

Anita Lorenc*, ** Robert Wielgat***

* Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

** Uniwersytet Warszawski

anita.lorenc@uw.edu.pl

*** Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Tarnów

rwielgat@poczta.onet.pl

Wewnątrzosobnicza zmienność położenia narządów artykulacyjnych podczas wymowy wybranych samogłosek polskich

Intraspeaker variability of speech articulators position during pronunciation of selected Polish vowels

Wprowadzenie

Artykulografia elektromagnetyczna (EMA) jest techniką stosunkowo nową, która pojawiła się w fonetycznych badaniach instrumentalnych pod koniec XX wieku¹. Metoda ta, dzięki zastosowanej technologii, pozwala nagrywać, przechowywać, prezentować i oceniać ruchy artykulatorów (języka, warg, żuchwy, podniebienia miękkiego) w trójwymiarowej przestrzeni w czasie rzeczywistym – podczas realizacji różnych dźwięków mowy, w tym samogłosek. Artykulacje samogłoskowe różnych

¹ J. S. Perkell, M. H. Cohen, M.A. Svirsky, M.L. Matthies, I. Garabieta, and M.T. Jackson, *Electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech articulatory movements*, "The Journal of the Acoustic Society of America" 1992, 6, s. 3078-3096. J. Beskow, O. Engwall, B. Granström, *Simultaneous measurements of facial and intraoral articulation*, "Proceedings of Fonetik" 2003, s. 57-60.

języków świata należą do jednych z najlepiej opisanych w badaniach fonetycznych. W instrumentalnych badaniach samogłosek z zastosowaniem artykulografii elektromagnetycznej najczęściej oceniane jest położenie języka podczas artykulacji², zależności istniejące pomiędzy ruchami języka i warg³, czy języka i zuchwy⁴. Pod uwagę brane są iloczyn, amplituda i prędkość ruchów wymienionych narządów mowy⁵, zależność artykulacji od kontekstu⁶, ale też koordynacja pomiędzy gestami artykulacyjnymi oraz wysokością tonu samogłosek⁷. Samogłoski polskie jak dotąd nie były opisywane z wykorzystaniem tej metody.

Na potrzeby niniejszego artykułu⁸ analizą objęto realizacje polskich samogłosek ustnych i nosowych (nazalizowanych)⁹ zapisywanych za pomocą liter <e>, <ę>.

² P. Hoole, B. Kühnert, *Patterns of lingual variability in German vowel production*, Proceedings XIIIth Int. Conf. Phon. Sci., Stockholm 1995, 2, s. 442-445.

³ J. Frid, S. Schötz, A. Löfqvist, „South Swedish diphthongisation: an articulographic and acoustic study of /u:/ in the Malmöhus dialect”, „Proceedings of Fonetik”, 2012, s. 85-88.

⁴ P. Hoole, B. Kühnert, *Tongue-jaw coordination in German vowel production*, Proceedings of the 1st ESCA tutorial and research workshop on Speech Production Modelling/4th Speech Production Seminar, Autrans 1996, s. 97-100. J.A. Shaw, W. Chen, M.I. Proctor, D. Derrick, E. Dakhoul, *On the inter-dependence of tonal and vocalic production goals in Chinese*, 10th ISSP, 5-8 May, Cologne 2014, s. 395-398.

⁵ P. Hoole, C. Mooshammer, H.G. Tillmann, *Kinematic analysis of vowel production in German*, Proc. ICSLP, Yokohama 1994, s. 53-56.

⁶ P. Hoole, B. Kühnert, *Patterns of lingual variability in German vowel production*, op. cit.

⁷ J.A. Shaw, W. Chen, M.I. Proctor, D. Derrick, E. Dakhoul, *On the inter-dependence of tonal and vocalic production goals in Chinese*, op. cit. A. Stella, M. Vanrell, M. Iraci, P. Prieto, B.G. Fivela, *Intergestural coordination between tonal and oral gestures in Catalan, Italian and Spanish*, 10th ISSP, 5-8 May, Cologne 2014, s. 417-420.

⁸ Badania opisane w niniejszym artykule przeprowadzono w ramach projektu naukowo badawczego pt. „Współczesna wymowa polska. Badanie z wykorzystaniem trójwymiarowej artykulografii elektromagnetycznej” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/05/E/HS2/03770 i realizowanego pod kierownictwem A. Lorenc.

⁹ Termin „nosowy” (ang. *nasal*) zazwyczaj używany jest w odniesieniu do spółgłosek, w których artykulacji powietrze wydostaje się na zewnątrz wyłącznie przez nos. P. Roach, *Glossary – a Little Encyclopaedia of Phonetics*, 2011, [na:] <http://www.peterroach.net/glossary.html> (20.12.2016). Aby to było możliwe, muszą zaistnieć dwie czynności artykulacyjne – obniżenie podniebienia miękkiego pozwalające na przepływ powietrza przez nos oraz uformowanie zwarcia w jamie ustnej zapobiegające wydostawaniu się powietrza przez usta. W wypadku samogłosek mówi się o ich nazalizacji (ang. *vowel nasalization*). Jest to taka realizacja tych segmentów, podczas której podniebienie miękkie jest opuszczone i tor podniebienno-gardłowy jest otwarty, dzięki czemu jama nosowa jest połączona z traktem gardłowo-ustnym, tworząc z nim układ rezonansowy. J. Yuan, M. Liberman, *Automatic measurement and comparison of vowel nasalization across languages*, Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS), 17-21 August, Hong Kong 2011, s. 2244-2247. X. Niu, 2008, *Measurement, analysis, and detection of nasalization in speech*, Student Scholar Archive, Paper 305 [rozprawa doktorska]. Inaczej objaśnia te terminy L. Dukiewicz, według której samogłoski nosowe to te o nosowości niezależnej od kontekstu, a zanalizowane cechuje nosowość zależna od kontekstu.

<o> oraz <a>. W zapisie fonetycznym polskich samogłosek nosowych zastosowano odpowiednio znaki [ɛ̃], [ɔ̃]¹⁰, rezygnując tym samym ze szczegółowej transkrypcji odzwierciedlającej ich złożoną, polisegmentalną artykulację, potwierdzoną w licznych badaniach fonetyczno-instrumentalnych¹¹. Szczegółowy zapis fonetyczny wielosegmentalnej struktury polskich samogłosek nosowych i związane z tym rozstrzygnięcia wykraczają poza obszar zainteresowań niniejszego opracowania, temat ten niewątpliwie mogłby stanowić przedmiot osobnego artykułu.

W świetle fonetycznych klasyfikacji artykulacyjnych samogłoski [ɛ] oraz [ɛ̃] opisywane są jako¹²:

- przednie – ze względu na ruchy języka w płaszczyźnie poziomej,
- średnie (średnioniskie) – ze względu na ruchy języka w płaszczyźnie pionowej,
- spłaszczone (niezaokrąglone) – ze względu na kształt warg,
- średnie (półotwarte) – ze względu na wielkość otworu wargowego,
- ustne [ɛ] lub nazalizowane [ɛ̃] – ze względu na układ podniebienia miękkiego,
- dźwięczne – ze względu na udział fałdów głosowych w artykulacji,
- otwarte – ze względu na stopień zbliżenia narządów mowy.

Z kolei samogłoski [ɔ] oraz [ɔ̃] w świetle tych samych klasyfikacji opisywane są jako:

- tylne – ze względu na ruchy języka w płaszczyźnie poziomej,
- średnie (średnioniskie) – ze względu na ruchy języka w płaszczyźnie pionowej,
- zaokrąglone – ze względu na kształt warg,

L. Dukiewicz, *Fonetyka*, [w:] *Gramatyka współczesnego języka polskiego. Fonetyka i fonologia*, red. H. Wróbel, Kraków 1995, s. 7-103. W niniejszym opracowaniu wymienione terminy, odnoszące się do artykulacji, będą stosowane zamiennie, gdyż w tradycji polskiego opisu fonetycznego termin „nosowy” używany jest nie tylko w odniesieniu do spółgłosek, lecz także do samogłosek.

¹⁰ Por. IPA (International Phonetic Association), *Handbook of the International Phonetic Association. A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*, Cambridge 1999.

¹¹ Por. np. B. Wierchowska, *Analiza eksperymentalno-fonetyczna polskich dźwięków nosowych*, Lublin 1966. L. Dukiewicz, *Polskie głoski nosowe. Analiza akustyczna*, Warszawa 1967. A. Lorenc, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, Warszawa 2016.

¹² Por. np. B. Ročławski, *Zarys fonologii, fonetyki, fonotaktyki i fonostatystyki współczesnego języka polskiego*, Gdańsk 1976. B. Wierchowska, *Fonetyka języka polskiego*, Wrocław 1980. L. Dukiewicz, *Fonetyka* [w:] *Gramatyka współczesnego języka polskiego. Fonetyka i fonologia*, op. cit. D. Ostaszewska, J. Tambor, *Fonetyka i fonologia współczesnego języka polskiego*, Warszawa 2001.

B. Dunaj, *Gramatyka współczesnego języka polskiego. Część 1. Fonetyka i fonologia*, Tarnów 2015.

- średnie (półotwarte) – ze względu na wielkość otworu wargowego,
- ustne [ɔ] lub nazalizowane [ɔ̃] – ze względu na układ podniebienia miękkiego,
- dźwięczne – ze względu na udział fałdów głosowych w artykulacji,
- otwarte – ze względu na stopień zbliżenia narządów mowy.

