

Akustické vlastnosti farby hlasu skúmané artikulačnou syntézou

Marianna Kraviarová

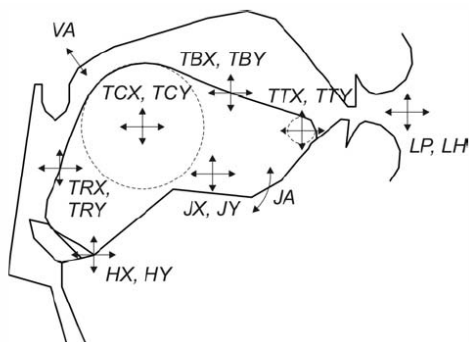
Úvod

Táto štúdia nadväzuje na príspevok z 1. konferencie Centra excelentnosti na FF PU v Prešove, ktorá sa konala v roku 2010, pod názvom *Akustické parametre farby hlasu*, a vznikla v rámci realizácie skúmania farby hlasu experimentálnou artikulačnou metódou vo fonetickom laboratóriu FF PU v Prešove. Využitie skúmania farby hlasu zasahuje aj do spoločenskej oblasti, konkrétne do oblasti masmediálneho sveta, sveta akusticko-auditívnej komunikácie, kde farba hlasu plní významnú, tzv. estetickú funkciu, ktorá je rozhodujúcim faktorom v „boji“ o diváka alebo poslucháča.

1 Metodika experimentálneho výskumu

Najefektívnejšou, ale zároveň najzložitejšou a najmenej preskúmanou metódou na riešenie problému akustických vlastností farby hlasu, sa javí artikulačná syntéza, ktorou sa dosahuje vysoká kvalita syntetizovanej reči. Z tejto metódy vychádza aj program VocalTractLab nemeckého autora Dr.-Ing. P. Birkholza. Princíp syntézy reči vychádza z Fantovej teórie (1960), ktorá charakterizuje rečovú vlnu ako odozvu filtračného systému, ktorý je tvorený rečovým traktom, na zdroj zvuku, ktorý reprezentujú hlasivkové kmity. Model artikulačného traktu je tvorený pomocou zakrivených plôch, ktoré reprezentujú jednotlivé časti hlasových orgánov a je definovaný pomocou 24 parametrov. Keďže jazyk patrí k najdynamickejšim prvkom artikulačného traktu, ktorého poloha v ústnej dutine najviac ovplyvňuje reč, je definovaný najväčším počtom parametrov. Obrys jazyka je vymodelovaný pomocou dvoch kruhových oblúkov, ktoré popisujú parametre *TTX*, *TTY*, *TCX*, *TCY* a dvoch Bézierových kri-

viak s parametrami *TBX*, *TBY* a *TRX*, *TRY* (Kröger – Birkholz, 2007). V uvedenom programe sme synteticky generovali slovenské samohlásky a následne resyntetizovali na základe stanovených cieľov experimentu. Zmenu farby hlasu sme potom zisťovali perцепčnou metódou. Zostavili sme pätnásťčlennú skupinu študentov FF PU v Prešove, ktorá perцепčne zisťovala, či zmena niektorého z parametrov artikulačného traktu vyvoláva aj zmenu farby hlasu generovaného syntetického zvuku. V tomto prípade je experimentálna metóda generovania syntetického zvuku a jeho následná resyntéza realizovaná v rovine artikulačnej fonetiky doplnená subjektívnou metódou – perceptivekým vnímaním a hodnotením zmien produkovaných na slovenských samohláskach pomocou 3D modelu vokálneho traktu.



Obr. 1. Parametre artikulačného traktu.

2 Ciele experimentálneho výskumu

Ciele experimentálneho výskumu sme stanovili tak, aby sme doplnili doterajšie poznatky súvisiace so skúmaním timbru. Východiskom boli možnosti súčasnej experimentálnej fonetiky v oblasti skúmania rečového signálu. Na vymodelovaných (vygenerovaných) syntetických zvukoch ľudskej reči v programe VocalTractLab sme menili parametre artikulačného traktu a pozorovali ich vplyv na vnímanie farby hlasu. Experiment sme vykonávali na všetkých slovenských samohláskach, ale táto

štúdia je venovaná samohláske *a*, ktorá je v slovenčine najfrekventovanejšia, najzvučnejšia a najotvorenejšia (Sabol, 1996).

1. V 3D modeli artikulačného traktu pri generovaní samohlásky *a* budeme programovo nastavovať plochu prierezu artikulačnej dutiny od polohy hlasiviek až po ústie pier a perцепčným vnímaním skúmať ako sa táto zmena prejaví na farbe hlasu.
2. Budeme meniť dĺžku artikulačného traktu v 3D modeli a pozorovať zmeny farby hlasu.
3. Budeme skúmať účinnosť prínosových dutín a vedľajších vetiev vokálneho traktu na zmenu farby hlasu.

2.1 Zmena plochy prierezu artikulačnej dutiny

Prvou úlohou stanovenou v cieľoch experimentálneho výskumu je vo vygenerovanej samohláske *a* okrem formantov programovo nastavovať aj plochu prierezu artikulačnej dutiny od polohy hlasiviek až po ústie pier a vnemom skúmať, ako sa táto zmena v rezoch prejaví na farbe hlasu. Pretože na tvorbe zvuku, na jeho modifikácii sa veľmi intenzívne zúčastňujú a ovplyvňujú vygenerované hlásky artikulačné orgány nachádzajúce sa v ústnej dutine, budeme meniť ich polohu a tvar a následne sledovať vznikajúce zmeny vo vygenerovanom zvuku. Ide o zmeny v postavení pier (ich vzdialenosť a vyšpúlenie) a veľkosti čelustného uhla, v horizontálnej a vertikálnej pozícii sánky, v polohe mäkkého podnebia a v polohe jazyka v ústnej dutine.

Pri vyslovovaní slovenskej samohlásky *a* sú pery voľne oddialené. Ak sa pozrieme na perný otvor z akustického hľadiska, jeho zmenou v 3D modeli vokálneho traktu sme pozorovali zmeny v spektrálnej obálke vyslovenej samohlásky *a*. Hodnoty formantov F1 až F6 a veľkosť prierezu plochy ústnej štrbiny sa nachádzajú v tabuľke 1. Vzdialenosť pier je možné meniť priamym zásahom v modeli alebo nastavovaním parametra, ktorý ovplyvňuje vzdialenosť pier. Nazýva sa „vertical lip distance (LH)“ a nadobúda hodnoty od -0,5 po 4,0. Do hodnoty 0,05 nie je počuteľný žiaden zvuk a do hodnoty 0,25 zvuk nezodpovedá samohláske *a*, o čom svedčia aj nízke hodnoty prvých dvoch formantov. Vzniknutý zvuk skôr pripomína hlásku *ə*, ktorá sa medzi slovenskými samohláskami nevyskytuje.

<i>LH</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
0,25	0,37	453	1179	2622	3176	4453	5928
0,3	0,91	566	1197	2659	3178	4461	5932
0,4	1,20	604	1206	2675	3179	4474	5932
0,5	1,50	624	1211	2686	3180	4490	5953
0,6	1,84	648	1218	2690	3090	4500	5956
0,7	2,14	669	1225	2699	3088	4506	5952
0,8	2,48	687	1229	2717	3175	4514	5954
0,9	2,86	701	1236	2726	3173	4524	5960
1,0	3,30	715	1240	2737	3169	4536	5975
1,2	4,16	736	1251	2752	3157	4561	5990
1,4	5,15	756	1261	2767	3151	4582	6015
1,6	6,23	773	1270	2785	3168	4609	6053
1,8	7,33	784	1277	2800	3187	4634	6088
2,0	8,50	797	1285	2820	3209	4664	6145
2,4	10,31	806	1292	2835	3206	4695	6221
2,8	11,44	810	1296	2840	3214	4718	6275
3,0	11,61	812	1297	2842	3213	4718	6276
3,4	11,62	812	1297	2841	3213	4718	6270
3,6	11,62	813	1297	2842	3213	4718	6270
3,8	11,62	813	1298	2842	3213	4718	6269
4,0	11,62	813	1298	2842	3213	4719	6270

Tab. 1. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru pri zmene parametra *LH* pri generovaní samohlásky *a*.

