott. Glass (1984, Glass–Zue 1985) az akusztikus paraméterek közül az 1 kHz-ig tartó tartomány tömegközéppontjával (center of gravity), annak átlagos eltéréssel és a pólus-zéró pár paramétereivel készítette el automati-

kus felismerőjét, amelyet egy 200 szavas adatbázison tanított, és azon is tesztelt. Az osztályozás eredménye 74% volt. Huffman (1990) a magánhangzó első formánsamplitúdó és a harmonikusok amplitúdóinak különbségének átlagát használta a nazalizált és nem nazalizált magánhangzók elkülönítésre. Eredményei hozzájárultak a nazalizáció percepciójának megismeréséhez. Chen (1995, 1996, 1997) három akusztikai paramétert mért ki a magánhangzók spektrumából: az első formáns amplitúdóértékét (A_1), a két formáns között megjelenő extra nazális csúcs amplitúdóértékét (P_1) és az első formáns és az alaphang között megjelenő nazális csúcs amplitúdóértékét (P_0). A mért paraméterek közül a P_0 -t a legnehezebb megállapítani, így a kísérletek többsége az A_1 -et és a P_1 -et használja. A két érték különbsége jól korrelál a nazalítás mértékével. Megállapította, hogy minél alacsonyabb az A_1 - P_1 értéke, annál nagyobb a nazális hatás.

A magánhangzók nazalizációjával kapcsolatos eddigi kutatási eredmények felolvasott hangsorok vizsgálatán alapultak mind a nemzetközi, mind a hazai szakirodalomban; ezért fontos kérdés, hogy miként valósulnak meg a nazalizált vokálisok a spontán beszédben.

A spontán beszéd során a beszédtervezés és a kivitelezés egy időben zajlik, a beszélő az adott pillanatban válogatja ki a közlésre szánt gondolatokat és tervezi meg azok nyelvi formáját; ezért a beszélők nagyobb figyelmet fordítanak a magasabb tervezési folyamatokra, mint az artikulációs kivitelezésre. Ennek következményeként a spontán beszédet kevésbé pontos artikuláció jellemzi, a beszédhangok minősége módosul (Beke 2009).

A nazalizáció megvalósulásának vizsgálata a spontán beszédben a koartikulációs folyamatok megismerésén túl számos gyakorlati jelentőséggel bír. Fontos szerepe van a mesterséges beszéd minél jobb minőségű előállításában, a beszédfelismerésben, és a beszélő személy azonosításában is, különösen az olyan nyelvekben, ahol a magánhangzó nazalizációja fonológiaiilag megkülönböztető jegy.

A jelen kutatás célja a bilabiális és az alveoláris nazális mássalhangzók hatásának vizsgálata a magánhangzókon, spontán beszédben első ízben. A nazálisok hatását a spontán beszédben leggyakrabban előforduló magánhangzók akusztikai szerkezetében elemeztük.

A kutatás célja továbbá annak vizsgálata, hogy az automatikus osztályozás során milyen biztonsággal különíthetők el egymástól a nazalizált és az orális magánhangzók, illetőleg van-e különbség az egyes magánhangzók nazalizációjának mértékében, és ez hogyan jelenik meg az automatikus detektálásban.

Hipotéziseink szerint a nazálisok hatása eltérő mértékben valósul meg a magánhangzókon a koartikuláció során, vagyis a nazalizáció nagyrészt a vokális artikulációs konfigurációjának függvénye. Azt feltételeztük, hogy a nazális mássalhangzó minősége is befolyásolja a magánhangzó nazalizációját, a [m] és a [n] eltérő módon hat a vokális akusztikai szerkezetére. Korábbi nemzetközi (Hardcastle–Hewitt 1999) és hazai kutatások (Horváth 2008) ered-

ményei alapján azt feltételeztük, hogy a progresszív nazalizáció a spontán beszédben is nagyobb mértékben befolyásolja a magánhangzó módosulását, mint a regresszív.

Anyag és módszer

A nazalizált magánhangzók vizsgálatához a BEA spontánbeszéd-adatbázis felvételeit használtuk fel (Gósy 2008). Összesen 30 percnyi spontán beszédet címkéztünk fel hangkapcsolat-szinten a Praat programban. A kutatáshoz 19 beszélő (10 nő és 9 férfi) spontán beszédét használtuk fel. A női adatközlők átlagéletkora 33,4 év (20–54 év), a férfiaké 33 év (21–64 év). Mindannyian egynyelvűek, köznyelvet beszélők és ép hallók.

A jelen kutatásban a leggyakoribb magánhangzók (Gósy 2004) akusztikai szerkezetét elemeztük, ezek a következők: [ɔ], [a:], [ɛ], [i], [o].

Összesen 2236 hangkapcsolat magánhangzójának akusztikai paramétereit vizsgáltuk a következő szempontok szerint:

Van-e különbség a nazális mássalhangzót tartalmazó, illetve nem tartalmazó hangkapcsolatok magánhangzóiban?

Van-e különbség a magánhangzó spektrális szerkezetében, attól függően, hogy [m] vagy [n] mássalhangzóval együtt jelenik meg a hangkapcsolatban?

A [m] és a [n] hatása progresszív vagy regresszív irányban érvényesül erősebben?

A mássalhangzó-minőségtől függetlenül a progresszív vagy a regresszív nazalizáció eredményez nagyobb változást a vokális spektrális szerkezetében?

A statisztikai elemzéseket (ANOVA) az SPSS 13.0 programmal végeztük 95%-os szignifikanciaszinten. A csoportok közötti összehasonlításra a Tukey-féle post-hoc tesztet alkalmaztuk 95%-os szignifikanciaszinten.