Najważniejsze różnice pomiędzy wszystkimi wymienionymi samogłoskami dotyczą zatem: ruchów języka w płaszczyźnie poziomej, dzieląc je na przednie i tylne, kształtu warg, w konsekwencji czego wyróżnia się samogłoski spłaszczone i zaokrąglone oraz położenia podniebienia miękkiego i związanego z tym podziału na samogłoski ustne i nosowe.

Niniejszy artykuł uzupełnia wyniki analizy artykulograficznej polskich samogłosek [ɛ], [ɛ̃], [ɔ], [ɔ̃] zaprezentowane w monografii A. Lorenc¹³. Kontynuując analizy wymienionych dźwięków mowy postanowiono sprawdzić istnienie zależności pomiędzy artykulacją nosową lub ustną a ruchami języka lub dolnej wargi i przedstawić je w odniesieniu do wewnątrzsobniczej zmienności położenia narządów mowy. W związku z tym porównywano realizacje samogłosek nosowych [ɛ̃], [ɔ̃] oraz odpowiadających im samogłosek ustnych [ɛ] i [ɔ], przyjmując za prymarny artykulator krytyczny przednią część języka w wypadku samogłosek przednich i jego tylną część w wypadku samogłosek tylnych. Pod uwagę wzięto również artykulację sekundarną, tj. ruch dolnej wargi. Analizowano ją w tej samej relacji czasowej co artykulację prymarną.

Procedura i narzędzia badawcze

Badaniami objęto 20 dorosłych użytkowników języka polskiego (10 kobiet i 10 mężczyzn)¹⁴, którzy w opinii zespołu ekspertów (fonetyków i logopedów) posługiwali się starannym stylem standardowej odmiany współczesnej polszczyzny i spełniali wyznaczone kryteria normy językowej i biologicznej¹⁵.

¹³ Por. A. Lorenc, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, op. cit.

¹⁴ Liczba ta wydaje się znacząca w kontekście podobnych badań z zastosowaniem artykulografii elektromagnetycznej prowadzonych na świecie, gdzie analizy prowadzone są na przykładzie nawet jednego mówcy. Por. np. R. Mullooly, *An electromagnetic articulograph study of alternating [ɹ] and the effects of stress on rhotic consonants*, Edinburgh 2004 [niepublikowana rozprawa doktorska].

¹⁵ Por. A. Lorenc, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, op. cit.

Wymowę wybranych samogłosek polskich analizowano w wyrazach dwusylabowych w pozycji akcentowanej w poprzedzającym sąsiedztwie spółgłoski wargowej¹⁶ [p] i następującym kontekście spółgłoski trącej [s]¹⁷, a zatem były to połączenia typu [p'Vs-]. Przewidziano trzykrotną realizację każdej badanej samogłoski. Samogłoski nosowe oceniano w trzykrotnych powtórzeniach tego samego wyrazu, gdyż nie znaleziono innych przykładów spełniających warunki założonej struktury fonetycznej (w niektórych przypadkach wykonywano dodatkowo analizę wyrazów z listy uzupełniającej – *węzeł* i *wąsy* – gdyż samogłoski nosowe występowały w nich w podobnym kontekście [v'Vs-]). Artykulację samogłosek nosowych porównywano do realizacji odpowiednich samogłosek ustnych – [ɛ] lub [ɔ]. W Tabeli 1 zamieszczono wyrazy wchodzące w skład listy służącej do oceny podstawowych wariantów samogłoskowych, których realizacja rozpatrywana jest w dalszej części analizy. Litery reprezentujące badane samogłoski pogrubiono.

Tabela 1.

Lista wyrazowa służąca do oceny podstawowych wariantów samogłoskowych
(w zapisie ortograficznym)

Wyraz		
<i>pesel</i>	<i>peska</i>	<i>pesto</i>
<i>pęset</i>	<i>pęset</i>	<i>pęset</i>
<i>posag</i>	<i>posag</i>	<i>postrzał</i>
<i>pąsy</i>	<i>pąsy</i>	<i>pąsy</i>

Źródło: opracowanie własne

Badania artykulacyjne przeprowadzono rejestrując w sposób synchroniczny kilka typów sygnałów: artykulograficzny, wizyjny i audio¹⁸. Wykorzystano w tym

¹⁶ Mając świadomość fonetycznych procesów antycypacyjnych i decydując się na lewostronny kontekst spółgłosek wargowych zakładano, iż jeżeli w czasie ich trwania pojawią się ruchy języka, będą one właściwe dla następującej samogłoski (zatem sąsiedztwo spółgłoski wargowej powinno uwydatnić ruchy języka istotne dla artykulacji samogłosek, tym samym ułatwiając segmentację artykulacyjną i analizę odpowiadających im gestów).

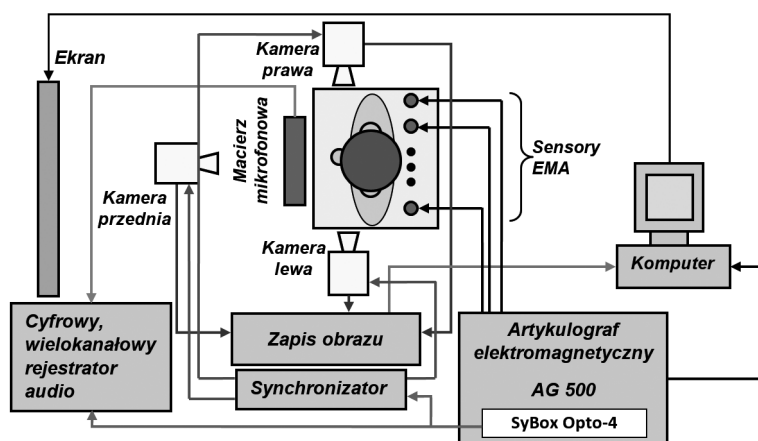
¹⁷ Wybór spółgłoski trącej był konieczny z uwagi na możliwości realizacyjne polskich samogłosek nosowych.

¹⁸ Por. też: J. Beskow, O. Engwall and B. Granström, *Simultaneous measurements of facial and intraoral articulation*, op. cit. H. Kjellström, O. Engwall, *Audiovisual to articulatory inversion*, „Speech

celu artykulograf firmy Carstens (model AG500), system wizyjny złożony z trzech szybkich kamer firmy Point Grey (Gazelle GZL-CL-22C5M-C) oraz samodzielnie zaprojektowany i zbudowany rejestrator audio wraz z 16-kanałową macierzą mikrofonową¹⁹. Budowę systemu pomiarowego²⁰ i zależności pomiędzy poszczególnymi jego elementami przedstawia Wykres 1:

Wykres 1.

Diagram blokowy system pomiarowego



Źródło: opracowanie własne

Nagrany materiał wyrazowy poddano segmentacji akustycznej w celu wyznaczenia granic analizowanych samogłosek. Opracowano ją w sposób manualny przy

Communication”, 51(3), s. 95-09, 2009. D. Schabus, M. Pucher, P. Hoole, The MMASCS multi-modal annotated synchronous corpus of audio, video, facial motion and tongue motion data of normal, fast and slow speech, Proceedings of the 9th Language Resources and Evaluation Conference, 26-31 May, Reykjavik 2014, s. 3411-3416.

¹⁹ D. Król, A. Lorenc, R. Świąciński, *Detecting Laterality and Nasality in Speech with the Use of a Multi-Channel Recorder*, Proceedings of the 40th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 5147-5151, 2015. A. Lorenc, D. Król, R. Świąciński, *Assessment of Sound Laterality with the Use of a Multi-Channel Recorder*, 18th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS), 10-15 August, Scotland, [na:] <http://www.icphs2015.info/pdfs/Papers/ICPHS0895.pdf>, 2015. (20.12.2016).

²⁰ Jego działanie szczegółowo opisano w artykule L. Mik, R. Wielgat, A. Lorenc, D. Król, R. Świąciński, R. Jędryka, *Multimodal Speech Data Acquisition with the Use of EMA Fast-speed Video Cameras and a Dedicated Microphone Array*, 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES), Łódź 2016.

użyciu programu *Praat*, przeznaczonego do analizy akustycznej sygnału mowy²¹, stosując zasady szczegółowo opisane w pracach Lorenc oraz Machač^a i Skarnitzla²². W dalszej kolejności przeprowadzono analizę gestów artykulacyjnych, wykorzystując w tym celu opracowane specjalnie na potrzeby prowadzonego eksperymentu oprogramowanie własne *phoneEMAtool*²³. Aplikacja umożliwia dynamiczną wizualizację trajektorii ruchu wszystkich sensorów (poza referencyjnymi) w osiach *X* (przód – tył) i *Z* (góra – dół) oraz analizę i ekstrakcję informacji związanych z położeniem poszczególnych sensorów w czasie we wszystkich osiach, z uwzględnieniem wychyleń kątowych φ i θ . Ponadto oprogramowanie pozwala na obliczenie prędkości ruchu sensorów w czasie oraz na wyznaczenie jej minimów i maksimów. Dodatkowo jest możliwe wyznaczenie 20-procentowego poziomu rosnących i malejących prędkości²⁴. Użycie tego kryterium pozwala uniknąć typowych problemów związanych z wyznaczaniem początków i końców ruchów. I tak np. podaje się, iż samogłoski z długą fazą ustaloną mogą nie mieć jednoznacznego punktu na osi zerowej prędkości, który rozdzieli ruch CV (spółgłoska–samogłoska) i VC (samogłoska–spółgłoska)²⁵. Wydłużony iloczyn niemal zerowej prędkości utrudnia precyzyjną lokację czasową jednoznacznego początku gestu artykulacyjnego na tego typu

²¹ P. Boersma, D. Weenink, *Praat: doing phonetics by computer* [program komputerowy, wersja 5.3.57], [na:] <http://www.praat.org/>, 2014 (20.12.2016).