Zmenšovanie ústneho otvoru sa prejavuje znižovaním hodnôt všetkých formantov. Zväčšovanie ústneho otvoru spôsobuje ich nárast. Najvýraznejšie sa zmena ústneho otvoru prejaví na prvom a šiestom formante. Z tabuľky 1 vyplýva, že zmena ústneho otvoru o 1 cm² sa prejaví zmenou v hodnote formantu F1 o 23 Hz, F2 o viac ako 9 Hz, F3 o 17 Hz, F4 o 3 Hz, F5 o 24 Hz a F6 o 32 Hz. Od hodnoty *LH* = 0,5 zodpovedá vzniknutý zvuk samohláske *a*. Vygenerovaná samohláska je čistá, jasná a zvučná. Od hodnoty *LH* = 1,20 sluchom zisťujeme nosovejšie zafarbenie samohlásky. Zväčšovaním perného otvoru (*LH* > 0,8) sa zväčšuje aj šírka pásma vyšších formantov (F5 a vyšších) a znižuje sa ich amplitúda, hlasitosť.

Ďalším parametrom, ktorý súvisí s perným otvorom, je „*lip protrusion (LP)*“ – vyšpúlenie pier. Nadobúda hodnoty od -1,0, ktorá zodpovedá najmenšiemu vyšpúleniu, do 1,0, ktorá zodpovedá maximálnemu vyšpúleniu pier. Postupnou zmenou hodnoty parametra *LP* sme generovali samohlásku *a*, pričom hodnoty formantov a prierez otvoru pri vyšpúlení pier sa nachádzajú v tabuľke 2. Vyšpúlenie pier pri modelovaní samohlásky *a* spôsobuje zníženie hodnôt formantov. Najvýraznejší vplyv vyšpúlenia pier je na formanty F1, F5 a F6. Formant F1 klesne o 268 Hz, F5 o 247 Hz a F6 o 306 Hz. Od *LP* = 0,2 dochádza k neprirodzenému vyšpúleniu pier pre tvorbu slovenskej hlásky *a*, zvuk je hrubší, hlbší, percepcne pozorujeme zmenu samohlásky *a* na hlásku *ə*.

<i>LP</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-1,0	2,59	691	1231	2719	3172	4519	5973
-0,8	2,78	703	1237	2726	3172	4522	5968
-0,6	2,59	699	1235	2724	3172	4525	5976
-0,4	2,45	691	1232	2722	3172	4529	5982
-0,2	2,23	676	1226	2711	3176	4505	5943
0	2,04	647	1216	2693	3182	4477	5907
0,2	1,84	621	1212	2671	3081	4455	5882
0,4	1,47	579	1198	2648	3194	4381	5790
0,6	1,28	527	1186	2620	3140	4335	5728
0,8	1,05	481	1181	2607	3192	4331	5739
1,0	0,98	423	1175	2574	3152	4273	5666

Tab. 2. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru pri vyšpúlení pier, ktoré súvisia so zmenou parametra *LP* pri generovaní samohlásky *a*.

Čelústny uhol – „*jaw opening angle (JA)*“ patrí k ďalším veličinám, ktoré je možné upravovať v prednej časti ústnej dutiny. V 3D modeli artikulačného traktu nadobúda hodnoty od -0,20 po 0, pričom -0,20 predstavuje maximálne rozovretie čelústí, 0 predstavuje zatvorené ústa a zopnuté čeluste. Hodnoty formantov F1 až F6, ktoré sa menia postupným znižovaním čelústneho uhla a veľkosť prierezu perného otvoru sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

JA	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-0,20	3,74	679	1230	2704	3091	4508	5954
-0,18	3,40	677	1228	2723	3174	4531	5974
-0,16	3,09	671	1227	2734	3168	4551	5997
-0,14	3,02	668	1229	2743	3157	4578	6022
-0,12	2,77	670	1232	2757	3151	4597	6035
-0,10	2,51	665	1232	2769	3154	4618	6054
-0,08	2,26	659	1233	2783	3160	4641	6082
-0,06	1,93	650	1232	2798	3177	4672	6118
-0,04	1,82	643	1232	2812	3192	4701	6148
-0,02	1,52	627	1230	2829	3203	4735	6191
0	1,49	395	1193	2767	3199	4682	6189

Tab. 3. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou veľkosti čelústneho uhla (*JA*) pri generovaní samohlásky *a*.

Zmenšovanie uhla, ktorý zvierá horná a dolná sánka, spôsobuje znižovanie prvého formantu F1. Hodnota formantu F2 sa mení iba minimálne a nemá vplyv na tvorenú samohlásku *a*. Hodnoty ostatných formantov stúpajú so zmenšovaním čelústneho uhla. Od hodnoty *JA* = -0,12 sa začína prejavovať zmena farby hlasu. Zvuk sa stáva hlbší. Pri hodnote *JA* = 0 sa vyslovená samohláska *a* mení na hlásku *ə*.

Ďalšími parametrami, ktorých zmena spôsobuje aj zmenu v zafarbení samohlásky *a*, sú „*vertical jaw position (JY)*“ – vertikálna poloha dolnej čeľuste a „*horizontal jaw position (JX)*“ – poloha dolnej čeľuste vo vodorovnom smere. *JY* nadobúda v 3D modeli artikulačného traktu hodnoty od -1,80 po -1,20, pričom *JY* = -1,20 zodpovedá minimálnemu pohybu čeľuste vo zvislom smere. Druhá krajná hodnota zodpovedá maximálnemu vychýleniu dolnej sánky vo zvislom smere. Hodnoty formantov a parametra *JY* pri generovaní samohlásky *a* sú v tabuľke 4.

<i>JY</i>	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-1,8	677	1225	2692	3201	4451	5782
-1,6	675	1226	2705	3181	4492	5932
-1,4	675	1227	2723	3175	4528	5971
-1,2	668	1231	2751	3168	4573	6012

Tab. 4. Hodnoty formantov F1 až F6, ktoré súvisia so zmenou polohy dolnej sánky vo vertikálnom smere (*JY*) pri generovaní samohlásky *a*.

Zmenšovanie vertikálnej polohy dolnej čeľuste sa prejavuje znižovaním formantov F1 a F4 a zvyšovaním formantov F2, F3, F5 a F6, čo sa percepcie prejavuje zmenšovaním jasnosti tónu. Parameter *JX* súvisí s pohybom sánky vo vodorovnom smere, s tzv. vysúvaním sánky. Hodnota -0,5 zodpovedá krajnej polohe sánky – jej pohyb smerom dovnútra ústnej dutiny. Hodnota 0,5 predstavuje maximálne vysunutie sánky.

<i>JX</i>	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-0,50	692	1246	2787	3208	4640	6087
-0,30	678	1234	2750	3157	4579	6016
-0,10	678	1227	2705	3088	4513	5959
0,10	685	1227	2702	3161	4482	5914
0,30	678	1224	2676	3157	4419	5830
0,50	660	1232	2641	3179	4347	5743

Tab. 5. Hodnoty formantov F1 až F6, ktoré súvisia so zmenou polohy dolnej sánky v horizontálnom smere (*JX*) pri generovaní samohlásky *a*.

Vysúvaním dolnej sánky vo vodorovnom smere dochádza k znižovaniu všetkých formantov. Úprava artikulátorov v prednej časti ústnej dutiny najmenej ovplyvňuje hodnotu druhého formantu F2. Vysunutím sánky znie samohláska *a* hlbšie, hrubšie, menej jasne, čo je spôsobené znižovaním frekvencií jednotlivých formantov.