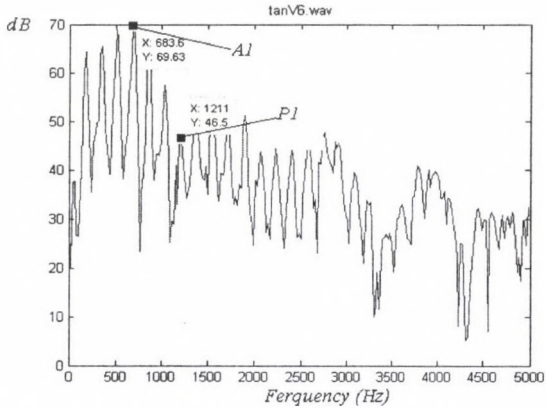
A jelen kutatásban az akusztikai paraméterek jellemzésére három különböző eljárást használtunk:

a) Formánsszerkezet. A CVC hangkapcsolatokban szereplő magánhangzók első és második formánsának értékét a Praat 5.1 szoftverben írt algoritmussal automatikusan határoztuk meg, és manuálisan ellenőriztük. Az algoritmus a magánhangzó tiszta fázisában 20 ms-os tartományban ad átlagos formánsértéket. A kiugró F_1 és F_2 értékű adatokat a vizsgálatból kihagytuk.

b) A_1-P_1 . A magánhangzó F_1 amplitúdójának értéke és az első két formáns között megjelenő extra nazális csúcs amplitúdóértékének különbsége. Ennek mérésére MATLAB 5.0 verziójú szoftverben A_1-P_1 mérő algoritmust hoztunk létre. Az algoritmus a magánhangzókra 512 pontos FFT analízist készít 20 ms-os Hamming-ablakolással, az A_1 -et és a P_1 -et pedig beépített csúcskereséssel találja meg, majd veszi ezek különbségét (2. ábra). Az algoritmus keresési paramétereit mindig be kell állítani a magánhangzó minőségétől függően.

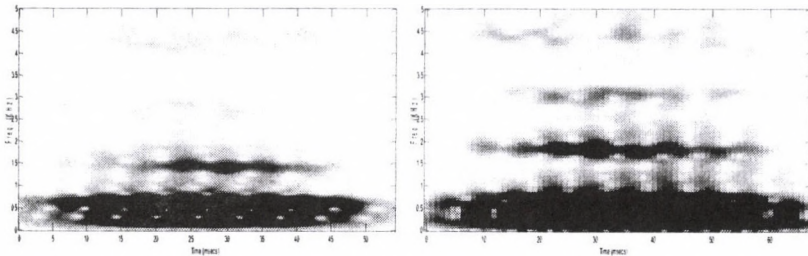
c) MFCC (Mel-frequency cepstral coefficients) és HMM (rejtett Markov-modell, HTK implementáció, vö. Vicsi-Szaszák 2007). Az akusztikai fonetikai vizsgálatok általában a magánhangzó formánsstruktúrájával jellemzik a

magánhangzó akusztikai szerkezetét, noha a formánsok mérése sokszor nagyon nehéz, hosszadalmas, és mindenképpen kézi ellenőrzésre szorul. Az akusztikai paraméterek alternatívájaként MFCC-t használtunk a magánhangzók és alternánsaik automatikus osztályozásához (3. ábra), mivel ennek az akusztikai jegynek a meghatározása gyors és automatikus (Bunnell 2008).



2. ábra

Az [ɔ] nazalizált magánhangzó A_1 - P_1 értéke 512 pontos FFT analízissel készített spektrumon



3. ábra

Az [ɔ] magánhangzó spektruma nem nazális (balra) és nazális (jobbra) hangkörnyezetben

Az osztályozásra használatos tanuló algoritmusok közül (SVM, GMM, ANN) a HMM-et (rejtett Markov-modell) alkalmaztuk. A HMM tanításához a magánhangzók hullámformájának 13 MFCC jellemzőre és ezek első és második deriváltjára van szükségünk. A tanításhoz 3 állapotú monofon HMM-et használtunk, a kibocsátási valószínűséget pedig 4-8-16-32 Gauss függvényrel

leíró HMM-el vizsgáltuk. A spontán beszédben előforduló magánhangzók kétharmadán tanítottunk (1490 db), míg az egyharmadon teszteltünk (745 db).

Eredmények

Nazális hatás a magánhangzók formánsértékeiben

Az eredmények azt mutatták, hogy a nazális hatás mértékében – hipotézisünkkel ellentétben – nincs különbség a mássalhangzó-minőség függvényében: egyik magánhangzónál sem volt kimutatható, hogy a [m] vagy [n] nagyobb változást idézett elő a formánsértékekben. A spontán beszédben tehát a magánhangzók formánsszerkezetére gyakorolt nazális hatás nem függ a mássalhangzó képzési konfigurációjától.

Hipotézisünknek megfelelően a magánhangzók nazalizációja viszont meglehetősen árnyalt képet mutat a magánhangzó-minőség függvényében.

Az [a:] legsős nyelvállású magánhangzó formánsstruktúrája spontán beszédben nem módosul a nazálisok környezetében: első és második formánsának értéke nem változik szignifikánsan a nazálisok hatására a nazálist nem tartozó kontextushoz képest sem a nők, sem a férfiak ejtésében (1. táblázat).

1. táblázat: Az [a:] formánsértékei nazális és nem nazális kontextusban

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	632,16	59,67	1501,91	140,40	741,71	107,03	1841,73	165,09
Nazális	646,41	65,29	1524,96	141,06	716,05	104,11	1823,25	136,32

A férfiaknál mért formánsértékekben az a tendencia látszik, hogy az F₁ és F₂ is magasabb frekvenciaértéken realizálódik akkor, ha valamilyen nazális mássalhangzó szerepel a hangkapcsolatban, a nazálist nem tartalmazó kontextushoz képest. A nőknél fordított a tendencia: mindkét formáns értéke csökken nazális hatásra. Ezek a módosulások azonban statisztikailag nem szignifikáns mértékűek, tehát az [a:] formánsértékeiben nem mutatható ki jelentős változás a nazális mássalhangzók környezetében. Ez az eredmény eltér a felolvasásra kapott megállapításoktól: értelmetlen hangsorok meghangosításakor az [a:] F₂ és F₃ értékei a nők ejtésében nazális kontextusban eltérést mutattak a réshangkörnyezetben mért adatoktól (Horváth 2008). A különbség magyarázata valószínűsíthetően a spontán beszéd jellegzetességeiből adódik: míg felolvasáskor adott a szöveg, ezért a beszélő nagyobb figyelmet fordíthat a pontos artikulációra; spontán beszédben a magasabb tervezési folyamatok elvonják a figyelmet az artikulációs kivitelezéstől, ezért az pontatlanná, elnagyolttá válik. Ennek egyrészt az a következménye, hogy a magánhangzók, így az [a:] is redukálódik (Beke 2009), másrészt a koartikulációs folyamatok realizációja is módosul.