²² A. Lorenc, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłosek bocznej*, op. cit. P. Machač, R. Skarnitzl, *Principles of phonetic segmentation*, Praha 2009.

²³ Ł. Mik, A. Lorenc, *phoneEMAtool* [program komputerowy] 2015.

²⁴ Próg prędkości wynoszący 20% – zarówno dla zbocza narastającego, jak i opadającego – przyjmowany jest w większości analiz artykulacyjnych z zastosowaniem systemów EMA. V. Bukmaier, J. Harrington, U. Reubold, F. Kleber, *Synchronic variation in the articulation and the acoustics of the Polish three-way place distinction in sibilants and its implications for diachronic change*, 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH), 14-18 September, Singapore 2014, s. 203-207. C. T. Best, C. Kroos, R.L. Bundgaard-Nielsen, B. Baker, M. Harvey, M. Tiede, L. Goldstein, *Articulatory basis of the apical/laminal distinction: tongue tip/body coordination in the Wubuy 4-way coronal stop contrast [w:] Proceedings of the 10th International Seminar on Speech Production (ISSP)*, 5-8 May, Cologne 2014, s. 33-36, 2014. J. Kim, S. Lee, S. Narayanan, *Estimation of the movement trajectories of non-crucial articulators based on the detection of crucial moments and physiological constraints*, 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH), 14-18 September, Singapore 2014, s. 163-168. P. Hoole, B. Kühnert, *Tongue-jaw coordination in German vowel production*, Proceedings of the 1st ESCA tutorial and research workshop on Speech Production Modelling/4th Speech Production Seminar, Autrans, s. 97-100, 1996. P. Hoole, C. Mooshammer, H.G. Tillmann, *Kinematic analysis of vowel production in German*, Proc. ICSLP 94, Yokohama 1994, s. 53-56.

²⁵ Por. P. Hoole, B. Kühnert, *Tongue-jaw coordination in German vowel production*, op. cit. P. Hoole, C. Mooshammer, H.G. Tillmann, *Kinematic analysis of vowel production in German*, op. cit.

continuum. Przyjęcie kryterium 20-procentowego progu prędkości pomaga ustalić taki punkt segmentacji na stosunkowo stromej, stąd czasowo dobrze zdefiniowanej, krzywej prędkości. Porównanie różnych wartości progowych prędkości²⁶ pozwoliło ustalić, iż wartość 20%, w odróżnieniu od innych uwzględnionych w ocenie, daje najlepsze i najbardziej stabilne wyniki. Opisane argumenty zdecydowały o tym, iż w aplikacji własnej również zdecydowano się na wyznaczenie prędkości sensorów z możliwością obliczenia jej wartości minimalnych, maksymalnych oraz 20-procentowego poziomu przyspieszeń i zwolnień na zboczach rosnących i malejących. Ponadto w celu zniwelowania niepożądanych zniekształceń zastosowano filtr Savitzky–Golay. Aby uzyskać bardziej precyzyjne wygładzanie, algorytm stosowano dwukrotnie.

Program *phoneEMAtool*²⁷ pozwala na jednoczesne i zsynchronizowane przetwarzanie trzech typów danych:

- a) audio (*.wav);
- b) EMA (*.txt);
- c) segmentacji akustycznej (*.TextGrid).

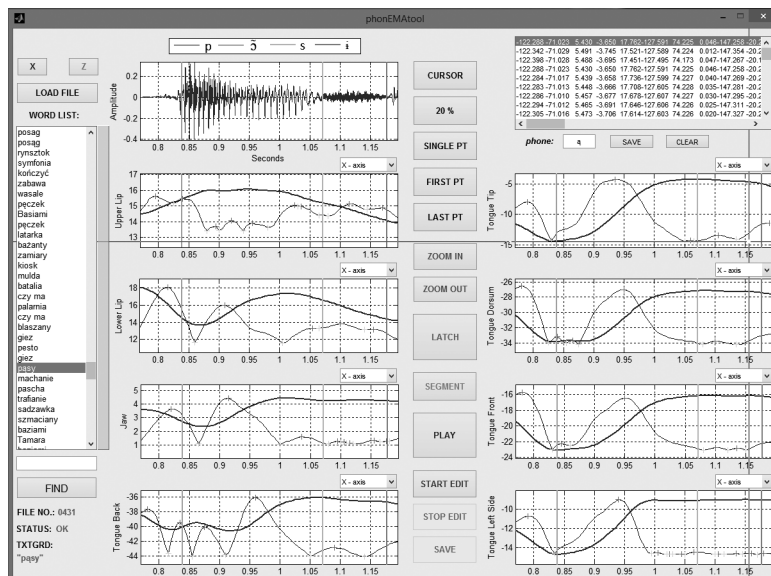
Fotografia 1 przedstawia okno robocze programu *phoneEMAtool* podczas przykładowej analizy danych.

²⁶ C. Kroos, *Eingipflige und zweigipflige Vokale des Deutschen? Kinematische Analyse der Gespanntheitsopposition im Standarddeutschen*, Hausarbeit zur Erlangung des Magistergrades, München 1996.

²⁷ Ł. Mik, A. Lorenc, *phoneEMAtool*, *op. cit.*

Fotografia 1.

Okno robocze programu phoneEMAtool podczas analizy gestów artykulacyjnych
w osi X w wyrazie pąsy (mówca PT_m, plik 431)



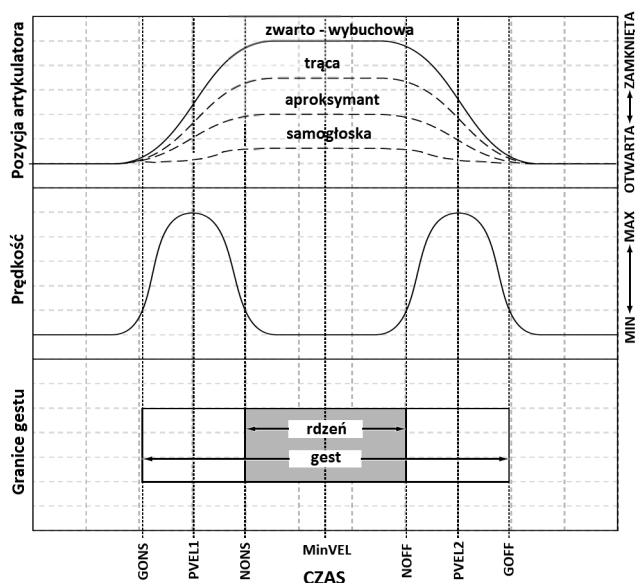
Źródło: opracowanie własne

Przyjętą hierarchię analizy gestów artykulacyjnych tworzonych przez ruchome narządy mowy oraz sposoby wyznaczania ich granic w odpowiednich punktach czasowych²⁸ ilustruje Wykres 2.

²⁸ Por. V. Bukmaier, J. Harrington, U. Reubold, F. Kleber, *Synchronic variation in the articulation and the acoustics of the Polish three-way place distinction in sibilants and its implications for diachronic change*, op. cit.

Wykres 2.

Granice gestów artykulacyjnych dla dźwięków mowy o różnym stopniu otwarcia (spółgłoski zwarto-wybuchowe, trące, aproksymanty, samogłoski) identyfikowane na podstawie profili prędkości sensorów artykulografu z wykorzystaniem programu *phoneEMAtool*



Źródło: opracowanie własne

Zaprezentowane w dolnej części wykresu 2 symbole służą do oznaczenia następujących granic gestów:

- a) GONS (ang. *gesture onset*) – początek gestu artykulacyjnego (początkowy, 20-procentowy próg PVEL1 na zboczu rosnącym);
- b) PVEL1 (ang. *peak velocity*) – szczyt prędkości w początkowej części gestu;
- c) NONS (ang. *nucleus onset*) – początek rdzenia gestu artykulacyjnego (kolejny, końcowy, 20-procentowy próg PVEL1 na zboczu malejącym: początek przewężenia);
- d) NOFF (ang. *nucleus offset*) – koniec rdzenia gestu artykulacyjnego (początkowy, 20-procentowy próg PVEL2 na zboczu rosnącym: koniec przewężenia);
- e) MinVEL (ang. *minimum velocity*) – minimalna prędkość w obrębie rdzenia gestu artykulacyjnego (pomiędzy NONS i NOFF);
- f) PVEL2 (ang. *peak velocity*) – szczyt prędkości w końcowej części gestu;

g) GOFF (ang. *gesture offset*) – koniec gestu artykulacyjnego (końcowy, 20-procentowy próg PVEL2 na zboczu malejącym).

Oprócz określenia i zdefiniowania składowych elementów dynamicznej analizy gestów artykulacyjnych ocena wymaga również ustalenia relewantnych elementów ich złożonej struktury oraz wskazania artykulatora, którego ruch odgrywa główną rolę w tworzeniu docelowych artykulacji. W publikacjach poświęconych tej problematyce określa się je jako tzw. artykulatory krytyczne (ang. *critical articulators*) lub kluczowe (ang. *crucial articulators*)²⁹.

Mimo że liczba artykulatorów kluczowych dla realizacji każdego fonemu może być większa niż jeden, zazwyczaj wybiera się spośród nich taki, który pełni funkcję prymarną. Istotne punkty czasowe pozostałych sekundarnych artykulatorów krytycznych mogą być ustalone na podstawie czasowej pozycji artykulatora prymarnego.