V artikulačnom trakte je možné upravovať aj polohu mäkkého podnebia, ktoré sa nachádza v ústnej dutine za tvrdým podnebíom. Ide o pohyblivý sval, ktorý vytvorením podneбноhltanového záveru oddeľuje nosovú dutinu od ústnej a podieľa sa na tvorbe nosových hlások. V slovenčine sa stretávame pri artikulácii iba s nosovými spoluhláskami.

V niektorých jazykoch existujú aj nosové samohlásky, napr. v poľštine a vo francúzštine. Spoluúčasť mäkkého podnebia je veľmi dôležitá pri artikulácii, ich nesprávnou činnosťou pozorujeme rečovú chybu, tzv. nosovosť (Schulzová, 1970, s. 24).

Mäkké podnebie zastupuje v 3D modeli parameter „*velum position* (VA)“ a nadobúda hodnoty 0 – 1,0. Percepčne je možné vnímať výraznú zmenu vo farbe generovaných samohlások *a*. Hodnoty formantov a prierez mäkkého podnebia pri otvorení nosovej dutiny zmenou hodnôt parametra VA sú uvedené v tabuľke 6.

VA	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
0	0	677	1227	2703	3088	4507	5953
0,20	0	680	1226	2729	3196	4499	5975
0,22	0,05	308/710	1226	2769	3221	4493	6003
0,25	0,13	324/725	1225	2778	3228	4254/4498	6016
0,30	0,25	339/732/863	1223	2769/2877	3240	4259/4631	6020
0,50	0,75	356/736/940	1214/1971	2760	3039/3289	4230/4650	6050
0,70	1,25	361/740/976	1185/1972	2755	3198/3394	4325	
0,90	1,75	360/745/998	1162/1931	2746	3546	4079	
1,0	2,0	357/747	1140/1897	2741	3320/3622	4020	

Tab. 6. Prierez plochy mäkkého podnebia a hodnoty formantov, ktoré súvisia so zmenou spoluúčasti nosovej dutiny (VA) pri generovaní samohlásky *a*.

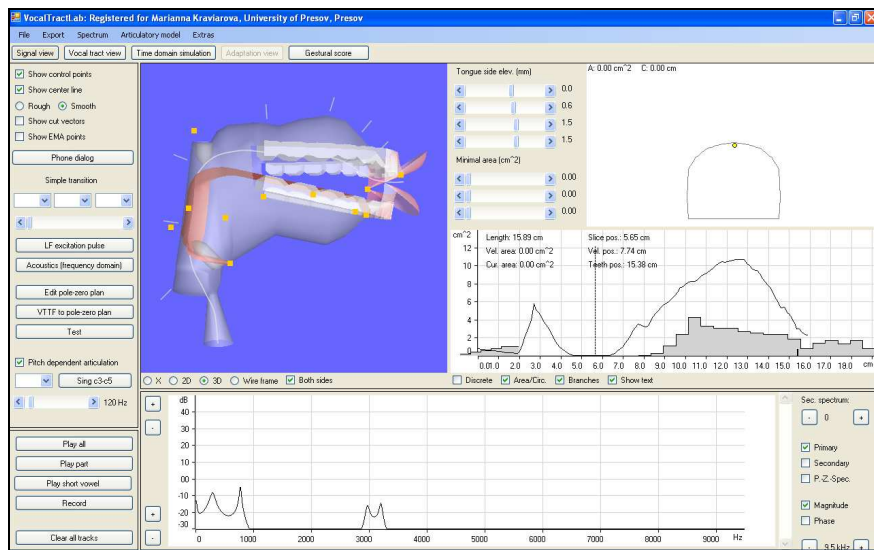
Od hodnoty parametra VA = 0,22, ktorý reprezentuje plochu prierezu mäkkého podnebia veľkosti 0,05 cm², nastáva otvorenie nosovej dutiny, čo sa percepčne prejavuje na vytváraní samohlásky *a*. Spoluúčasť nosovej dutiny pridáva medzi formanty, ktoré reprezentujú samohlásku *a*, ďalšie tzv. nosové formanty. Vzniknutá hláska sa postupne stáva nosovejšou, čo potvrdili všetci percipienti. K podobným záverom na inom 3D modeli artikulačného traktu dospeli aj T. Vampola (2006).

Jazyk je najpohyblivejším a pre moduláciu reči aj najdôležitejším orgánom. Z fonetického hľadiska sa jazyk delí na tri základné časti. Prednú časť jazyka nazývame konček (hrot, apex, tip) jazyka, prostrednú časť chrbát (dorsum, blade) jazyka, ktorý sa delí na predný (predorsum) a zadný (postdorsum) chrbát jazyka a zadnú časť koreň (radix, root) jazyka (Král' –

Sabol, 1989, s. 130). Pri artikulácii môže jazyk nadobúdať rôzne postavenie v ústnej dutine, najčastejšie v horizontálnom a vertikálnom smere, a tým upravovať jej tvar a objem. Jazyk sa môže zúčastňovať artikulácie ako celok (pri tvorbe samohlások) alebo iba niektorá z jeho častí (pri tvorbe niektorých spoluhlások). V ústnej dutine môžu vyššie opísané časti jazyka vytvárať záver (oklúziu) – ten môže byť úplný alebo neúplný, úžinu (konstrikciu), resp. polozáver, polozúžinu, vtedy hovoríme o záverovoúžinových hláskach (semiokluzívach). Takýmto spôsobom sú v slovenčine vytvárané spoluhlásky. Pri tvorbe samohlások jazyk vytvára v artikulačných orgánoch dutiny a zisťuje sa jeho postavenie vo vodorovnom smere (pohyb jazyka dopredu alebo dozadu v ústnej dutine) a zvislom smere (približovanie alebo oddaľovanie jazyka od podnebia). V 3D modeli artikulačného traktu je jazyk charakterizovaný najväčším počtom parametrov: vertikálna a horizontálna poloha strednej časti jazyka, hrotu jazyka, chrbta jazyka a koreňa jazyka. Zmeny vo farbe vytvárajúcej samohlásky *a* úpravou týchto parametrov si rozoberieme podrobnejšie. Predpokladáme výrazný vplyv na zafarbenie vzniknutej hlásky, keďže jazyk môže v ústnej dutine nadobúdať rôzne polohy. Prvými dvoma parametrami sú horizontálne a vertikálne umiestnenia strednej časti jazyka charakterizované veličinami „*tongue center X, Y (TCX, TCY)*“, ktoré nadobúdajú hodnoty $-3,0 - 4,0$ horizontálne a $-3 - 1,5$ vertikálne. Hranice týchto rozsahov predstavujú maximálnu a minimálnu polohu strednej časti jazyka vo vodorovnom a zvislom smere v ústnej dutine. Nastavenie *TCX* na hodnotu $-3,0$ – čo je krajná poloha strednej časti jazyka v horizontálnom smere spôsobí, že sa jazyk dotýka mäkkého podnebia, čím uzatvára priechod výdychového prúdu vzduchu z hlasiviek (plocha prierezu v mieste pritlačenia jazyka k zadnej stene ústnej dutiny, ktorá je vo vzdialenosti $4,5 - 6,5$ cm od hlasiviek, je nulová). Model nevydáva žiaden zvuk. Tento stav je pozorovateľný na obrázku 1. Zmena parametra *TCX* vplýva na samotnú vygenerovanú samohlásku, ktorá sa mení z vokálu *o* cez *a* až po *e*. Zväčšovaním vzdialenosti medzi zadnou stenou ústnej dutiny a strednou časťou jazyka sa posúva celý jazyk do prednej časti ústnej dutiny a spôsobuje zmenu vygenerovanej hlásky *a*, ktorá sa mení až na samohlásku *e*, o čom svedčí aj zmena hodnôt prvých dvoch formantov, ktoré udávajú typ samohlásky. Do prierezu plochy veľkosti $0,36 \text{ cm}^2$ vzniknutá hláska nezodpovedá zvuku samohlásky *a*, čo potvrdilo 87 %

Akustické vlastnosti farby hlasu skúmané artikulačnou syntézou

percipientov. Hodnoty parametra TCX , plocha prierezu a hodnoty formantov F1 až F6 sa nachádzajú v tabuľke 7.