A veláris magánhangzók közül az [o] nazalizációja szintén korlátozott mértékben valósul meg, csak a nők ejtésében igazolható, és az első formáns értékeiben jelentkezik. (A 2. táblázatban *-gal jelöltük azokat az értékeket, amelyek között statisztikailag igazolható a különbség.)

2. táblázat: Az [o] formánsértékei nazális és nem nazális kontextusban

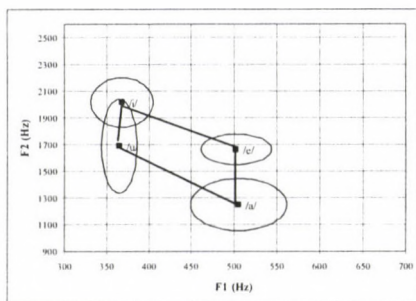
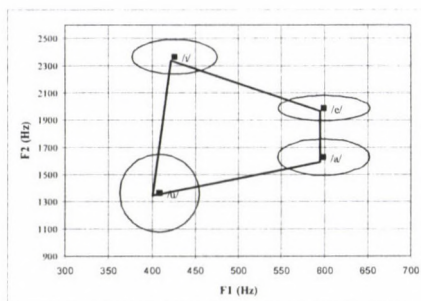
Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	467,26	50,94	1188,11	214,01	515,10*	67,94	1337,50	193,48
Nazális	461,63	46,95	1216,83	202,86	560,33*	93,88	1324,18	183,92

Az F₁ értéke a nőknél nazális kontextusban magasabb, mint nazálist nem tartozó hangkörnyezetben [egytényezős ANOVA: $F(1, 254) = 14,794$; $p < 0,001$]. Ez arra utal, hogy magánhangzó képzési konfigurációja a nyelvváltsókban módosul nazális hatásra: a nők nyitottabban ejtik a nazalizált [o]-t az orálishoz képest. Arra a kérdésre kerestük a választ, hogy ez a nazális hatás milyen irányból befolyásolja nagyobb mértékben a magánhangzó képzését. Az eredmények azt mutatták, hogy ha a mássalhangzó minőségétől függetlenül vizsgáljuk a koartikuláció irányfüggő hatását, akkor a progresszív és regresszív nazalizációnban mért értékek között nincs szignifikáns különbség, ezért külön-külön is megvizsgáltuk a [m] és a [n] mássalhangzókat. A [n] környezetében nem változik nagymértékben az [o] F₁ értéke, ha a mássalhangzó megelőzi a vokálist, és akkor sem, ha követi. A bilabiális nazális esetében azonban szignifikáns különbséget találtunk a nőknél [egytényezős ANOVA: $F(4, 251) = 6,333$; $p < 0,001$]: a mássalhangzó akkor befolyásolja nagyobb mértékben az [o] F₁ értékét, ha követi a nazálist (Tukey-féle post-hoc teszt: $p = 0,031$). A hatás az F₁ értékének emelkedésében ragadható meg (vö. 3. táblázat), ami azt jelenti, hogy ha a magánhangzót [m] követi a hangkapcsolatban, akkor a női beszélők nyitottabban képzik az [o]-t. Az artikulációs szervek már a magánhangzó képzése közben felkészülnek a nazális mássalhangzóra, a lágyuszájpad ereszkedik és vele együtt a nyelv is, ami a vokális nyitottabb megvalósulását eredményezi. A nazálist nem tartalmazó kontextusban és a progresszív nazalizáció hatására mért F₁ átlagértékben egyáltalán nincs különbség, vagyis a nazális nem változtatja meg a követő [o] képzését – ennek megfelelően nemcsak a kétirányú nazalizáció között, hanem a nem nazális környezet és regresszív hatás között is szignifikáns a különbség ($p < 0,001$). A nők esetében a jelenség igazolhatóan szabályszerű, míg a férfiaknál nem. Ennek az lehet az oka, hogy a nők „artikulációs tere” nagyobb, mint a férfiaké (4. ábra), vagyis a magánhangzóminőségek jobban elkülönülnek egymástól, mint a férfiaknál. A 4. ábra azt mutatja, hogy a spontán beszédben mekkora a nők és a férfiak által használt artikulációs tér. Látható, hogy a férfiaké jelentősen kisebb, mint a nőké. A nőknél számottevően homogénebb

magánhangzó realizációk jelennek meg, így ezek elkülönítése is jelentősen könnyebb.

3. táblázat: Az [o] formánsértékei nem nazális és [m] környezetben

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	467,26	50,94	1188,11	214,01	515,10*	67,94	1337,50	193,48
Progresszív nazalizáció	449,28	41,37	1129,96	73,65	515,47*	113,97	1235,30	250,10
Regresszív nazalizáció	465,64	59,28	1148,39	210,96	597,24*	78,42	1306,22	157,20



4. ábra

Az artikulációs tér az F₁ és F₂ értékek mentén egy nő (balra) és egy férfi (jobbra) spontán beszédében

A veláris magánhangzók közül csak az alsó nyelvállású [ɔ] nazalizációja igazolható mindkét nem beszélőinek ejtésében, a hatás az első formánson jelentkezik. Az F₁ magasabb frekvenciaértéken realizálódik nazális mássalhangzó környezetében [nők: $F(1, 402) = 6,757$; $p = 0,010$, férfiak: $F(1, 212) = 4,811$; $p = 0,029$]. Ez azt jelenti, hogy a beszélők a nazalizált [ɔ]-t az eredetileg orális képzési konfigurációban alsó nyelválláshoz képest még nyitottabban képzik, vagyis a nyelv lejjebb ereszkedik a függőleges mozgást tekintve. Az [ɔ] második formánsa nem mutat nagymértékű frekvenciaérték-változást a kontextustól függően, de a tendencia az, hogy az F₂ értéke csökken a nazális környezetében (4. táblázat).