W analizie samogłosek polskich postanowiono sprawdzić istnienie zależności pomiędzy artykulacją nosową lub ustną a ruchami języka lub dolnej wargi. W związku z tym w analizie porównywano realizacje samogłosek tylnych, ustnej [ɔ] oraz nosowej [ɔ̃], przyjmując za prymarny artykulator krytyczny tylną część języka. Jako że są to samogłoski zaokrąglone pod uwagę wzięto również artykulację sekundarną – ruch dolnej wargi – analizując ją w tej samej relacji czasowej co artykulację prymarną. Oba gesty oceniano na podstawie zmiany położenia sensora tylnej części języka (TB) i dolnej wargi (LL) w osi poziomej (X), wiążąc je z cofaniem lub uprzednianiem masy języka oraz zaokrąglaniem i spłaszczaniem warg.

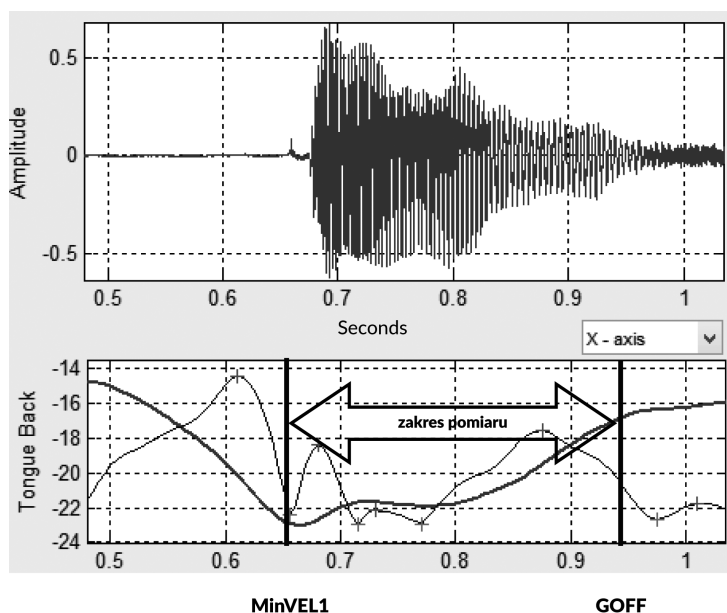
W analogiczny sposób porównywano realizacje samogłosek przednich spłaszczonych, [ɛ] oraz [ɛ̃], tyle że za prymarny artykulator krytyczny uznano przednią część języka, a artykulację sekundarną, podobnie jak w wypadku samogłosek tylnych, związane z ruchem dolnej wargi. Pomiary dotyczące prymarnego gestu artykulacyjnego wykonywano na podstawie zmiany położenia sensora przedniej części języka (TF) w osi poziomej (X). W tej samej relacji czasowej oceniano sekundarny gest artykulacyjny, ustalany na podstawie zmiany położenia sensora dolnej wargi (LL), również w osi X. Początkowy punkt pomiarowy ustalano w miejscu, w którym wystąpiła pierwsza prędkość minimalna (MinVEL1) odpowiadająca przyjęciu pierwszej skrajnej pozycji przez sensor przedniej (TF) lub tylnej (TB) części języka.

²⁹ Por. J. Kim, S. Lee, S. Narayanan, *Estimation of the movement trajectories of non-crucial articulators based on the detection of crucial moments and physiological constraints*, op. cit.

Gesty artykulacyjne wymienionych części języka pojawiały się jeszcze w trakcie segmentu zwarcia poprzedzającej spółgłoski [p] lub tuż po jej wybuchu. Ostatni punkt pomiarowy wyznaczano w końcowej części gestu artykulacyjnego (GOFF), w miejscu, w którym sensor artykulatora krytycznego osiągał 20-procentowy próg prędkości na zboczu malejącym. Koniec gestu artykulacyjnego pojawiał się zazwyczaj w końcowej części ocenianej samogłoski. Schemat pomiaru trajektorii ruchu tylnej części języka podczas realizacji samogłosek tylnych [ɔ] oraz [ɔ̃] ilustruje Wykres 3 (na przykładzie [ɔ̃]).

Wykres 3.

Oscylogram oraz trajektoria i prędkość ruchu sensora tylnej części języka (TB) w osi X (przód – tył) podczas realizacji samogłoski nosowej [ɔ̃] w wyrazie pąsy (mówca MK_f, plik 234)

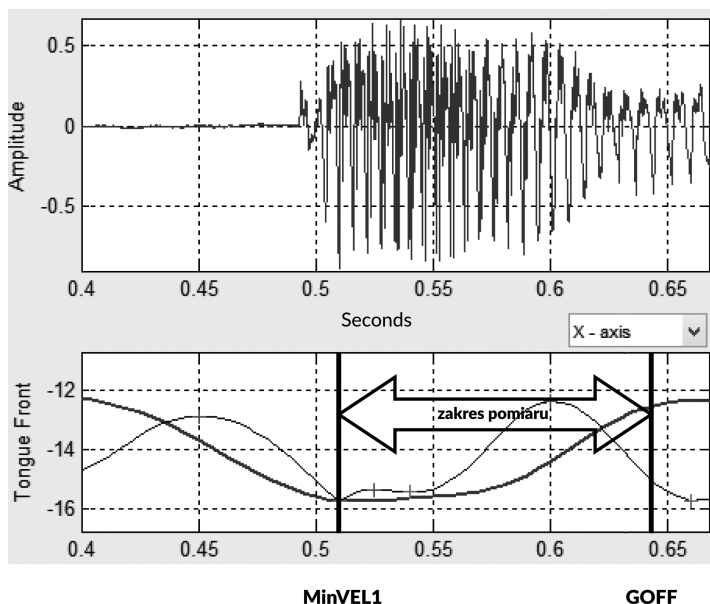


Źródło: opracowanie własne

Schemat pomiaru trajektorii ruchu przedniej części języka podczas realizacji samogłosek przednich [ɛ] oraz [ɛ̃] ilustruje Wykres 4 (na przykładzie [ɛ̃]).

Wykres 4.

Oscylogram oraz trajektoria i prędkość ruchu sensora przedniej części języka (TF)
w osi X (przód – tył) podczas realizacji samogłoski nosowej [ɛ̃]
w wyrazie pęset (mówca RD_m, plik 212)



Źródło: opracowanie własne

Wyniki

Jak już wspomniano we wstępie niniejszego artykułu, ocenie poddano wewnątrzsobniczą zmienność położenia wybranych sensorów rozmieszczonych na języku podczas wypowiadania samogłosek nosowych [ɛ̃], [ɔ̃] oraz odpowiadających im samogłosek ustnych [ɛ] i [ɔ]. Zmierzono położenia czujników począwszy od osiągnięcia przez nie pierwszej prędkości minimalnej (MinVel), związanej z przyjęciem przez język pozycji artykulacyjnej właściwej danej samogłosce, aż po koniec typowego dla niej gestu artykulacyjnego (GOFF). Pod uwagę wzięto również maksymalne i minimalne wychylenia analizowanych sensorów w osi X (kierunek przód-tył). Wyniki obliczeń zostały zaprezentowane w tabelach zamieszczonych poniżej.

Dane eksperymentalne były poddawane procedurze weryfikacji w celu eliminacji błędów grubych oraz nietypowych artykulacji głosek wg następującego algorytmu:

Wytypowanie odchyleń standardowych oraz rozrzutów dla poszczególnych mówców, których wartości leżą w odległości powyżej 2σ od średnich wartości odchyleń standardowych oraz rozrzutów. Średnie wartości były liczone osobno w grupie kobiet i osobno w grupie mężczyzn.

Sprawdzenie wytypowanych odchyleń standardowych lub rozrzutu pod kątem danych odstających. Jeżeli najbardziej odstająca wartość położenia sensora w osi X, składająca się na obliczanie wytypowanego odchylenia standardowego, znajdowała się w odległości powyżej 2σ od średniej wartości położenia pozostałych czujników, wówczas była usuwana. W pozostałych przypadkach pozostawała i wartość wytypowanego odchylenia standardowego lub rozrzutu nie ulegała zmianie.

Wytypowane wartości odchyleń standardowych lub rozrzutów dla liczebności próby równej 2 nie były brane pod uwagę w obliczeniach.

III.1. Zmienność wewnątrzosobnicza

Zmienność wewnątrzosobnicza była mierzona jako odchylenie standardowe oraz rozstęp dla położenia sensorów artykulografu w osi X (kierunek przód-tył) dla pierwszej prędkości minimalnej i końca gestu artykulacyjnego oraz dla maksymalnego i minimalnego wychylenia czujników podczas wypowiedzania analizowanych samogłosek.

III.1.2. Samogłoski przednie [ɛ] i [ẽ]

Jak wcześniej wspomniano w ocenie artykulacji samogłosek [ẽ] oraz [ɛ] pod uwagę wzięto położenie sensorów przedniej części języka (TF) oraz dolnej wargi (LL). W Tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów samogłoski ustnej [ɛ].

W Tabeli 1 można zaobserwować pewne tendencje dla samogłoski ustnej [ɛ]:

- średnia zmienność wewnątrzosobnicza położenia sensorów przedniej części języka (TF) jest większa u kobiet w porównaniu z mężczyznami, natomiast zmienność położenia czujnika dolnej wargi (LL) jest większa u mężczyzn niż u kobiet,
- na początku samogłoski (w momencie, gdy sensor TF osiągnął pierwszą prędkość minimalną MinVel) zmienność wewnątrzosobnicza położenia czuj-

nika dolnej wargi LL jest większa niż dla sensora przedniej części języka (TF).

- minimalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 0,06 mm, rozstęp 0,08 mm) zaobserwowano dla sensora przedniej części języka (TF) na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) w grupie mężczyzn,
- maksymalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 2,2 mm, rozstęp 4,1 mm) zaobserwowano dla sensora dolnej wargi (LL) na początku gestu artykulacyjnego (MinVel) w grupie kobiet.