Obr. 1. 3D model artikulačného traktu pri nastavení parametra $TCX = -3,0$ a nulová plocha prierezu v mieste, kde sa stredná časť jazyka dotýka zadnej steny ústnej dutiny.

TCX	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-0,88	0,06	551	804	2860	3122	4750	6325
-0,8	0,21	656	918	2831	3122	4633	6223
-0,7	0,36	673	1033	2801	3139	4584	6092
-0,6	0,50	678	1117	2765	3064	4550	6007
-0,5	0,61	678	1173	2733	3076	4523	5973
-0,4	0,74	678	1225	2703	3087	4508	5952
-0,3	0,87	677	1270	2685	3186	4504	5935
-0,2	0,97	676	1309	2661	3196	4503	5919
-0,1	1,09	673	1342	2639	3205	4506	5915
0	1,24	669	1385	2626	3214	4517	5904

0,1	1,50	666	1444	2618	3225	4525	5877
0,5	2,56	648	1610	2597	3261	4580	5854
1,0	3,89	635	1767	2629	3317	4620	5881
4,0	6,05	424	2182	2948	3427	4943	6296

Tab. 7. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy strednej časti jazyka v horizontálnom smere (*TCX*) pri generovaní samohlásky *a*.

Pre hodnoty parametra *TCY* v rozsahu od 1,50 do -0,94 sa jazyk dotýka hornej steny ústnej dutiny (prierez zodpovedajúcej plochy je nulový), čím bráni voľnému prechodu vzduchu z pľúc k ústnemu otvoru a 3D model nevydáva zvuk. Približne do hodnoty parametra *TCY* = -2,0, ktorý predstavuje plochu 3,32 cm² vo vzdialenosti 10 cm od polohy hlasiviek daného 3D modelu, sa vygenerovaný zvuk, ktorý zodpovedá samohláske *a*, javí hlbší. Zväčšovanie prierezu tejto časti ústnej dutiny sa prejavuje na jasnejšej farbe vytvorenej samohlásky *a*, čo potvrdilo 80 % percipientov. Zmeny hodnôt formantov spôsobené zmenou parametra *TCY* a zmeny v priereze príslušnej časti ústnej dutiny sa nachádzajú v tabuľke 8.

<i>TCY</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
1,50	0	–	–	–	–	–	–
-0,94	0	–	–	–	–	–	–
-0,95	0,19	489	1101	2445	3216	4076	6625
-1,0	0,2	542	1101	2560	3205	4175	5487
-1,1	0,49	614	1089	2622	3235	4248	5558
-1,2	0,7	623	1071	2642	3125	4319	5599
-1,5	1,57	680	1044	2680	3193	4473	5733
-2,0	3,32	705	1076	2720	3151	4529	5886
-2,5	5,52	675	1172	2745	3078	4540	6001
-3,0	5,55	675	1173	2745	3079	4540	6004

Tab. 8. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy strednej časti jazyka vo vertikálnom smere (*TCY*) pri generovaní samohlásky *a*.

Ďalšími parametrami, ktorých úpravou sa mení poloha jazyka v ústnej dutine, sú „*tongue tip X, Y (TTX a TTY)*“, ktoré reprezentujú vychýľovanie hrotu jazyka vo vodorovnom a zvislom smere. Posun končeka jazyka v horizontálnom smere mení aj objem a v priereze plochu ústnej dutiny. *TTX* nadobúda hodnoty z rozsahu 1,5 až 5,5. Pri krajnej hodnote *TTX* = 1,5 sa jazyk, jeho špička, posúva do najväčšej vzdialenosti od spodných zubov. Ako sa prejaví tento posuv jazyka na formantoch generovanej samohlásky *a*, je možné sledovať v tabuľke 9.

<i>TTX</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
1,5	13,82	678	1230	2670	3088	4602	6110
2,0	13,37	678	1232	2668	3087	4591	6104
2,5	11,51	681	1236	2672	3177	4524	6051
3,0	8,32	681	1232	2676	3085	4495	5999
3,5	6,25	679	1232	2692	3090	4501	5956
4,0	4,59	676	1225	2707	3089	4513	5952
4,5	3,75	649	1213	2760	3098	4611	6044
5,0	1,68	596	1184	2808	3207	4756	6288
5,5	1,68	596	1184	2808	3207	4756	6288

Tab. 9. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy končeka jazyka v horizontálnom smere (*TTX*) pri generovaní samohlásky *a*.

Od hodnoty *TTX* = 4,0 sa konček jazyka začína vysúvať nad dolné predné zuby, čím sa zmenšuje perný otvor, čo spôsobuje znižovanie hodnôt formantov F1 a F2, ale i nárast hodnôt vyšších formantov F3 až F6. Percepčne sa prejaví táto zmena polohy jazyka na jasnosti generovanej samohlásky *a*. Samohláska sa stáva hlbšia, hrubšia, menej jasná. Parameter *TTY* reprezentuje zmenu polohy hrotu jazyka vo vertikálnom smere. Hodnoty *TTY* sú z rozsahu -3,0 – 1,5. Táto zmena sa prejaví na oboch zložkách farby hlasu. Vysúvaním končeka jazyka až k hornej stene ústnej dutiny sa preruší voľný prechod vzduchu z pľúc k pernému otvoru, čo spôsobí, že generovaný zvuk nie je počuteľný. Tento stav nastane pre hodnoty *TTY* od 0,1 do 1,5. Ostatné hodnoty *TTY* s formantmi a obsahom plochy, ktorá súvisí s pohybom hrotu jazyka vo zvislom smere, sú v ta-

buľke 10. Približovanie jazyka k hornej stene ústnej dutiny spôsobuje zmenu generovanej samohlásky *a* na hlásku *ə*. Vyššia poloha hrotu jazyka v ústnej dutine, ktorá znižuje veľkosť ústnej dutiny spôsobuje, že vytvorená samohláska znie hlbšie.

<i>TTY</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-3,0	4,68	678	1226	2703	3087	4508	5952
-2,5	4,68	678	1226	2703	3087	4508	5952
-2,0	4,20	670	1227	2734	3183	4524	5935
-1,5	3,32	651	1230	2790	3210	4530	5836
-1,0	2,05	614	1233	2879	3223	4463	5563
-0,5	1,1	557	1230	2954	3194	5371	6797
0	0,14	386	1228	3068	3351	5350	6889
0,1 – 1,5	0	–	–	–	–	–	–

Tab. 10. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy končeka jazyka vo vertikálnom smere (*TTY*) pri generovaní samohlásky *a*.

V ústnej dutine je možné pohybovať aj koreňom jazyka a tento pohyb je realizovaný veličinami „*tongue root X, Y (TRX, TRY)*“. Rozsah hodnôt parametra *TRX* je od -4,0 do 2,0. Postupnou zmenou hodnôt *TRX* od jednej krajnej polohy k druhej sme nepozorovali žiadne akustické zmeny v generovanej samohláske *a*. *TRY* sa prejavuje na zafarbení vytvárajanej samohlásky *a*. Nadobúda hodnoty od -6 do 0. Ak obsah prierezu dutiny v oblasti koreňa jazyka a zadnej steny ústnej dutiny prevýši 1 cm², prejaví sa to zmenou vygenerovanej hlásky – percepčne sme vnímali hlásku *ə*. Priebeh zmien je zaznamenaný v nasledujúcej tabuľke.