A mássalhangzó minőségétől független nazális hatás iránytól függő (progresszív vagy regresszív) mértékében itt sem volt különbség. A két nazalíst külön is vizsgálva az eredmények azt mutatták, hogy a nők ejtésében a [n] eltérően befolyásolja a vokális F₂ értékét attól függően, hogy előtte vagy mögötte szerepel a hangkapcsolatban [$F(4, 399) = 2,790$; $p = 0,26$]. A progressz-

szív nazalizáció hatására nő az F_2 értéke, de csökken, ha a [n] követi a magánhangzót, és ez a csökkenés nagyobb mértékű változás (post hoc: $p = 0,031$). Ugyanez a tendencia kimutatható a férfiaknál is, de náluk a módosulás statisztikailag nem szignifikáns (5. táblázat).

4. táblázat: Az [ɔ] formánsértékei nazális és nem nazális kontextusban

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	544,64*	62,47	1305,55	173,42	632,07**	73,34	1531,24	163,43
Nazális	564,56*	65,03	1272,04	134,73	653,06**	88,48	1515,95	168,29

5. táblázat: Az [ɔ] formánsértékei nem nazális és [n] környezetben

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	544,64	62,47	1305,55	173,42	632,07	73,34	1531,24*	163,43
Progresszív nazalizáció	566,37	71,15	1343,75	111,55	646,18	88,24	1588,19	162,44
Regresszív nazalizáció	571,61	63,42	1286,83	164,56	655,77	78,76	1488,60*	78,42

A palatális [i] első formánsának értékében szintén szignifikáns változás következik be nazális hatásra. A nőknél és a férfiaknál egyaránt a frekvenciaérték emelkedik nazális kontextusban [egytenyezős ANOVA: nők: $F(1, 166) = 21,579$; $p < 0,001$, férfiak: $F(1, 68) = 9,863$; $p = 0,003$], vagyis a nazalizált [i] képzésére alacsonyabb nyelvéllásfok jellemző. Az [i] nazalizációja is úgy valósul meg artikulációs szempontból, hogy a nyelv a lágyszájpadal együtt mozogva szintén leereszkedik, és az orális képzésű [i]-hez képest nyitottabban valósul meg a nyelv függőleges mozgása szempontjából (6. táblázat).

6. táblázat: Az [i] formánsértékei nazális és nem nazális kontextusban

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)		F ₁ (Hz)		F ₂ (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	336,48*	36,45	2138,45	117,44	405,83**	45,70	2333,44**	172,87
Nazális	367,93*	45,94	2121,68	117,75	445,52**	64,87	2424,10**	194,19

A nők ejtésében a nazalizált [i] második formánsa is magasabb frekvenciaértéken realizálódik az orális magánhangzóhoz képest [$F(1, 166) = 9,910$; $p = 0,002$], ez a képzési konfigurációban arra utal, hogy a nazális hatásra a nyelv előrébb tolódik a magánhangzó képzése során. Az [i] esetében a progresszív és regresszív irányú nazális hatás nem mutatott különbséget.

Az elemzett magánhangzók közül az [ε] érintett a nazalizációban a legnagyobb mértékben (7. táblázat). A nők ejtésében az első és a második formáns is szignifikáns mértékben változik a nazális hatására [egytenyezős ANOVA F_1 -re: $F(1, 512) = 27,339$; $p < 0,001$; F_2 -re: $F(1, 512) = 27,991$; $p < 0,001$], a férfiaknál ez a különbség csak az első formáns értékében igazolható [egytenyezős ANOVA: $F(1, 251) = 6,533$; $p = 0,011$]. A női ejtésben megvalósuló nazalizáció az [ε] F_2 értékének átlagosan 100 Hz-es csökkenését eredményezi, amely a nemzetközi szakirodalomban is fontos paramétere a koartikulációs jelenségnek (Pruthi 2007).

7. táblázat: Az [ε] formánsértékei nazális és nem nazális kontextusban

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F_1 (Hz)		F_2 (Hz)		F_1 (Hz)		F_2 (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	526,48*	55,41	1654,05	137,42	611,13**	78,73	1954,35**	157,26
Nazális	546,88*	67,90	1639,54	134,57	647,82**	77,28	1876,58**	172,66

Az [ε] magánhangzónál igazolódott egyedül a progresszív és regresszív irányú nazális hatás különbsége is mindkét nem beszédében; a szignifikáns eltérés a magánhangzó második formánsán igazolható (8. táblázat).

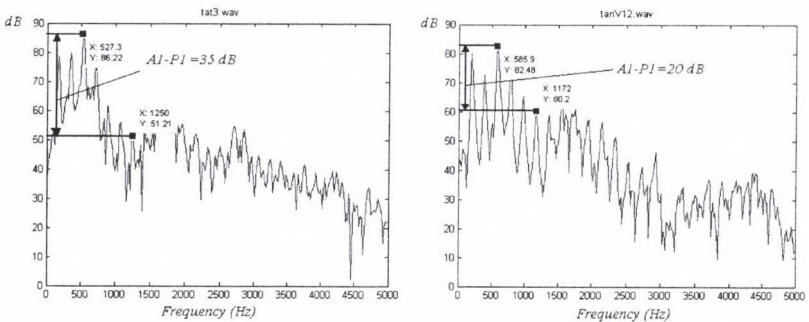
8. táblázat: Az [ε] formánsértékei nem nazális környezetben és az irányfüggő nazalizációban

Kontextus	Férfiak				Nők			
	F_1 (Hz)		F_2 (Hz)		F_1 (Hz)		F_2 (Hz)	
	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	526,48	55,41	1654,05*	137,42	611,13	78,73	1954,35**	157,26
Progresszív nazalizáció	542,13	56,98	1688,55	126,88	654,55	81,74	1939,00	179,54
Regresszív nazalizáció	539,80	74,69	1600,10*	124,91	645,79	79,47	1847,35**	170,32

A férfiaknál a regresszív nazalizáció eredményez nagyobb változást az F_2 értékében [$F(3, 249) = 3,054$; $p = 0,029$]: ha az [ε]-t nazális követi, akkor szignifikánsan alacsonyabb frekvenciaértéken realizálódik a második formáns a progresszív irányú változáshoz képest ($p = 0,030$). A nőknél ugyanez a tendencia érvényesült, a nazális koartikuláció iránya meghatározza az [ε] második formánsának értékét [$F(3, 510) = 13,495$; $p < 0,001$]: regresszív nazalizáció hatására az F_2 szignifikánsan alacsonyabb frekvenciaértéket mutat a progresszív koartikulációhoz képest (post hoc: $p = 0,004$). A spontán beszédben a regresszív nazális hatás a magánhangzók formánsértékeiben erősebb, mint a progresszív, a tervezési folyamatok folytonossága miatt.