Tabela 1.

Wyniki pomiarów położenia sensorów dolnej wargi (LL) oraz przedniej części języka (TF) w osi X (przód – tył) w momencie osiągnięcia pierwszej prędkości minimalnej (minVel) przez sensor TF oraz na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) samogłoski ustnej [ɛ]

Lp.	mówca	płeć	N	MinVel [LLx]			GOFF [LLx]			D	MinVel [TFx]			GOFF [TFx]			D
				X	S	R	X	S	R		X	S	R	X	S	R	
1	AO	k	4	31,4	0,9	1,9	34,2	0,7	1,3	2,8	6,3	0,5	1,0	9,4	0,4	0,7	3,1
2	AP	k	3	45,8	2,0	4,0	46,2	1,6	2,8	0,4	13,8	1,1	1,5	14,5	0,6	0,8	0,8
3	ES	k	2	63,8	1,6	2,3	64,6	0,7	1,0	0,8	36,4	0,5	0,8	38,2	0,8	1,1	1,8
4	KK	k	3	22,2	2,2	4,1	22,9	0,4	0,8	0,6	-7,0	0,4	0,9	-5,9	1,0	1,9	1,1
5	MJ	k	3	36,2	0,8	1,6	40,3	0,5	1,0	4,1	6,8	0,9	1,2	8,3	0,7	1,4	1,5
6	MK	k	4	27,1	0,9	1,9	28,9	1,2	2,4	1,8	6,0	0,8	1,8	8,5	0,9	1,9	2,5
7	MP	k	2	79,0	0,5	0,7	81,9	0,1	0,1	3,0	50,8	0,9	1,2	53,6	1,3	1,9	2,8
8	ZK	k	2	42,4	1,4	2,0	41,4	0,2	0,3	-0,9	12,7	1,2	1,7	14,9	2,6	3,6	2,2
średnia				43,5	1,3	2,3	45,1	0,7	1,2	1,6	16,2	0,7	1,2	18,1	0,8	1,4	1,9
mediana				39,3	1,2	1,9	40,9	0,6	1,0	1,3	6,8	0,8	1,2	9,4	0,8	1,4	1,8
odch. standardowe				19,3	0,6	1,2	19,5	0,5	1,0	1,7	20,2	0,2	0,4	20,5	0,3	0,5	0,9
minimum				22,2	0,5	0,7	22,9	0,1	0,1	-0,9	-7,0	0,4	0,8	-5,9	0,4	0,7	0,8
maksimum				79,0	2,2	4,1	81,9	1,6	2,8	4,1	50,8	1,1	1,8	53,6	1,3	1,9	3,1
1	JSk	m	2	38,2	1,6	2,3	39,1	1,1	1,5	0,9	7,5	0,1	0,2	8,6	0,4	0,6	1,1
2	LK	m	3	41,7	1,4	2,8	43,5	0,9	1,7	1,8	9,7	0,3	0,5	11,5	0,6	1,2	1,8
3	MN	m	3	13,4	2,0	4,0	14,4	0,4	0,8	1,0	-20,9	0,7	1,4	-17,4	1,4	2,6	3,5
4	PB	m	3	45,8	1,9	3,8	46,9	1,3	2,5	1,1	14,3	0,6	0,8	16,0	0,1	0,1	1,7
5	PT	m	3	16,3	0,9	1,7	12,7	0,7	1,3	-3,6	-19,5	0,5	0,9	-16,0	0,5	0,9	3,6
6	RD	m	2	21,7	1,4	2,0	21,0	1,3	1,8	-0,6	-18,4	2,6	3,6	-12,9	1,2	1,7	5,5
7	WB	m	2	32,2	0,1	0,2	34,2	1,9	2,7	2,1	7,8	0,5	0,7	8,3	0,2	0,3	0,5

średnia	29,9	1,3	2,4	30,3	1,1	1,8	0,4	-2,8	0,7	1,2	-0,3	0,6	1,0	2,5
mediana	32,2	1,4	2,3	34,2	1,1	1,7	1,0	7,5	0,5	0,8	8,3	0,5	0,9	1,8
odch. standardowe	12,9	0,7	1,3	14,1	0,5	0,7	2,0	15,9	0,8	1,2	14,4	0,5	0,9	1,7
minimum	13,4	0,1	0,2	12,7	0,4	0,8	-3,6	-20,9	0,1	0,2	-17,4	0,1	0,1	0,5
maksimum	45,8	2,0	4,0	46,9	1,9	2,7	2,1	14,3	2,6	3,6	16,0	1,4	2,6	5,5

Objaśnienie skrótów w tabeli: X – średnia arytmetyczna położenia czujnika w obrębie jednego mówcy; S – odchylenie standardowe położenia czujnika w obrębie jednego mówcy; R – rozstęp położenia czujnika w obrębie jednego mówcy; D – różnica średnich arytmetycznych dla początku (MinVel) i końca (GOFF) samogłoski

Wyniki pozostałych pomiarów zostały zaprezentowane w Tabelach 2-5. Dla większej zwięzłości i przejrzystości opisu w tabelach zrezygnowano z prezentowania danych dla poszczególnych mówców.

Dla samogłoski nosowej [ɛ] w odniesieniu do zmienności położenia sensorów na początku (MinVel) i końcu (GOFF) gestu artykulacyjnego można zauważyć następujące tendencje:

- większa jest zmienność wewnątrzsobnicza położenia czujnika dolnej wargi (LL) u kobiet niż u mężczyzn zarówno na początku jak i na końcu gestu artykulacyjnego,
- nie zaobserwowano istotnych różnic w zmienności wewnątrzsobniczej między kobietami i mężczyznami w związku z położeniami sensora przedniej części języka (TF),
- większą zmienność wewnątrzsobniczą (średnie odchylenie standardowe w granicach 0,8-1,1 mm) zaobserwowano na początku (MinVel) gestu artykulacyjnego w porównaniu z końcem (GOFF) gestu artykulacyjnego (średnie odchylenie standardowe w granicach 0,3-0,7 mm) zarówno dla czujnika dolnej wargi, jak i dla czujnika przedniej części języka,
- nie zaobserwowano istotnych różnic w zmienności wewnątrzsobniczej między położeniami czujników (LL) oraz (TF) zarówno na początku jak i na końcu gestu artykulacyjnego,
- minimalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 0,03 mm, rozstęp 0,04 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) na początku gestu artykulacyjnego (MinVel) w grupie mężczyzn,

- maksymalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 2,3 mm, rozstęp 4,8 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) na początku gestu artykulacyjnego (MinVel) w grupie kobiet.

Tabela 2.

Wyniki pomiarów położenia sensorów dolnej wargi (LL) oraz przedniej części języka (TF) w osi X (przód – tył) w momencie osiągnięcia pierwszej prędkości minimalnej (minVel) przez sensor TF oraz na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) samogłoski nosowej [ɛ]

		MinVel [LLx]			GOFF [LLx]			D	MinVel [TFx]			GOFF [TFx]			D
		X	S	R	X	S	R		X	S	R	X	S	R	
Kobiety	średnia	41,1	1,1	2,4	43,1	0,6	1,3	2,1	13,1	0,9	1,8	15,1	0,7	1,5	2,0
	mediana	36,5	0,8	2,0	40,2	0,6	1,1	2,3	6,5	0,9	1,9	10,3	0,6	1,2	2,6
	odch. stand.	21,9	0,7	1,5	21,7	0,3	0,6	1,7	22,2	0,4	0,8	21,4	0,3	0,8	2,3
	minimum	7,5	0,3	0,6	11,7	0,3	0,7	-0,6	-19,5	0,2	0,3	-16,1	0,2	0,5	-2,3
	maksimum	79,3	2,3	4,8	81,3	1,0	2,2	4,2	50,0	1,5	3,0	52,9	1,3	3,0	5,4
mężczyźni	średnia	37,6	0,8	1,7	39,9	0,3	0,6	2,4	5,4	1,1	2,4	7,4	0,6	1,2	1,9
	mediana	39,0	0,9	1,6	40,6	0,2	0,4	2,4	9,5	1,2	2,7	10,5	0,6	1,2	1,8
	odch. stand.	17,9	0,5	1,3	18,6	0,2	0,4	1,2	22,0	0,7	1,6	19,8	0,2	0,6	2,4
	minimum	13,4	0,0	0,0	15,8	0,0	0,1	0,7	-21,4	0,2	0,3	-16,9	0,3	0,4	-1,2
	maksimum	68,8	1,5	3,5	72,8	0,5	1,2	4,0	39,2	2,0	4,2	38,0	0,8	1,9	4,8

Objaśnienie skrótów w tabeli: jak w Tabeli 1.

W Tabeli 3 przedstawiono wyniki badania zmienności wewnątrzsobniczej położenia sensorów LL i TF dla ich minimalnych i maksymalnych wychyleń w kierunku X.

Tabela 3.