<i>TRY</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
-6	1,39	667	1361	2749	3113	4537	5808
-5	1,39	667	1361	2749	3113	4537	5808
-4	1,39	668	1367	2748	3118	4535	5802
-3	1,15	671	1357	2730	3123	4505	5788

Akustické vlastnosti farby hlasu skúmané artikulačnou syntézou

-2	0,78	676	1226	2726	3071	4554	6002
-1	0,78	676	1226	2726	3071	4554	6002
0	0,78	676	1226	2726	3071	4554	6002

Tab. 11. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy koreňa jazyka vo vertikálnom smere (*TRY*) pri generovaní samohlásky *a*.

Pohyb chrbta jazyka v horizontálnom a vertikálnom smere je v 3D modeli charakterizovaný parametrami „*tongue blade X, Y (TBX, TBY)*“. Rozsah *TBX* je (-3;4) a *TBY* je (-3;5). Posuvom chrbta jazyka v horizontálnom smere sa polohy formantov menia iba minimálne čo sa neprejavuje na farbe hlasu. Posuv chrbta jazyka vo vertikálnom smere sa prejaví na invariantnej zložke farby hlasu. Generovaná hláska sa menila z hlásky *ü*, ktorá sa nevyskytuje v slovenčine, na hlásku *e* a potom na hlásku *a*. Pri hodnotách *TBY* od 5 do 2,7 sa chrbát jazyka dotýka steny ústnej dutiny a 3D model nevydáva žiaden zvuk. Pre hodnoty *TBY* = -2 až *TBY* = -3 je chrbát jazyka neprirodzene nízko položený v ústnej dutine, ale neodráža sa to na zafarbení samohlásky *a*, ktorá sa percepčne vníma až od *TBY* = 0.

<i>TBY</i>	Prierez plochy [cm ²]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F4 [Hz]	F5 [Hz]	F6 [Hz]
2,6	0,12	400	1381	1931	3099	5046	5322
2,4	0,30	491	1392	1975	3109	4871	5372
2,2	0,54	547	1397	2023	3122	4696	5410
2,0	0,78	583	1393	2069	3131	4584	5432
1,0	2,59	669	1342	2322	3165	4379	5580
0	4,92	689	1283	2532	3166	4415	5781
-1,0	7,73	681	1243	2689	3061	4486	5954
-2,0	10,40	669	1212	2748	3163	4614	6024
-3,0	11,71	665	1199	2737	3077	4676	6033

Tab. 12. Hodnoty formantov F1 až F6 a prierez plochy ústneho otvoru, ktoré súvisia so zmenou polohy chrbta jazyka vo vertikálnom smere (*TBY*) pri generovaní samohlásky *a*.

2.2 Zmena dĺžky trubice

Z literatúry je známa priemerná vzdialenosť hrdlovej dutiny až po ústie pier. Ide o hodnotu približne 17,5 cm nameranú u mužov. Artikulačným syntetizátorom je možné nastavením parametra *HX* (vertikálna poloha hrtanu) predlžovať, resp. skracovať dĺžku artikulačného traktu a vnemom zisťovať zmeny farby hlasu. Ide o ďalšiu úlohu z cieľov experimentálneho výskumu – meniť dĺžku trubice od hlasiviek až po ústie pier a pozorovať zmeny farby hlasu. Tento experiment sme realizovali na slovenskej samohláske *a* pri nastavení $F_0 = 120$ Hz, čo je bežná hodnota základného tónu pre mužský hlas.

V používanom 3D modeli existuje niekoľko spôsobov ako dosiahnuť zmenu dĺžky trubice vokálneho traktu. Jedným z možných riešení tohto problému je manuálna úprava trubice 3D modelu artikulačného traktu. V programe VocalTractLab sa v režime *Vocal tract view* nastavujú kontrolné body v modeli. Je ich desať, a dajú sa presúvať vo všetkých smeroch, čím sa mení poloha orgánov artikulačného traktu, ktoré sa zúčastňujú pri tvorbe reči. Jedným z týchto kontrolných bodov je možné dosiahnuť aj zmenu dĺžky trubice vokálneho traktu. Nevýhodou tohto spôsobu je to, že úpravou dĺžky trubice sa zároveň menia aj ďalšie parametre vokálneho traktu, ktoré majú ostať nezmenené, čo sa nepriaznivo odráža na vygenerovanom zvuku. Aby sme čo najviac obmedzili vplyv ostatných faktorov na vygenerovanú hlásku a experimentálne zisťovali iba vplyv zmeny dĺžky hrdlovej dutiny na zmenu farby hlasu, zvolili sme iné riešenie. Programovo sa dá nastavovať hodnota parametra *HX*, čo je vertikálna poloha hrtanu. *HX* môže nadobúdať hodnoty od -3,5 po hodnotu -6,0, pričom hodnota $HX = -3,5$ zabezpečí minimálnu dĺžku trubice a hodnota $HX = -6,0$ predstavuje maximálnu dĺžku trubice generovanej hlásky bez zmien ďalších parametrov vokálneho traktu. Úprava parametra *HX* z jeho minimálnej po maximálnu hodnotu predstavovala pre samohlásku *a* zmenu dĺžky artikulačného traktu z hodnoty $l = 15,45$ cm na $l = 17,91$ cm. Vykonali sme 23 meraní, z ktorých tri merania samohlásky *a* sa nachádzajú v tabuľke 13. V druhom stĺpci tabuľky sa nachádzajú hodnoty dĺžky trubice a formantov F_1 až F_6 pri hodnote $HX = -3,5$, ktorá zodpovedá minimálnej dĺžke hrdlovej dutiny. V treťom stĺpci sú hodnoty dĺžky trubice a formantov F_1 až F_6 pri strednej hodnote *HX* a vo štvrtom

stĺpci sa nachádzajú hodnoty dĺžky trubice a formantov F1 až F6 pri hodnote $HX = -6,0$, ktorá zodpovedá maximálnej dĺžke hrdlovej dutiny.

	a_{min}	a_{stred}	a_{max}
l [cm]	15,47	16,71	17,91
F1 [Hz]	766	692	615
F2 [Hz]	1347	1292	1231
F3 [Hz]	2737	2685	2596
F4 [Hz]	3459	3266	3109
F5 [Hz]	4427	4296	4066
F6 [Hz]	5878	5466	4974

Tab. 13. Hodnoty formantov F1 až F6 samohlásky *a* pri rôznej dĺžke artikulačného traktu.

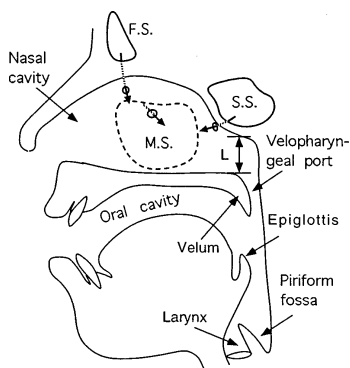
Sluchom je možné pozorovať zmenu vnímanej samohlásky *a*. Predlžovaním artikulačného traktu (hrdlovej dutiny) dochádza:

- k znižovaniu hodnôt formantov F1 až F6,
- k nárastu nosovosti, pretože predlžovaním trubice artikulačného traktu dochádza aj k predlžovaniu mäkkého podnebia a čiastočnému otváraniu nosovej dutiny,
- k znižovaniu hlasu a k miernemu poklesu formantov.