Nazális hatás a magánhangzók A_1-P_1 különbségében

A nazalizált magánhangzó saját artikulációs konfigurációval realizálódik, mivel ez az egyetlen vokális, amelynek képzése alatt a tüdőből kiáramló levegő két úton keresztül áramlik, a száj- és orrüregen egyaránt. A nazalizált magánhangzó artikulációja közben az orrüreg irányában nyitott a vokális traktus, ezért a nazális üreg saját rezonanciája is megjelenik a spektrumban a pólus-zéró párként az átviteli függvény szerint. A számos akusztikai paraméter közül a nazalizáció a magánhangzó F_1 amplitúdójának (A_1) csökkenésében és a nazális csúcspólus (P_1) 1–1,5 kHz közötti megjelenésében ragadható meg. A két amplitúdóérték közötti különbség (A_1-P_1) változása a nazalizáció egyik fontos paramétere a nemzetközi szakirodalom szerint. Az A_1-P_1 érték a nazális környezetben kisebb lesz, mint nem nazális kontextusban, hiszen az A_1 értéke a nazalizálás során csökken, miközben az extra nazális csúcspólus intenzitása nő (Hawkins–Stevens 1985, Stevens et al. 1987, Pruthi 2007, vö. 5. ábra). A jelen kutatásban magyar nyelven elsőként kerestünk választ arra a kérdésre, hogy a nazális hatás hogyan jelentkezik ebben az akusztikai paraméterben.



5. ábra

A [o] magánhangzó nem nazális környezetben (balra: *tat*) és nazális környezetben (jobbra: *tan*) FFT spektruma és A_1-P_1 értékei

Az A_1-P_1 elemzésekor nem vettük figyelembe a női és férfi csoportokat, hiszen a formáns intenzitásában nincs különbség a két nem között. Az elemzést az [a:] és az [o] magánhangzókra nem végeztük el, mert ezeknél az automatikus detektálás során a formánsamplitúdót nem lehetett elkülöníteni a nazális csúcspólus amplitúdójától.

A veláris magánhangzók közül az [o] A_1-P_1 értéke különbözik nazális és nem nazális kontextusban [ANOVA: $F(1, 722) = 4,227$; $p = 0,040$]. A nazális nem tartalmazó hangkapcsolathoz (átl.: 14,81, átl. elt.: 12,11) képest a nazális mássalhangzó környezetében az érték csökken (átl.: 12,97, átl. elt.: 10,68). Ez a tendencia egyezik a nemzetközi szakirodalomban megállapítottakkal: a magánhangzó F_1 amplitúdója csökken, ami az egyik legkonzekven-

sebb akusztikai jegy a nazális üreg jelenlétének (Huffman 1990), míg az extra nazális csúcs amplitúdója nő a légyszájpad emelkedése miatt (Pruthi 2007).

Eredményeink szerint az [ɔ] formánsértékeiben csak korlátozott mértékben lehetett igazolni a progresszív és regresszív nazalizáció különbségét. Az A_1-P_1 értékét azonban eltérően befolyásolja a hatás az iránytól függően [$F(2, 721) = 5,117; p = 0,006$]. A progresszív nazalizáció szignifikánsan csökkenti a paraméter értékét ($p = 0,006$), a regresszív nazalizáció azonban nem változtatja meg; ezáltal különbség van a koartikuláció két irányának hatása között ($p = 0,039$). Ez a tendencia a mássalhangzó minőségének függvénye [$F(4, 719) = 3,876; p = 0,004$]. A bilabiális nazális akkor változtatja meg nagyobb mértékben az [ɔ] A_1-P_1 értékét, ha megelőzi a vokálist ($p = 0,004$); ha követi, akkor az érték nem változik. A [m] progresszív koartikulációs hatása a változó értékének csökkenésében jelentkezik a nem nazális kontextushoz képest (nem nazális: átl.: 14,81, átl. elt.: 12,11; nazális: átl.: 8,69, átl. elt.: 10,88).

A palatális [i] első két formánsának frekvenciaértéke emelkedett nazális környezetben, de mindkét nem ejtésében csak az F_1 változása volt szignifikáns. Az A_1-P_1 is jelentős különbséget mutat a kontextustól függően [$F(1, 420) = 21,781; p < 0,001$]. A nazálist nem tartalmazó hangkapcsolatokban az átlagérték 31,22 (átl. elt.: 9,57), nazális mássalhangzó hatására nagymértékben csökken (átl.: 26,90, átl. elt.: 9,01). A koartikulációs hatás előreható: a nazális akkor befolyásolja a értéket, ha megelőzi a vokálist [$F(2, 429) = 18,563; p < 0,001$], ha követi, akkor nem. A progresszív nazalizáció hatása ebben az esetben is függ a mássalhangzó minőségétől [$F(4, 717) = 9,275; p < 0,001$]; de az [i] A_1-P_1 paraméterét nem a bilabiális nazális – mint az [ɔ] esetében, hanem az alveoláris nazális befolyásolja. A különbség az artikulációval magyarázható.

A nem nazális kontextusban mértekhez képest a progresszív nazalizációban csökken az érték (átl.: 25,34, átl. elt.: 8,95), a különbség statisztikailag szignifikáns ($p < 0,001$). Az [i] A_1-P_1 jellemzőjét tehát eltérően befolyásolja a [n] attól függően, hogy megelőzi vagy követi a magánhangzót ($p = 0,046$).

Elemzéseink azt mutatták, hogy az [ɛ] formánsainak frekvenciaértéke változik a nazalizált ejtésben. Az A_1-P_1 paraméter is változik nazális hatásra [$F(1, 1071) = 65,541; p < 0,001$], a koartikuláció az érték csökkenését eredményezi. Nem nazális környezetben az átlag 22,00 (átl. elt.: 11,97), nazális kontextusban pedig 15,17 (átl. elt.: 12,82).