Wyniki pomiarów położenia sensorów dolnej wargi (LL) oraz przedniej części języka (TF) w osi X (przód – tył) dla minimalnego (min) i maksymalnego (max) wychylenia sensorów LL oraz TF w osi X dla samogłosek: ustnej [ɛ] oraz nosowej [ɛ̃]

			min [LLx]			max [LLx]			D	min [TFx]			max [TFx]			D
			X	S	R	X	S	R		X	S	R	X	S	R	
samogłoska ustna [ɛ]	kobiety	średnia	38,7	1,1	1,9	41,5	1,0	1,7	2,8	11,8	1,0	1,8	14,4	1,5	2,6	2,6
		mediana	33,6	1,0	1,6	37,3	0,9	1,7	2,9	6,3	0,8	1,2	10,8	1,3	1,9	2,5
		odch. stand.	22,8	0,5	1,0	22,7	0,6	1,1	0,8	21,1	0,7	1,4	20,9	0,8	1,5	1,2
		mini-mum	8,5	0,5	0,7	11,9	0,1	0,1	1,7	-19,6	0,4	0,7	-15,3	0,7	1,1	1,1
		maksi-mum	79,0	2,0	3,9	81,9	1,9	3,6	4,2	50,8	2,5	4,8	53,6	2,8	6,0	4,5
	mężczyźni	średnia	28,2	0,6	1,0	31,1	0,9	1,6	2,9	-0,2	0,4	0,8	2,0	0,3	0,7	2,2
		mediana	32,2	0,6	0,8	34,2	0,9	1,7	2,2	7,6	0,5	0,7	8,4	0,4	0,7	1,7
		odch. stand.	14,1	0,4	0,8	13,3	0,5	0,8	1,3	15,7	0,2	0,4	14,4	0,2	0,3	1,5
		mini-mum	11,0	0,1	0,1	14,6	0,4	0,5	2,1	-20,9	0,2	0,2	-16,7	0,1	0,2	0,5
		maksi-mum	44,8	1,1	2,2	46,9	1,9	2,7	5,3	14,3	0,7	1,4	16,0	0,6	1,2	4,2
samogłoska nosowa [ɛ̃]	kobiety	średnia	39,7	0,5	1,1	43,4	0,5	1,2	3,6	12,9	1,1	2,1	15,9	0,8	1,6	3,0
		mediana	37,0	0,5	1,1	41,7	0,4	1,0	4,0	8,4	0,9	2,0	11,5	0,8	1,4	2,7
		odch. stand.	21,0	0,3	0,5	20,4	0,3	0,7	1,5	20,8	0,7	1,3	20,5	0,4	0,8	1,6
		mini-mum	6,4	0,1	0,3	11,7	0,0	0,0	0,7	-20,3	0,0	0,1	-16,1	0,2	0,5	1,0
		maksi-mum	78,3	0,9	1,7	81,4	1,0	2,2	5,4	49,9	2,0	4,2	52,9	1,3	3,1	5,5
	mężczyźni	średnia	36,5	0,8	1,4	40,0	0,2	0,5	3,5	5,0	1,2	2,5	7,7	0,5	1,2	2,7
		mediana	35,9	0,7	1,4	40,7	0,2	0,3	3,2	9,0	1,3	2,4	10,7	0,7	1,4	2,1
		odch. stand.	18,4	0,4	0,7	18,6	0,2	0,4	0,9	21,7	0,5	1,2	20,3	0,3	0,8	1,6
		mini-mum	12,8	0,0	0,0	15,8	0,0	0,0	2,1	-21,4	0,6	0,8	-16,7	0,0	0,0	1,3
		maksi-mum	68,8	1,4	2,0	73,0	0,5	1,2	4,8	38,0	2,0	4,3	39,5	0,8	2,0	4,9

Objaśnienie skrótów w tabeli: jak w Tabeli 1.

W Tabeli 3 można zauważyć następujące zależności:

- w przypadku samogłoski ustnej [ɛ] zaobserwowano większą zmienność wewnątrzosobniczą w grupie kobiet w porównaniu z mężczyznami, natomiast w przypadku samogłoski nosowej [ɛ̃] większą zmienność wewnątrzosobniczą w grupie kobiet obserwowano jedynie na końcu gestu artykulacyjnego,
- w przypadku samogłoski nosowej [ɛ̃] większa zmienność wewnątrzosobnicza wystąpiła w przypadku minimalnego wychylenia czujników w porównaniu z wychyleniem maksymalnym,
- dla samogłoski ustnej [ɛ] minimalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 0,06 mm, rozstęp 0,09 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) dla maksymalnego wychylenia w kierunku X w grupie kobiet,
- dla samogłoski nosowej [ɛ̃] minimalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 0,007 mm, rozstęp 0,01 mm) zaobserwowano dla czujnika przedniej części języka (TF) dla maksymalnego wychylenia w kierunku X w grupie mężczyzn,
- dla samogłoski ustnej [ɛ] maksymalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 2,8 mm, rozstęp 6 mm) zaobserwowano dla czujnika przedniej części języka (TF) dla maksymalnego wychylenia w kierunku X w grupie kobiet,
- dla samogłoski nosowej [ɛ̃] maksymalną zmienność wewnątrzosobniczą (odchylenie standardowe 2 mm, rozstęp 4,3 mm) zaobserwowano dla czujnika przedniej części języka (TF) dla minimalnego wychylenia w kierunku X w grupie mężczyzn.

III.1.2. Samogłoski tylne [ɔ] i [ɔ̃]

W analizie artykulacyjnej samogłosek [ɔ] i [ɔ̃] uwzględniono położenie sensorów tylnej części języka (TB) oraz dolnej wargi (LL).

Tabela 4.

Wyniki pomiarów położenia sensorów dolnej wargi (LL) oraz przedniej części języka (TF) w osi X (przód – tył) w momencie osiągnięcia pierwszej prędkości minimalnej (minVel) przez sensor TF oraz na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) samogłosek: ustnej [ɔ] oraz nosowej [ɔ̃]

			MinVel [LLx]			GOFF [LLx]			D	MinVel [TBx]			GOFF [TBx]			D
			X	S	R	X	S	R		X	S	R	X	S	R	
samogłoska ustna [ɔ]	kobiety	średnia	42,3	0,5	0,9	43,0	0,5	0,9	0,8	-12,8	1,3	2,3	-6,6	0,6	1,2	6,2
		mediana	38,3	0,4	0,7	41,0	0,4	0,7	0,8	-19,5	1,0	2,0	-12,5	0,7	1,1	6,3
		odch. stand.	20,2	0,3	0,5	20,8	0,4	0,6	1,9	24,5	0,8	1,1	22,9	0,2	0,5	2,2
		mini-mum	13,6	0,2	0,3	14,3	0,2	0,3	-2,3	-44,3	0,6	0,8	-34,7	0,3	0,4	2,2
		maksi-mum	79,4	1,0	1,9	82,2	1,5	2,2	3,6	30,8	3,2	4,5	35,5	0,9	1,8	9,6
	mężczyźni	średnia	46,6	0,7	1,4	47,4	0,7	1,4	0,8	-14,9	0,9	1,7	-9,6	1,5	2,6	5,3
		mediana	44,1	0,7	1,3	44,3	0,9	1,6	1,0	-17,0	0,9	1,5	-12,9	1,4	2,7	5,7
		odch. stand.	26,2	0,1	0,3	26,4	0,3	0,6	0,9	25,7	0,6	1,1	25,0	0,9	1,3	1,5
		mini-mum	15,1	0,6	1,0	15,9	0,1	0,2	-0,9	-49,7	0,2	0,4	-41,8	0,7	1,4	3,7
		maksi-mum	80,3	0,9	1,7	81,4	1,0	1,7	1,8	21,6	1,8	3,3	27,5	3,2	4,5	8,0
samogłoska nosowa [ɔ̃]	kobiety	średnia	41,7	0,9	1,9	42,9	0,5	1,3	1,2	-13,3	1,1	2,5	-7,3	0,8	1,8	6,0
		mediana	37,7	0,7	2,0	41,2	0,6	1,3	1,3	-16,1	1,1	2,8	-9,0	0,8	1,9	6,0
		odch. stand.	20,2	0,4	0,8	20,9	0,3	0,8	1,4	23,3	0,3	0,9	21,6	0,4	0,8	2,4
		mini-mum	12,5	0,3	0,5	13,2	0,1	0,1	-1,8	-46,3	0,5	0,8	-36,3	0,3	0,6	2,4
		maksi-mum	80,2	1,8	2,9	82,3	0,8	2,6	3,5	30,5	1,6	3,5	35,2	1,3	2,8	10,0
	mężczyźni	średnia	36,5	0,8	1,7	38,1	0,5	1,1	1,6	-24,1	1,6	3,4	-18,8	1,3	2,4	5,2
		mediana	38,9	0,9	1,9	39,7	0,4	0,8	1,1	-18,9	1,3	2,5	-14,5	1,4	2,4	5,1
		odch. stand.	18,9	0,4	0,9	19,3	0,2	0,6	1,3	20,1	1,1	2,4	19,6	0,4	0,4	1,0
		mini-mum	13,9	0,2	0,2	16,9	0,3	0,5	0,4	-50,9	0,2	0,5	-44,4	0,7	1,6	3,6
		maksi-mum	70,6	1,2	2,6	74,7	0,9	2,1	4,1	11,9	3,4	6,8	16,6	2,0	2,9	6,5

Objaśnienie skrótów w tabeli: jak w Tabeli 1

W Tabeli 4 dostrzeżono następujące zależności:

- zaobserwowano większą zmienność wewnątrzsobniczą położenia czujnika TB w porównaniu z położeniami czujnika LL na początku (MinVel) oraz na końcu (GOFF) gestu artykulacyjnego zarówno dla głoski [ɔ] jak i [ɔ̃],
- w przypadku samogłoski nosowej [ɔ̃] (podobnie jak dla samogłoski nosowej [ɛ̃]) większa zmienność wewnątrzsobnicza (średnie odchylenie standardowe w granicach 0,9-1,6 mm) występuje na początku (MinVel) niż na końcu (GOFF) gestu artykulacyjnego (średnie odchylenie standardowe w granicach 0,5-1,3 mm) dla obydwu czujników: TB i LL,
- dla samogłoski nosowej [ɔ] minimalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 0,1 mm, rozstęp 0,2 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) w grupie mężczyzn,
- dla samogłoski nosowej [ɔ̃] minimalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 0,08 mm, rozstęp 0,14 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) na końcu gestu artykulacyjnego (GOFF) w grupie kobiet,
- dla samogłoski nosowej [ɔ] maksymalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 3,2 mm, rozstęp 4,5 mm) zaobserwowano dla czujnika tylnej części języka (TB) na początku gestu artykulacyjnego (MinVel) w grupie kobiet,
- dla samogłoski nosowej [ɔ̃] maksymalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 3,4 mm, rozstęp 6,8 mm) zaobserwowano dla czujnika tylnej części języka (TB) na początku gestu artykulacyjnego (MinVel) w grupie mężczyzn.