2.3 Účinnosť prínosových dutín

V rámci experimentálneho výskumu akustických vlastností farby hlasu sme skúmali účinnosť dutín, ktoré nie sú priamo spojené s ústnou dutinou. Ide o prínosové dutiny nachádzajúce sa v tvárovej časti človeka, ktoré je možné programovo zapínať a vypínať a tým meniť ich spoluúčasť v artikulačnom procese. Tieto dutiny obohacujú farbu hlasu. K prínosovým dutinám patria: čelové (frontálne) dutiny, čuchové (ethmoidálne) dutiny a čeľustné (maxilárne) dutiny. Ide o systém dutín a dutiniek v kostnej časti tváre, ktoré sú vyplnené vzduchom a nachádzajú sa okolo nosovej dutiny. Sú to nepravidelné dutiny rôzneho tvaru, veľkosti a počtu, ktoré sú všetky spojené s nosovou dutinou. V prípade vzniku zápalu prínosových dutín dochádza k ich naplneniu hlienom. T. Vampola (2006) uvádza: „... miera huhňavosti závisí na rezonančných vlastnostiach dvou spojených rezonátorů – orálného a nazálneho, pričomž je vypozerováno,

že pri tvorbe samohlások je tzv. otvorenou huhňavosťou najmä ovplyvnená samohláska /a:/ a najmä samohlásky /i:/, /u:/. Nedomykavosť uzáveru mäkkého patra je stav, kedy mäkké patro a svalovina hltanu v činnostiach polykáni, dýchaní či reči netvorí optimálny uzáver medzi oro a nazofaryngem, ktorý je nutný pre nerušené provedenie týchto funkcií.“ Z akustického hľadiska ide najmä o zmenu farby hlasu, pretože ide o rezonančné zmeny. V 3D modeli artikulačného traktu možno nastavovať okrem prínosových dutín aj dutiny, ktoré tvoria tzv. vedľajšie vetvy vokálneho traktu. Ide o piriform fossa, niekedy nazývanú ako sinus pyriformis alebo recessus pyriformis – dutinu, ktorá sa nachádza v spodnej časti hrtanu a funguje ako dvojica bočných vetiev vokálneho traktu. Piriform fossa má vplyv na nižšie formanty, prejavuje sa poklesom ich frekvencie, lebo tento orgán sa nachádza v spodnej časti vokálneho traktu. Ďalší akustický efekt spoluúčasti tejto dutiny je viditeľný na frekvenciách v rozsahu 3,5 – 5,0 kHz ako antirezonancia bočných vetiev vokálneho traktu. Efekty hrdlovej dutiny sa prejavujú v spektrálnej amplitúde pod 3 kHz a nad 5 kHz. Spektrálne zmeny pri frekvenciách nižších ako 3 kHz sú relatívne malé – iba okolo 3 dB. Pri frekvenciách 3,5 – 5 kHz sú významnejšie – okolo 13 dB (Fujita – Honda, 2005).

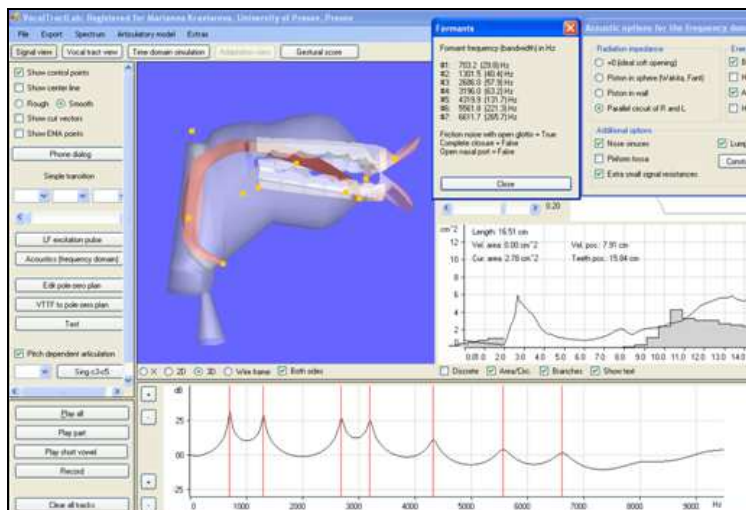


Obr. 2. Prierez vokálnym traktom so zobrazením hlavných a vedľajších vetiev: L – vzdialenosť medzi minimálnym a maximálnym otvorením nosohltana s vyznačením prínosových dutín: M. S., F. S. a S. S. a vetvy piriform fossa (M. S. – čeľustná prínosová dutina, F. S. – čelová prínosová dutina, S. S. – čuchová prínosová dutina).

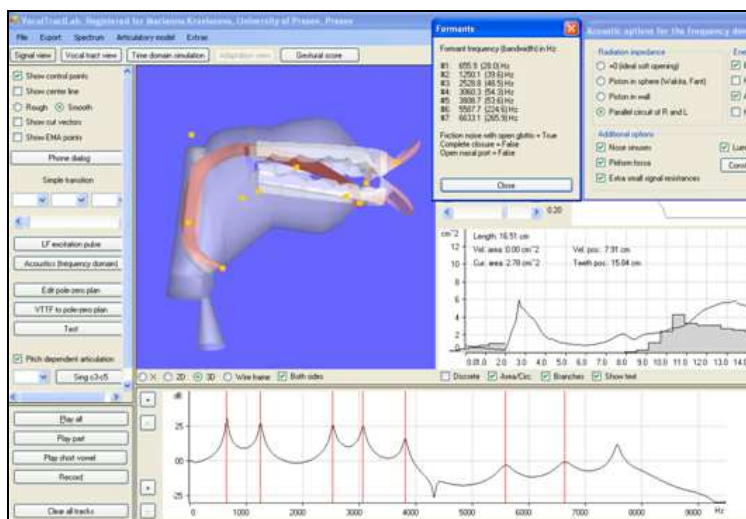
V tabuľke 14 sa nachádzajú hodnoty formantov vygenerovanej hlásky *a* bez spoluúčasti prínosových dutín, so zapojením prínosových dutín a zapojením aj dutiny piriform fossa (p. f.). Po zapojení prínosovej dutiny do vokálneho traktu pri samohláske *a* sluchom nevnímame zmeny. Hodnoty formantov sú rovnaké (pozri tab. 14). Ak vstupuje piriform fossa do vokálneho traktu ako jeho vedľajšia vetva, pri generovaní samohlásky *a*, spôsobuje výrazné zníženie hodnôt formantov F1 až F5. V našom experimente hodnota F1 poklesla o 7 % , F5 až o 11 %. V LPC spektre je možné pozorovať v oblasti frekvencie 4 kHz výrazné zmeny v spektrálnej obálke samohlásky *a*. Pôsobením dutiny p. f. vzniká medzi formantmi F5 a F6 antirezonancia, ktorá je zobrazená na obrázku 4 a vplýva na zníženie frekvencie týchto formantov. Hodnoty formantov F6 a F7 mierne vzrástli. Zmeny v hodnotách formantov sme zaznamenali aj perцепčne. Všetci poslucháči evidovali zmenu zafarbenia hlasu. Hlas zapojením dutiny p. f. sa stal hlbší a menej jasný.

Formanty	Bez účasti [Hz]	Prínosové dutiny [Hz]	Piriform fossa (p. f.) [Hz]	Percentuálny podiel formantov (p. f. a bez účasti dutin) [%]
F1	704	709	656	7
F2	1302	1302	1250	4
F3	2686	2687	2529	6
F4	3196	3199	3060	4
F5	4320	4320	3809	11
F6	5562	5562	5588	0,5
F7	6612	6612	6633	0,3

Tab. 14. Hodnoty formantov samohlásky *a* bez účasti príslušných dutín k vokálnemu traktu, s účasťou prínosových dutín, s účasťou piriform fossa a percentuálny pomer poklesu/(nárastu) formantov.



Obr. 3. LPC spektrum samohlásky *a* s vyznačenými formantmi so spoluúčasťou prínosových dutín.



Obr. 4. LPC spektrum samohlásky *a* s vyznačenými formantmi so spoluúčasťou prínosových dutín a dutiny pririform fossa.