Csak ennél a magánhangzónál igazolódott – és csak ebben az akusztikai paraméterben, a frekvenciaértékekben nem – az a hipotézisünk, hogy a mássalhangzó minősége is meghatározó a nazális koartikulációban: a statisztikai elemzés különbséget igazolt [m] és [n] között [$F(2, 1070) = 39,143; p < 0,001$]. Mindkettő környezetében csökken az A_1 és P_1 különbsége a nem nazális kontextushoz képest ($p < 0,001$), de a [m] hatására nagyobb mértékben (vö. 9. táblázat). A két nazális közül tehát a bilabiális változtatja meg jobban az A_1-P_1 értéket ($p = 0,002$).

9. táblázat: Az [ε] A₁-P₁ értéke a kontextus függvényében

Kontextus	Átlag	Átl. elt.
Nem nazális	22,00	11,97
[n]	17,68	11,86
[m]	13,40	13,53

Az [ε] magánhangzónál a progresszív és regresszív nazalizáció különbsége a második formáns értékében statisztikailag igazolható, az A₁-P₁ paraméterben azonban nem volt különbség a hatás irányától függően (Stevens 2007).

A nazalizált magánhangzók automatikus osztályozása

A nazális és nem nazális magánhangzók elkülönítéséhez HMM-et alkalmaztunk. Az orális és nazalizált magánhangzók elkülönítésére két HMM modellt építettünk: OV és NV. Az OV az orális magánhangzók modellje volt, míg az NV bármilyen nazális hangkörnyezetben lévő magánhangzó modellje. Az ALL minden modellben az összes magánhangzót jelenti. A legjobb eredményt a 16 Gauss függvényvel leíró rejtett Markov-modell adta (10. táblázat).

10. táblázat: Az orális és nazalizált magánhangzók osztályozási arányai

Magánhangzók	Összes	Helyes találat (%)	Helyes találat törlés nélkül (%)	Törlés
Összes	875	75,82	82,00	203
OV	588	77,36	90,74	112
NV	287	72,84	94,71	91

Az eredmények szerint az algoritmus a magánhangzók 75,82%-át osztályozta helyesen. Ez az eredmény jobb Raja (2006) felolvasott beszédben elért eredményénél, ami 52,92%. A nazalizált magánhangzók 72,84%-át osztályozta helyesen az algoritmus, amely a spontán beszédben jó eredménynek számít a magánhangzók számos variációja miatt – az angol nyelvű spontán beszédben a nazalizált magánhangzók 48,61%-át tudták osztályoztatni MFCC 39 jellemzővel és SVM alkalmazásával (Pruthi 2007). Ha nem vesszük figyelembe a töröltek számát, akkor a 94,71%-os a helyes osztályozási aránya. Az eredmények azt mutatják, hogy a magánhangzók homogén csoportként nazalizálódnak a spontán beszédben.

A második tanítás során a nazalizált magánhangzókra két modellt építettünk a nazális mássalhangzó függvényében. A helyes találatok aránya gyengébb volt, mint az előző modellekben, ezért a továbbiakban nem vettük figyelembe a nazális mássalhangzó minőségét.

A nazális környezetben a magánhangzók a nemzetközi és hazai szakirodalom szerint nem azonos mértékben nazalizálódnak. Az alsóbb nyelvállású magánhangzók nagyobb mértékben módosulnak a koartikuláció hatására, mert a

lágyszájpadot ebben a konfigurációban könnyebb leereszteni, mint a felsőbb nyelvállásúak esetében (Johnson 2003) – ezért érdemes az egyes magánhangzó-minőségeket nyelvállásfok szerint külön HMM-ekkel modellezni. A második tanítás során a nazalizált és nem nazalizált magánhangzókra két-két modellt építettünk. A felsőbb nyelvállású magánhangzókat VF-fel jelöltünk, míg az alsóbbakat VA-val. A nazalizált magánhangzók esetében a felsőbb nyelvállásúakat NF-vel, az alsóbb nyelvállásfokúakat NA-val. Az osztályozásban a legjobb eredményt a 16 Gauss függvénnyel leíró HMM adta (11. táblázat).

11. táblázat: Az orális és nazalizált magánhangzók osztályozási arányai a magánhangzók nyelvállásfoka szerint

Magánhangzók	Összes	Helyes találat (%)	Helyes találat törlés nélkül (%)	Törlés
Összes	1215	73	83,5	123
VF	153	83	90,0	13
VA	646	71	79,0	65
NF	54	48	59,0	10
NA	362	77	85,0	35

Az eredmények azt mutatták, hogy a szakirodalomnak megfelelően az alsóbb nyelvállású magánhangzók erősebben nazalizálódnak, így osztályozásuk eredményesebb.

A negyedik tanítás során a nazalizált magánhangzókat (NV) két csoportra osztottuk a nazális-magánhangzó hangkapcsolatban a nazális pozíciója szerint: progresszív nazalizáció (VN) és regresszív nazalizáció (NV). Az akusztikai elemzésekből kiindulva azt vártuk, hogy a regresszív nazalizáció jobban osztályozható. A legjobb eredményt a 16 Gauss-függvénnyel leíró rejtett Markov-modell adta.

12. táblázat: Az orális és a progresszív-regresszív nazalizált magánhangzók osztályozási aránya

Magánhangzók	Összes	Helyes találat (%)	Helyes találat törlés nélkül (%)	Törlés
Összes	844	81,39	84,99	227
Orális mgh.	573	71,80	86,55	136
Progresszív naz.	96	56,47	70,00	33
Regresszív naz.	175	69,44	90,20	58

A progresszív és a regresszív nazalizáció közül a regresszív nazalizáció képzett homogénebb csoportot, ez a folyamat hasonlóan hat minden egyes magánhangzóra a nazális minőségétől függetlenül (12. táblázat). A nemzetközi szakirodalomban a felolvasott beszédben a progresszív nazalizációt tud-

ták jobban detektálni (Raja 2006). Feltételezésünk szerint ez a különbség a beszéd típusából fakad: a spontán beszédben nagyobb gondot fordítunk a beszédtervezésre, mint a kivitelezésre.

Az ötödik HMM tanítása során a nazalizált magánhangzókat tanítottuk be a magánhangzó minőségétől függően. A legjobb eredményt a 16 Gauss-függvénnyel leíró rejtett Markov-modell adta.