Podobnie jak w przypadku parametrów MinVel oraz GOFF przeprowadzono pomiary dla minimalnego i maksymalnego wychylenia sensorów LL oraz TB. Wyniki przedstawiono w Tabeli 5. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zaobserwowano następujące zależności dla minimalnego i maksymalnego wychylenia czujników LL i TB:

- zaobserwowano większą zmienność wewnątrzsobniczą położenia czujnika TB w porównaniu z położeniami czujnika LL zarówno dla minimalnego jak i maksymalnego wychylenia dla obydwu głosek: [ɔ] jak i [ɔ̃],

- w przypadku samogłoski nosowej [ɔ̃] większa zmienność wewnątrzsobnicza występuje dla minimalnych wychyleń czujnika niż dla maksymalnych dla obydwu sensorów: TB i LL,
- dla samogłoski ustnej [ɔ] minimalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 0,0 mm, rozstęp 0,0 mm) zaobserwowano dla czujnika tylnej części języka (TB) dla minimalnego wychylenia w kierunku X w grupie mężczyzn,
- dla samogłoski nosowej [ɔ̃] minimalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 0,08 mm, rozstęp 0,14 mm) zaobserwowano dla czujnika dolnej wargi (LL) dla maksymalnego wychylenia w kierunku X w grupie kobiet,
- dla samogłoski ustnej [ɔ] maksymalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 4,3 mm, rozstęp 6,1 mm) zaobserwowano dla czujnika tylnej części języka (TB) dla minimalnego wychylenia w kierunku X w grupie kobiet,
- dla samogłoski nosowej [ɔ̃] maksymalną zmienność wewnątrzsobniczą (odchylenie standardowe 3,3 mm, rozstęp 6,7 mm) zaobserwowano dla czujnika tylnej części języka (TB) dla minimalnego wychylenia w kierunku X w grupie mężczyzn.

Tabela 5.

Wyniki pomiarów położenia sensorów dolnej wargi (LL) oraz przedniej części języka (TF) w osi X (przód – tył) dla minimalnego (min) i maksymalnego (max) wychylenia sensorów LL oraz TF w osi X dla samogłosek: ustnej [ɔ] oraz nosowej [ɔ̃]

			min [LLx]			max [LLx]			D	min [TBx]			max [TBx]			D
			X	S	R	X	S	R		X	S	R	X	S	R	
samogłoska ustna [ɔ]	kobiety	średnia	42,2	0,6	1,0	44,8	0,5	0,8	2,6	-10,9	1,7	2,6	-5,1	0,9	1,6	5,7
		mediana	38,2	0,5	0,7	42,3	0,4	0,7	2,3	-13,9	1,2	2,0	-8,7	0,7	1,4	5,9
		odch. stand.	20,1	0,4	0,9	20,1	0,3	0,5	1,2	22,5	1,2	1,6	20,9	0,8	1,1	2,3
		minimum	12,0	0,1	0,2	14,3	0,2	0,3	1,2	-44,4	0,6	0,8	-34,7	0,3	0,4	2,3
		maksimum	79,9	1,5	2,9	82,2	1,0	1,8	5,0	30,7	4,3	6,1	35,5	3,0	4,3	9,7
	mężczyźni	średnia	43,4	0,5	0,8	46,6	0,7	1,2	3,2	-15,1	0,8	1,5	-9,4	0,8	1,5	5,7
		mediana	39,2	0,5	0,9	41,0	0,8	1,4	2,3	-17,1	0,7	1,5	-12,9	0,7	1,4	5,8
		odch. stand.	25,0	0,3	0,5	24,5	0,3	0,5	1,5	25,7	0,7	1,3	25,3	0,4	0,9	1,6
		minimum	11,2	0,1	0,1	16,0	0,1	0,2	1,8	-49,9	0,0	0,0	-43,0	0,3	0,5	4,1
		maksimum	79,7	0,8	1,5	82,0	0,9	1,7	5,8	21,5	1,8	3,3	27,5	1,4	2,8	8,3
samogłoska nosowa [ɔ̃]	kobiety	średnia	40,0	0,8	1,7	43,0	0,7	1,4	3,1	-13,6	1,0	2,1	-7,4	0,9	1,7	6,2
		mediana	36,7	0,8	1,6	41,2	0,7	1,5	3,2	-16,4	1,0	2,4	-9,0	0,8	1,9	6,3
		odch. stand.	20,9	0,5	0,7	20,9	0,3	0,8	1,0	23,4	0,4	0,9	21,7	0,4	0,9	2,5
		minimum	9,8	0,3	0,7	13,1	0,1	0,1	1,6	-47,0	0,5	0,7	-36,6	0,3	0,6	2,0
		maksimum	79,8	2,0	2,8	82,4	1,1	2,8	4,7	29,9	1,6	3,0	35,2	1,4	2,8	10,4
	mężczyźni	średnia	34,7	0,7	1,6	38,2	0,5	1,1	3,5	-24,5	1,5	3,1	-18,8	1,3	2,4	5,7
		mediana	35,6	0,5	1,2	39,9	0,4	1,0	3,4	-19,3	1,3	2,4	-14,5	1,4	2,4	5,6
		odch. stand.	19,2	0,6	1,3	19,2	0,3	0,6	1,0	20,1	1,0	2,2	19,6	0,4	0,4	1,0
		minimum	12,8	0,1	0,2	16,9	0,2	0,4	2,2	-51,0	0,1	0,3	-44,4	0,7	1,6	3,8
		maksimum	70,4	1,8	3,5	74,7	1,0	2,1	5,1	11,6	3,3	6,7	16,6	2,0	2,9	7,1

Objaśnienie skrótów w tabeli: jak w Tabeli 1

Dyskusja

Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że zmienność wewnątrzosobnicza położeń badanych narządów artykulacyjnych (języka i warg) zawiera się w granicach od 0 mm do 6,8 mm. Wartości odchyłeń standardowych w obrębie jednego mówcy zawierały się w granicach od 0,1 mm do 4,3 mm ze średnią wartością równą 0,8 mm.

Z analizy Tabel 1-5 wynika, że zarówno u kobiet jak i u mężczyzn występuje w przybliżeniu ten sam poziom zmienności wewnątrzosobniczej. Zaobserwowane w przypadku pojedynczych samogłosek zwiększenie się zmienności wewnątrzosobniczej dla kobiet lub mężczyzn należy raczej uznać za przypadkowe.

Na podstawie danych z Tabeli 2 oraz danych z Tabeli 4 można stwierdzić, że w przypadku samogłosek nosowych większa jest zmienność wewnątrzosobnicza na początku (minVel) gestu artykulacyjnego w porównaniu z jego końcem (GOFF). Mogło to być jednak spowodowane wpływem zmienności kontekstu na początku głósłki. W przypadku samogłósłki nosowej [ẽ] były to konteksty <wẽz>, jak w wyrażeniu *wẽzel* oraz <pẽs> jak w wyrażeniu *pẽset*, natomiast w przypadku samogłósłki nosowej [õ] były to konteksty <wõs> jak w wyrażeniu *wõsy* oraz <põs> jak w wyrażeniu *põsy*.

Na podstawie danych z Tabel 3 i 5 większą zmienność stwierdzono dla minimalnego wychylenia sensorów w kierunku X w porównaniu z wychyleniem maksymalnym, podobnie jak w przypadku parametrów minVel i GOFF, dla samogłósłek nosowych. Można to również wytłumaczyć wpływem kontekstu samogłósłki, ponieważ minimalne wychylenie występowało na początku samogłósłki, a maksymalne przy końcu. Zatem wpływ zmiennego kontekstu samogłósłki był większy dla minimum niż dla maksimum.

W przypadku samogłósłki tylnych [ɔ] i [õ] zaobserwowano ogólnie mniejszą zmienność wewnątrzosobniczą dla sensora dolnej wargi (LL) w porównaniu z sensorem tylnej części języka (TB) zarówno dla parametrów minVel i GOFF, jak i minimalnego i maksymalnego wychylenia czujnika w kierunku X. Podobnie mniejszą zmienność wewnątrzosobniczą dla czujnika LL w porównaniu z czujnikiem TF dla wszystkich badanych parametrów obserwowano w przypadku samogłósłki nosowej [ẽ], natomiast dla samogłósłki [ɛ] tendencja była odwrotna.