Vygenerovanú slovenskú samohlásku *a* sme syntetizovali s rôznymi dĺžkami vokálneho traktu. Pre ľudí, ktorí využívajú svoj hlas profesionálne, môžu aj minimálne zmeny vo farbe ich hlasu znamenať veľké problémy. Ide o spevákov, moderátorov, hercov, kde aj najmenšia zmena zafarbenia hlasu môže mať vplyv na ich profesionálny život. Klinické zákroky na prínosových dutinách predstavujú zmenšenie týchto dutín a teda aj zníženie rezonančného vplyvu prínosových dutín na farbu hlasu. V rôznych najmä foniatricky orientovaných publikáciách, kde sú uvedené experimentálne laboratórne testy, je uvádzaný významný vplyv prínosových dutín na rezonančný systém (Masuda, 1992; Dang – Honda, 1994).

3 Dosiahnuté výsledky

Experimentálnym výskumom sme potvrdili, že artikulačnou syntézou pomocou 3D modelu vokálneho traktu možno upravovať artikulačné orgány spolupodieľajúce sa na modifikácii rečového signálu. Úprava tohto ústrojenstva vplýva aj na farbu hlasu syntetizovanej hlásky. Výskum sme vykonávali na všetkých slovenských samohláskach, v tomto príspevku je zaznamenané iba skúmanie samohlásky *a*. Výsledky, ktoré sme dosiahli, sú zhrnuté v tejto kapitole.

Prvou úlohou bolo programovo nastavovať plochu priereзов artikulačnej dutiny od polohy hlasiviek až po ústie pier a percepčne zistiť, ako sa táto zmena ústnej dutiny prejaví na farbe hlasu generovaných slovenských samohlások. Pretože sme nastavovali viac parametrov, výsledky, ktoré sme získali, opíšeme teraz podrobnejšie. Zväčšovanie ústneho otvoru spôsobuje nárast všetkých formantov pri generovaní samohlásky *a*, zmenšovanie prierezu ústneho otvoru sa prejavuje zmenou farby generovanej slovenskej samohlásky *a* jej prehĺbovaním. Otváranie perného otvoru rozjasňuje jej farbu. Vyšpúlenie pier sa prejavuje zmenšovaním prierezu plochy perného otvoru a výrazným ovplyvňovaním farby hlasu syntetizovanej samohlásky *a*. Akusticky sa tento jav zobrazuje znižovaním hodnôt formantov. Zmenšovanie čelústneho uhla medzi dolnou a hornou sánkou, spôsobuje znižovanie hodnôt prvého formantu F1. Hodnoty formantu F2 sa menia iba minimálne. Hodnoty vyšších formantov približovaním čelústí stúpajú. Zmenšovanie čelústneho uhla sa per-

cepečne prejavuje prehlbovaním farby generovanej samohlásky. Pohyb sánky v horizontálnom smere zľava doprava spôsobuje prehlbovanie farby generovanej samohlásky *a*, stáva sa menej jasnou. Akusticky sa tento pohyb prejaví znižovaním hodnôt formantov F1 až F6. Pohybom sánky vo vertikálnom smere je ovplyvnená percepcne zmenšovaním jasnosti tónu zmenšovaním vertikálnej vzdialenosti čelustí. Spoluúčasť nosovej dutiny výrazne vplýva aj na farbu hlasu generovaných slovenských samohlások. V slovenčine nemáme nosové samohlásky a spolupôsobenie nosovej dutiny na ich tvorbe percepcne vnímame ako huhňavosť, resp. nosovosť. Akusticky je tento jav zaznamenaný existenciou tzv. nosových formantov, ktoré vznikajú rezonanciou nosovej dutiny. Najnižšie nosové formanty sa nachádzajú vo frekvenčnej oblasti 350 Hz. Jazyk, ako najpohyblivejší orgán v ústnej dutine, najviac vplýva na artikuláciu jednotlivých hlások. Jeho pohyb v ústnej dutine sa odráža na oboch zložkách farby hlasu. Zmena polohy strednej časti jazyka v horizontálnom smere mení aj samotnú generovanú samohlásku na inú, t. j. mení invariantnú zložku farby hlasu. Akusticky sa to prejavuje výraznou zmenou hodnôt prvých dvoch formantov F1 (poklesom) a F2 (stúpnutím). Pohyb strednej časti jazyka vo vertikálnom smere mení veľkosť prierezu od jazyka k hornej stene ústnej dutiny. Zmenšovanie tejto plochy sa percepcne prejavuje hlbšou farbou hlásky. Aj konček jazyka sa v ústnej dutine môže pohybovať vo vodorovnom aj zvislom smere. Zmenšovanie prierezu plochy, ktorá je ovplyvnená pohybom konca jazyka vo vodorovnom smere sa prejavuje pri generovaní samohlásky *a* zmenšovaním jasnosti a postupným prehlbovaním vznikajúcej hlásky. Pohyb končeka jazyka vo vertikálnom smere zdola nahor znamená pre samohlásku *a* zvyšovanie hodnôt vyšších formantov, ale zároveň aj zmenšovanie plochy prierezu, čo sa prejaví hlbšou farbou hlasu. Posun chrčta jazyka v horizontálnom smere k ústnemu otvoru, ani posun chrčta jazyka vo vertikálnom smere zdola nahor nespôsobuje zmenu vo farbe hlasu samohlásky *a*. Pohyb môže vykonávať aj koreň jazyka takisto v oboch smeroch. Pohybom koreňa jazyka v horizontálnom smere sa zväčšuje prierez príslušnej plochy, čo sa percepcne prejavuje zvyšovaním jasnosti generovanej samohlásky. Pohybom koreňa vo vertikálnom smere sa zmenšuje prierez príslušnej plochy ústnej dutiny, čo môžeme percepcne vnímať hlbšou farbou samohlásky *a*.

Druhá úloha súvisela s overením, či sa zmena dĺžky trubice prejaví na zmene farby hlasu. Experimentálne sme zistili, že predlžovaním dĺžky vokálneho traktu dochádza k znižovaniu hodnôt všetkých formantov a tým aj k znižovaniu (prehlbovaniu) hlasu generovanej samohlásky. Tento záver súvisí aj s poznatkami získanými z odbornej literatúry – dĺžka vokálneho traktu je u žien kratšia ako u mužov a mužský hlas je hlbší ako ženský, a so zmenou základného tónu F0 a veľkosťou hlasiviek.

Poslednou úlohou bolo skúmanie spoluúčasti prínosových dutín a dutín, ktoré tvoria vedľajšie vetvy vokálneho traktu na farbe hlasu. Použitím daného programu na syntézu reči sme percepčne ani akusticky nezaznamenali zmenu vo farbe hlasu zapojením prínosných dutín do vokálneho traktu. Hodnoty formantov sa menili iba minimálne a neprejavili sa zmenou farby hlasu. Ak do vokálneho traktu zapojíme aj dutinu piriform fossa, ktorá tvorí jeho vedľajšiu vetvu, akusticky zaznamenávame výrazné zníženie hodnôt formantov F1 až F6. V oblasti frekvencie 4 kHz v spektrálnej obálke vytvárajú samohlásky pozorujeme výrazné zmeny, medzi formantmi F5 a F6 vzniká antirezonancia, ktorá sa percepčne vníma hlbším a menej jasným hlasom. Táto zmena hlasu sa prejavuje významnejšie pri kratších vokálnych traktoch a predných a prostredných samohláskach.

Na farbu hlasu vplýva okrem okamžitej polohy orgánov nachádzajúcich sa vo vokálnom trakte aj ich celkový zdravotný stav. Organické alebo funkčné poruchy artikulátorov sa odzrkadľujú na výslednom rečovom akte a výrazne, najmä negatívne, ovplyvňujú komunikačný proces.

Záver

Štúdium ľudského hlasu je jedným z interdisciplinárnych odvetví, kde sa vyžaduje potreba spolupráce odborníkov rôznych profesií: fyziikov, lingvistov, lekárov (foniatrov), biológov, technikov, hlasových pedagógov a ďalších odborníkov.