Az eredmények azt mutatták, hogy az [ɛ] magánhangzó nazalizálódik a legjobban, amit az akusztikai elemzések is alátámasztanak (13. táblázat). Hipotézisünkkel ellentétben az [i] magánhangzó osztályozása igen gyenge, aminek az lehet az oka, hogy a spontán beszédben gyakran más magánhangzóként realizálódik, így nem alkot homogén csoportot.

13. táblázat: A nazalizált magánhangzók osztályozási arányai a magánhangzó minőségétől függően

Magánhangzók	Összes	Helyes találat (%)	Helyes találat törlés nélkül (%)	Törlés
Összes	237	82,00	84,04	7
AN	56	77,77	80,00	2
EN	120	94,48	95,23	1
ÁN	17	85,00	89,47	1
ON	20	71,42	76,92	2
IN	24	57,14	58,53	1

Következtetések

A jelen kutatásban a magyar spontán beszédben elsőként vizsgáltuk a magánhangzók nazalizációjának megvalósulását, vagyis hogy a nazalizált vokálisok milyen akusztikai paraméterekben különböznek az orálisaktól. A formánsértékekre vonatkozó elemzések – hipotézisünkkel ellentétben – azt mutatták, hogy a spontán beszédben a különféle nazális mássalhangzók nem befolyásolják eltérően a magánhangzók F_1 és F_2 értékeit, vagyis a formánsokra ható nazális hatás független a mássalhangzó minőségétől. Az A_1 (első formáns amplitúdó értéke) és a P_1 (a nazális csúc) különbségének kontextusfüggő értékére vonatkozó elemzések is megerősítették, hogy a nazális hatás nem különbözik jelentősen attól függően, hogy [m] vagy [n] szerepel a hangkapcsolatban (csak a [ɛ] magánhangzónál találtunk eltérést a két nazális között). Ezt a jelenséget az automatikus osztályozás is megerősítette, hiszen az osztályozási arány romlott, ha a nazalizált magánhangzókat a nazális minősége szerint csoportokra bontottuk.

Az eredmények szerint a nazalizáció sokkal inkább a magánhangzó-minőség függvénye: az egyes vokálisok eltérő mértékben módosultak nazális környezetben. Az F_1 és F_2 frekvenciaértékének szempontjából a velárisok közül az [a:] egyáltalán nem, az [ɔ] a legjobban nazalizálódik. A nazális-

vokális koartikuláció során az [ɛ] formánsértékei módosultak a legnagyobb mértékben a nem nazális környezetbe képest.

Az [ɔ], [ɛ] és [i] magánhangzók F_1 értéke nazális kontextusban szignifikánsan magasabb frekvenciaértéken realizálódott a nazálist nem tartalmazó hangkapcsolatban meghatározott átlagértékhez képest, mindkét nem ejtésében (a nőknél az [o] is). Ez arra utal, hogy a spontán beszédben a magánhangzó-nazalizáció a nyelv függőleges mozgását érinti: amint a légyszájpad leereszkedik a nazális képzéséhez, a magánhangzó artikulációjakor a nyelv is leereszkedik, tehát spontán beszédben a légyszájpad és a nyelv egyfajta szinkron mozgással működik a gyors és kevésbé gondozott artikuláció miatt. Ezeknél a magánhangzóknál nemcsak az első formáns frekvenciaértéke változik a nazalizációban, hanem az intenzitása is. A jelen kutatásban igazoltuk az A_1 – P_1 csökkenését a nazalizált magánhangzóknál, a nemzetközi szakirodalomnak megfelelően (vö. Huffmann 1990, Pruthi 2007). A magánhangzó első formánsának amplitúdója (A_1) csökken, míg az extra nazális csúcs – ami az első formánsamplitúdó után jelenik meg (P_1) – amplitúdója nő (Pruthi 2007). A nazális hatás irányára vonatkozó elemzéseink árnyalt képet mutatnak. A progresszív és a regresszív nazalizáció csak az [ɛ] második formánsára volt eltérő hatással, a spontán beszédben nincs lényeges különbség a koartikuláció iránya szempontjából a magánhangzók formánsértékeiben. Az [ɔ] és az [i] A_1 – P_1 értékét a progresszív nazalizáció nagyobb mértékben csökkenti, ugyanakkor a progresszív/regresszív hatás különbsége függ a mássalhangzó minőségétől. Az alsó nyelvállású magánhangzók A_1 – P_1 paraméterében a bilabiális nazális progresszív hatása eredményezett nagyobb csökkenést, a felső nyelvállású vokálisban az alveoláris nazális idézett elő jelentősebb változást.

A kutatás eredményei igazolták a nemzetközi szakirodalom megállapításait (Pruthi 2007): a nazális hatás a magánhangzók spektrumának alsóbb frekvenciatartományában jelentkezik a legnagyobb mértékben (az első formáns frekvenciaértékében, illetőleg az F_1 amplitúdójának és a nazális csúcs különbségében); a nazalizáció elsősorban a magánhangzó-minőség függvénye.

Az automatikus osztályozás eredményei azt mutatták, hogy a spontán beszédben a nazalizált magánhangzók akusztikailag jól elkülöníthetők az orális magánhangzóktól. Ennek eredménye 75%. Azt is megállapítottuk, hogy a progresszív és a regresszív nazalizáció közül a regresszív nazalizáció képzett homogénebb csoportot, azaz hasonlóan hat minden egyes magánhangzóra a nazális minőségétől függetlenül. A magyar spontán beszédben a koartikulációs folyamatok döntő többsége regresszív (Gósy 1998, Bóna et al. 2008) ezt a tendenciát a nazálisok hatásával kapcsolatban is igazoltuk az osztályozás során. A regresszív nazalizáció hatása a spontán beszédben nagyobb, a progresszív koartikuláció pedig a felolvasásban (Raja 2006, Horváth 2008). A további kutatások fontos kérdése, hogy a magyar spontán beszédben hogyan realizálódnak a nazalizált magánhangzók a nazálist követő mássalhangzó függvényében (vö. Chen 1996).

Az osztályozás eredményei szerint a nazális hatás megvalósulása függ a magánhangzó minőségétől, ami megegyezik a nemzetközi szakirodalomban olvasható eredményekkel. A nazalizált magánhangzók automatikus osztályozásának eredményei fontosak lehetnek a beszédszintézisben, illetve az érzellem automatikus felismerésében.