Podsumowując dyskusję wyników pomiarów należy zaznaczyć, że badana zmienność położenia sensorów artykulografu mogła wynikać nie tylko z fizjologii wytwarzania sygnału mowy, ale również ze zmienności pochodzących z narzędzia pomiarowego. Jako główne przyczyny tej zmienności należy wymienić:

- błędy detekcji położenia sensorów artykulografu oszacowane przez producenta na poziomie $\pm 0,5$ mm,
- błędy wynikające z wpływu temperatury na wynik pomiaru,
- błędy wynikające z fałszywego założenia nieruchomości sensorów odniesienia – w praktyce obserwuje się, iż odległość między nimi może się zmieniać w niewielkim zakresie.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych dokonano analizy porównawczej położenia narządów artykulacyjnych polskich samogłosek [ɛ], [ɛ̃], [ɔ], [ɔ̃]. Dokonano estymacji zmienności położenia języka podczas realizacji wymienionych dźwięków przez wszystkie badane osoby. Średnia wartość odchylenia standardowego położenia czujników wyniosła 0,8 mm. Zaobserwowano wpływ kontekstu głosek na zmienność wewnątrzsobniczą. W przypadku samogłosek [ɔ], [ɔ̃] oraz [ɛ̃] stwierdzono większą zmienność wewnątrzsobniczą sensorów umieszczanych na języku w porównaniu z sensorem dolnej wargi. W przypadku samogłoski [ɛ] tendencja była odwrotna. Można przypuszczać zatem, iż w artykulacjach samogłoskowych ruchy języka cechuje większa zmienność wewnątrzsobnicza niż ruchy warg, aczkolwiek na uzyskany wynik mogły mieć również wpływ błędy aparatury pomiarowej.

W przyszłych pracach nad zmiennością wewnątrzsobniczą planuje się:

- analizę pozostałych samogłosek ustnych i różnic artykulacyjnych wynikających z położenia języka w osi pionowej Z,
- uwzględnienie zależności czasowych między ocenianymi parametrami,
- przeprowadzenie testów istotności statystycznej w celu udowodnienia zaobserwowanych zależności.

Bibliografia

- J. Beskow, O. Engwall, B. Granström, *Simultaneous measurements of facial and intraoral articulation*, "Proceedings of Fonetik" 2003, s. 57-60.
- C. T. Best, C. Kroos, R.L. Bundgaard-Nielsen, B. Baker, M. Harvey, M. Tiede, L. Goldstein, *Articulatory basis of the apical/laminal distinction: tongue tip/body coordination in the Wubuy 4-way coronal stop contrast* [w:] Proceedings of the 10th International Seminar on Speech Production (ISSP), 5-8 May, Cologne 2014, s. 33-36.
- P. Boersma, D. Weenink, *Praat: doing phonetics by computer* [program komputerowy, wersja 5.3.57], [na:] <http://www.praat.org/>, 2014. (20.12.2016).
- V. Bukmaier, J. Harrington, U. Reubold, F. Kleber, *Synchronic variation in the articulation and the acoustics of the Polish threeway place distinction in sibilants and its implications for diachronic change*, 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH), 14-18 September, Singapore 2014, s. 203-207.
- L. Dukiewicz, *Polskie głoski nosowe. Analiza akustyczna*, Warszawa 1967.
- L. Dukiewicz, *Fonetyka* [w:] *Gramatyka współczesnego języka polskiego. Fonetyka i fonologia*, red. H. Wróbel, Kraków 1995, s. 7-103.
- B. Dunaj, *Gramatyka współczesnego języka polskiego. Część 1. Fonetyka i fonologia*, Tarnów 2015.
- J. Frid, S. Schötz, A. Löfqvist, *South Swedish diphthongisation: an articulographic and acoustic study of /u:/ in the Malmö dialect*, „Proceedings of Fonetik”, 2012, s. 85-88.
- P. Hoole, C. Mooshammer, H.G. Tillmann, *Kinematic analysis of vowel production in German*, Proc. ICSLP 94, Yokohama 1994, 1, s. 53-56.
- P. Hoole, B. Kühnert, *Patterns of lingual variability in German vowel production*, Proceedings XIIIth Int. Conf. Phon. Sci., Stockholm 1995, 2, s. 442-445.
- P. Hoole, B. Kühnert, *Tongue-jaw coordination in German vowel production*, Proceedings of the 1st ESCA tutorial and research workshop on Speech Production Modelling/4th Speech Production Seminar, Autrans, s. 97-100, 1996.
- IPA (International Phonetic Association), *Handbook of the International Phonetic Association. A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*, Cambridge 1999.
- J. Kim, S. Lee, S. Narayanan, *Estimation of the movement trajectories of non-crucial articulators based on the detection of crucial moments and physiological constraints*, 15th

- Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTER-SPEECH) 2014, 14-18 September, Singapore 2014, s. 163-168.
- J. Kim, A. Toutios, S. Lee, S. Narayanan, *A kinematic study of critical and non-critical articulators in emotional speech production*, "Journal of the Acoustical Society of America" 2015, 137(3), s. 1411-1429.
- H. Kjellström, O. Engwall, *Audiovisual to articulatory inversion*, "Speech Communication" 2009 51(3), s. 95-09.
- C. Kroos, *Eingipflige und zweigipflige Vokale des Deutschen? Kinematische Analyse der Gespanntheitsopposition im Standarddeutschen*, Hausarbeit zur Erlangung des Magistergrades, München 1996.
- D. Król, A. Lorenc, R. Świąciński, *Detecting Laterality and Nasality in Speech with the Use of a Multi-Channel Recorder*, Proceedings of the 40th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015, s. 5147-5151.
- A. Lorenc, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, Warszawa 2016.
- A. Lorenc, D. Król, R. Świąciński, *Assessment of Sound Laterality with the Use of a Multi-Channel Recorder*, 18th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS) 10-15 August, Glasgow 2015, [na:] <http://www.icphs2015.info/pdfs/Papers/ICPHS0895.pdf>. (20.12.2016).
- P. Machač, R. Skarnitzl, *Principles of phonetic segmentation*, Epocha Publishing House, Praha 2009.
- Ł. Mik, A. Lorenc, *phoneEMAtool* [program komputerowy] 2015.
- Ł. Mik, R. Wielgat, A. Lorenc, D. Król, R. Świąciński, R. Jędryka, *Multimodal Speech Data Acquisition with the Use of EMA Fast-speed Video Cameras and a Dedicated Microphone Array*, 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES), June, Łódź 2016.
- R. Mullooly, *An electromagnetic articulograph study of alternating [ɹ] and the effects of stress on rhotic consonants*, Edinburgh 2004 [niepublikowana rozprawa doktorska].
- X. Niu, 2008, *Measurement, analysis, and detection of nasalization in speech*, 2008, Student Scholar Archive Paper 305 [rozprawa doktorska].
- D. Ostaszewska, J. Tambor, *Fonetyka i fonologia współczesnego języka polskiego*, Warszawa 2001.
- J.S. Perkell, M. H. Cohen, M.A. Svirsky, M.L. Matthies, I. Garabieta, and M.T. Jackson, *Electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech*

- articulatory movements*, "The Journal of the Acoustic Society of America" 1992, 6, s. 3078-3096.
- B. Ročławski, *Zarys fonologii, fonetyki, fonotaktyki i fonostatystyki współczesnego języka polskiego*, Gdańsk 1976.
- P. Roach, *Glossary – a Little Encyclopaedia of Phonetics*, 2011, [na:] <http://www.peterroach.net/glossary.html> (20.12.2016).
- D. Schabus, M. Pucher, P. Hoole, *The MMASCS multi-modal annotated synchronous corpus of audio, video, facial motion and tongue motion data of normal, fast and slow speech*, Proceedings of the 9th Language Resources and Evaluation Conference, 26-31 May, Reykjavik 2014, s. 3411-3416.
- J. A. Shaw, W. Chen, M.I. Proctor, D. Derrick, E. Dakhoul, *On the inter-dependence of tonal and vocalic production goals in Chinese*, 10th ISSP, 5-8 May, Cologne 2014, s. 395-398.
- A. Stella, M. Vanrell, M. Iraci, P. Prieto, B.G. Fivela, *Intergestural coordination between tonal and oral gestures in Catalan, Italian and Spanish*. 10th ISSP, 5-8 May, Cologne 2014, s. 417-420.
- B. Wierzchowska, *Analiza eksperymentalno-fonetyczna polskich dźwięków nosowych*, Lublin 1966.
- B. Wierzchowska, *Fonetyka języka polskiego*, Wrocław 1980.
- J. Yuan, M. Liberman, *Automatic measurement and comparison of vowel nasalization across languages*, Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS), 17-21 August, Hong Kong 2011, s. 2244-2247.

Streszczenie

W ostatnich latach coraz bardziej popularne stają się badania wymowy za pomocą artykulografii elektromagnetycznej (EMA). Pozwalają one na precyzyjne wyznaczenie trajektorii ruchu artykulatorów, takich jak język, wargi, żuchwa itd., dzięki wykorzystaniu zmiennego pola elektromagnetycznego o niskim natężeniu wykrywającego położenie sensorów zamocowanych na obserwowanych narządach mowy. W niniejszym artykule opisano rezultaty badań artykulograficznych polskich samogłosek ustnych i nosowych <e>, <ę>, <o>, <a>. Dokonano estymacji zmienności położenia języka i warg podczas realizacji wymienionych dźwięków przez wszystkich badane osoby, starając się w ten sposób ustalić ich zróżnicowanie wewnątrzsobnicze.

Słowa kluczowe: artykulografia elektromagnetyczna, samogłoski polskie

Summary

Research on speech production physiology using electromagnetic articulography (EMA) become more and more popular in recent years. They allow to assess precisely movement of speech articulators like tongue, lips, jaw etc. by tracking trajectory of sensors fixed to the articulators. In this paper an EMA research on Polish oral and nasal vowels <e>, <ɛ>, <o>, <ɔ> has been presented. Intraspeaker variability of tongue and lips position during realization of the same phoneme has been estimated.

Keywords: electromagnetic articulography, Polish vowels