Štúdium ľudskej reči, v našom prípade štúdium farby hlasu – jeho invariantnej, ale zvlášť variantnej zložky, je dôležitý z viacerých rovín. V procese komunikácie plní iba druhoradú, pre komunikáciu menej významnú funkciu, ale pre oblasti foniatrie, logopédie, masmédií a ďalších odvetví má práve variantná zložka timbru nezastupiteľnú úlohu.

Výsledky výskumu akustických vlastností timbru dokážu v logopédii pomôcť riešiť problémy, najmä u detí s výslovnostnými ťažkosťami. Skúmaním akustických vlastností sa dá zistiť poloha orgánov zúčastňujúcich sa na tvorbe reči a korigovať nesprávna výslovnosť alebo napomáhať k odstraňovaniu vplyvu organických, resp. funkčných porúch hlasu.

Uplatnenie výskumu farby hlasu môžeme pozorovať aj v odvetviach s technickým zameraním. Individuálna farba hlasu dobrým východiskom v riešení jedného z problémov komunikácie človek – stroj a to rozpoznávanie a identifikácia hovoriaceho.

Nezastupiteľnú úlohu zohráva výskum timbru pre oblasť masmédií, kde plní významnú, najmä estetickú funkciu. Je prirodzené, že príťažlivé hlasy moderátorov, redaktorov, všeobecnejšie účinkujúcich v rozhlasoch a televíziách sú predpokladom zvyšovania záujmu poslucháčov. Dôsledky sa môžu prejaviť nielen v spravodajskej sfére, ale aj šírení umeleckých, náučných, spoločenských a kultúrnych hodnôt v prospech občanov národa, ktorému daná reč patrí.

Zoznam bibliografických odkazov

- BIRKHOLZ, P. – JACKEL, D.: *A three-dimensional model of the vocal tract for speech synthesis*. In: Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences. Barcelona Spain, 2003, s. 2597 – 2600.
- BIRKHOLZ, P.: *Short manual for the software TractSyn*. [online]. 2004. [cit. 2009-08-12]. Dostupné na internete <<http://vocaltractlab.de>>.
- BIRKHOLZ, P.: *3D-Artikulatorische Sprachsynthese*: dissertation. Rostock, Der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, Der Universität Rostock, 2005. 161 s.
- DANG, J. – HONDA, K.: *Morphological and Acoustical Analysis of the Nasal and the Paranasal Cavities*. In: Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 96. No. 4, 1994, s. 2088 – 2100.
- DANG, J. – HONDA, K.: *Acoustic Characteristics of the Piriform Fossa in Models and Humans*. In: Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 101. No. 1, 1997, s. 456 – 465.
- DRŠATA, J. a kolektív: *Foniatric – Hlas*. Havlíčkův Brod, nakladatelství Tobiáš 2011. 321 s.
- FANT, G. – LILJENCRAFTS, J. – LIN, Q.: *A four-parameter model of glottal flow*. In: STL-QPSR. Vol. 26. No. 4, 1985, s. 1 – 13.

- FRIČ, M. – OTČENÁŠEK, Z. – SYROVÝ, V.: *Akustika hlasu*. In: Sborník abstrakt a príspevků Umělecký hlas 2010. Praha, Nakladatelství Akademie múzických umění 2010, s. 50 – 63. ISBN 987-80-7331-170-4.
- FUJITA, S. – HONDA, K.: *An Experimental Study of Acoustic Characteristics of Hypopharyngeal Cavities Using Vocal Tract Solid Models*. In: *Acoustical Science and Technology*. Vol. 26. No. 4, 2005, s. 353 – 357.
- KRÁČ, Á. – SABOL, J.: *Fonetika a fonológia*. Bratislava, Slovenské pedagogické nakladateľstvo 1989. 388 s.
- KRAVIAROVÁ, M.: *Personálne charakteristiky reči zisťované resyntézou*. 5. študentská vedecká konferencia. Zborník príspevkov. [online]. Prešov, Prešovská univerzita v Prešove 2010, s. 683 – 688. [cit. 2011-05-04]. Dostupné na internete: <<http://www.pulib.sk/elpub2/FF/Chovanec1/index.html>>.
- KRÖGER, B. J. – BIRKHOLZ, P.: *A gesture-based concept for speech movement control in articulatory speech synthesis*. In: Esposito A, Faundez-Zanuy M, Keller E, Marinaro M. (eds.) *Verbal and Nonverbal Communication Behaviours*, LNAI 4775 (Springer Verlag, Berlin), 2007, s. 174 – 189.
- KUČERA, M. – FRIČ, M. – HALÍŘ, M.: *Praktický kurz hlasové rehabilitace a reedukace*. Opočno 2010. 67 s.
- MAEDA, S.: *The Role of the Sinus Cavities in the Production of Nasal Vowels*. In: *Proceedings of the IEEE International Conference of Acoustics, Speech, Signal Processing*, Bd. 2, 1982, s. 911 – 914.
- MASUDA, S.: *Role of the maxillary sinus as a resonant cavity*. In: *Journal of the Otolaryng. Jpn.* 1992, s. 95 – 70.
- MERMELSTEIN, P.: *Articulatory Model for the Study of Speech Production*. In: *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 53. No. 4, 1973, s. 1070 – 1082.
- SABOL, J.: *Frekvencia hlások v jazyku súčasnej slovenskej poézie*. In: *Jazykovedný časopis* 17, 1966, s. 13 – 25.
- SABOL, J. – ZIMMERMANN, J.: *Akustický signál – semióza – komunikácia*. *Acta Facultatis Philosophicae Universitatis Prešovensis. Monographia* 51 (AFPh UP99/181). Prešov, Prešovská univerzita v Prešove, Filozofická fakulta 2002. 144 s.
- SABOL, J. – ZIMMERMANN, J.: *Základy akustickej fonetiky*. 3. vyd. Košice, Rektorát Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach 1986. 105 s.
- SCHULZOVÁ, O.: *Úvod do fonetiky slovenčiny*. Bratislava, Slovenské pedagogické nakladateľstvo 1970. 134 s.
- TEPPER, G. et al.: *Effects of Sinus Lifting on Voice Quality*. In: *Clin. Oral Impl. Res.* Vol. 14, 2003, s. 767 – 774.

- VAMPOLA, T.: *Modelování akustických vlastností poškozeného vokálního traktu člověka se zaměřením na predikci změny hlasové kvality*: habilitačná práca. Praha, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní 2006. 24 s.
- ZIMMERMANN, J.: *Spektrálny obraz farby hlasu*. In: Kapitoly z fonetiky a fonologie slovanských jazyků. Příspěvky z pracovního vědeckého setkání na XVI. zasedání Komise pro fonetiku a fonologii slovanských jazyků při Mezinárodním komitétu slavistů. Praha 21. – 22. 10. 2005. Ed. Z. Palková, J. Janoušková. Praha, Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta 2006, s. 33 – 39.
- ZIMMERMANN, J.: *Spektrografická a škálografická analýza akustického řečového signálu*. Prešov, Náuka 2002. 176 s.

Acoustic characteristics of timbre investigated by articulatory synthesis

Resumé

The study is a continuation of the work "Acoustic parameters of timbre" and deals with the possibilities of experimental investigation of voice timbre using 3D simulator articulatory tract, as articulatory synthesis achieves a high quality synthesized speech signal. Timbre plays an essential role in the modern communication world. By detailed investigation of shape and size of 3D articulatory model, location of articulatory organs, the consequences of changes of the introduced attributes to formant structure of the speech signal of Slovak vowel as well as to the acoustic perception of timbre have been proven.

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu Dovybudovanie lingvokulturologického a prekladateľsko-tlmočnického centra, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja



Ing. Marianna Kraviarová, PhD.

Inštitút slovakistiky, všeobecnej jazykovedy
a masmediálnych štúdií
Filozofická fakulta PU v Prešove
Ul. 17. novembra 1, 080 78 Prešov

kraviaro@unipo.sk