Irodalom

- Beddor, Patrice Speeter 1993. The perception of nasal vowels. In Huffman, Marie K. – Krakow, Rena A. (eds): *Nasals, nasalization and the velum*. Academic Press, San Diego, 171–196.
- Beddor, Patrice Speeter 2007. Nasals and nasalization: The relation between segmental and coarticulatory timing. In Trouvain, Jürgen – Barry, William J. (eds.): *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences. Saarbrücken 6–10 August 2007*. 249–254.
- Beke András 2009. A veláris magánhangzók stabilitása a spontán beszédben. In: Gecső Tamás – Sárdi Csilla (szerk.) *A kommunikáció nyelvészeti aspektusai*. Kodolányi János Főiskola–Tinta Könyvkiadó, Székesfehérvár–Budapest (megjelenőben).
- Bóna, Judit – Grácz, Tekla Etelka – Markó, Alexandra: Coarticulation rules and speaking style dependency. In Sock, Rudolph – Fuchs, Susanne – Laprie, Yves (eds.): *Proceedings of the International Speech Production Seminar*. Strasbourg, 245–248.
- Bunel, H. Timothy – Lilley, Jason 2008. Schwa variants in American English. *Interspeech 2008*. 1959–1963.
- Chen, Marilyn Y. 1995. Acoustic parameters of nasalized vowels in hearing-impaired and normal-hearing speakers. *Journal of the Acoustical Society of America* 98 (5). 2443–2453.
- Chen, Marilyn Y. 1996. *Acoustic correlates of nasality in speech*. PhD thesis. MIT, Cambridge.
- Chen, Marilyn Y. 1997. Acoustic correlates of English and French nasalized vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 102 (4). 2360–2370.
- Chen, Marilyn Y. 2000. Acoustic analysis of simple vowels preceding a nasal in Standard Chinese. *Journal of Phonetics* 28. 43–67.
- Chen, Nancy F. – Slifka, Janet L. – Stevens, Kenneth N. 2007. Vowel nasalization in American English: Acoustic variability due to phonetic context. In Trouvain, Jürgen – Barry, William J. (eds.): *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences. Saarbrücken 6–10 August 2007*. 905–908.
- Delvaux, Veronique – Amelot, Angélique – Rossato, Solange 2007. Nasal processes at the interface between phonetics and phonology. In Trouvain, Jürgen – Barry, William J. (eds.): *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences. Saarbrücken 6–10 August 2007*. 245–248.
- Fant, Gunnar 1960. *Acoustic theory of speech production*. Mouton, The Hague.
- Földi Éva 1989. Magánhangzó-nazalizáció, hosszú mássalhangzó vagy gemináta? *Egyetemi Fonetikai Füzetek* 2. 98–120.
- Gósy Mária 1998. A zöngésségi folyamat a (spontán) beszédben. *Beszédkutatás '98*. 1–20.
- Gósy Mária 2004. *Fonetika, a beszéd tudománya*. Osiris Kiadó, Budapest.

- Gósy Mária 2008. Magyar spontán beszéd adatbázis – BEA. *Beszédkutatás 2008*. 116–128.
- Gósy, Mária – Beke, András 2008. Anticipatory coarticulation in a specific context. In Sock, Rudolph – Fuchs, Susanne – Laprie, Yves (eds.): *Proceedings of the International Speech Production Seminar*. Strasbourg, 253–256.
- Greenberg, Steven 1999. Speaking in shorthand: A syllable-centric perspective for understanding pronunciation variation. *Speech Communication* 29 (2). 159–176.
- Hardcastle, William J. – Hewlett, Nigel (eds.) 1999. *Coarticulation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hawkins, Sarah – Stevens, Kenneth N. 1985. Acoustic and perceptual correlates of the nonnasal-nasal distinction for vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 77 (4). 1560–1575.
- Horváth Viktória 2005. A magánhangzók nazalizációjáról. *Beszédkutatás 2005*. 51–62.
- Horváth Viktória 2008. Nazális hatás a magánhangzóképzés függvényében. *Beszédkutatás 2008*. 22–32.
- Huffman, Marie K. 1990. The role of F_1 amplitude in producing nasal percepts. *Research Laboratory of Electronics* 3. MIT, Cambridge, 6–511.
- Johnson, Keith 2003. *Acoustic and auditory phonetics*. Blackwell, Cambridge–Oxford.
- Krakow, Rena A. 1993. Nonsegmental influences on velum movement patterns: Syllables, sentences, stress and speaking rate. In Huffman, Marie K. – Krakow, Rena A. (eds): *Nasals, nasalization and the velum*. Academic Press, San Diego, 87–116.
- Ladefoged, Peter 2005. *Vowels and consonants*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Maeda, Shinji 1982. Acoustic cues for vowel nasalization: A simulation study. *Journal of the Acoustical Society of America* 72 (S1). S102.
- Malécot, Andre 1960. Vowel nasality as a distinctive feature in American English. *Language* 36. 222–229.
- Pickett, James M. 1999. *The acoustics of speech communication*. Allyn&Bacon, London.
- Pruthi, Tarun 2007. *Analysis, vocal-tract modeling and automatic detection of vowel nasalization*. PhD thesis. http://www.isr.umd.edu/Labs/SCL/publications/theses/Pruthi_PhD.pdf. (Az utolsó letöltés ideje: 2009.10.02.)
- Raja, Bilal A. 2006. Recognition of nasalized and non-nasalized vowel. http://www.ece.umd.edu/RITE/archives/merit2006/merit_fair06_papers/Paper_10_Raja.pdf. (Az utolsó letöltés ideje: 2009.07.24.)
- Rose, Philip 2002. *Forensic speaker identification*. Taylor&Francis, London–New York.
- Stevens, Kenneth N. – Fant, Gunnar – Hawkins, Sarah 1987. Some acoustical and perceptual correlates of nasal vowels. In Channon, Robert and Shockey, Linda (eds.): *In honor of Ilse Lehiste*. Foris Publications, Dordrecht, 241–254.
- Szaszák György – Vicsi Klára 2007. Speech recognition supported by prosodic information for fixed stress languages. *Proceeding of TSD conference*. Brno, 262–269.