

Piotr Rybka

Wykorzystanie pomiarów antropometrycznych w badaniach artykulacji samogłosek (na materiale polskim)

Linguarum Silva 4, 209-266

2015

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Wykorzystanie pomiarów antropometrycznych w badaniach artykulacji samogłosek (na materiale polskim)

Wstęp

Zastosowanie analizy artykulograficznej (Fonem.eu, 2011) w badaniach fonetycznych ułatwiło bardzo precyzyjne rejestrowanie ruchów artykulacyjnych. Innym dokładnym, lecz droższym sposobem badania artykulacji jest wykorzystanie rezonansu magnetycznego¹. Do tego celu stosuje się również tańszą metodę ultrasonograficzną². Obecnie wiele jest więc sposobów uzyskania statycznych i dynamicznych (w postaci filmu) obrazów głosek³, a wymienione zostały tu jedynie nowsze metody, uzupełniające znane od dawna techniki: rentgenografię (i kinorentgenografię), palatografię, lingwografię i labiografię.

¹ Zob. badania przeprowadzone w Turynie (LoEP, 2009).

² Zob. materiały opublikowane na stronie Wydziału Medycyny Uniwersytetu w Kolumbii Brytyjskiej: <http://www.audiospeech.ubc.ca/research/child-phonology-phonetics-and-language-acquisition-lab/ultrasound-in-speech-training>.

³ Należy zaznaczyć, że w całym tekście termin „głoska” będzie pojawiał się w dwóch znaczeniach: (1) dźwięk mowy, jaki starał się wymówić dany mówca, oraz (2) dźwięk rozpoznany przy użyciu opisanej tu metody. Tradycyjna definicja głoski ma charakter audytywny: to najmniejsza jednostka możliwa do słuchowego wydzielenia w potoku mowy. Ta definicja jest zatem bliższa pierwszemu z podanych znaczeń, gdyż dźwięk, który starał się wymówić dany informator, musiał być jednocześnie przez niego (a także przez osobę koordynującą badanie) odebrany i rozpoznany jako określona głoska w rozumieniu tradycyjnym. Do drugiego znaczenia bardziej pasuje angielski termin *phone* według definicji zamieszczonej w: LAVER, 1994: 29. Nie jest to jednak często stosowany termin nawet w literaturze angielskiej, dlatego też nie będziemy tutaj na siłę forsować tego terminu. Wspomniane dwa rozumienia terminu „głoska” odróżnimy cudzysłowem (głoska w znaczeniu pierwszym vs. „głoska” w znaczeniu drugim) oraz zapisem (*a* vs. [a]).

Mimo że posiadamy tak wiele sposobów uzyskiwania dokładnych obrazów artykulacji głosek, nie dysponujemy metodą jednoznacznej analizy tych obrazów. Przez „jednoznaczną analizę” rozumiem takie postępowanie badawcze, w wyniku którego dwóch lub więcej badaczy powinno uzyskać ten sam wynik (taką samą interpretację obrazu głoski) niezależnie od swojego doświadczenia i nawyków interpretacyjnych.

Dodatkowym wymogiem, jaki powinna spełniać taka metoda, jest możliwość sterowania dokładnością analizy. Wynika on z samej praktyki badawczej: nie zawsze przecież muszą nas interesować bardzo drobne różnice w ruchach artykulacyjnych. Drugą przesłanką za takim wymogiem jest możliwość transkrybowania na różnych stopniach dokładności. Przy użyciu alfabetu międzynarodowego (IPA) możemy zaznaczać w transkrypcji na przykład różne stopnie cofnięcia samogłoski [i]⁴:

- 1) 1 stopień cofnięcia: < $\underset{\cdot}{i}$ >;
- 2) 2 stopnie cofnięcia: < $\underset{\cdot}{i}$ $\underset{\cdot}{i}$ >;
- 3) 3 stopnie cofnięcia: < $\underset{\cdot}{1i}$ $\underset{\cdot}{2i}$ $\underset{\cdot}{3i}$ >;
- 4) 6 stopni cofnięcia: < $\underset{\cdot}{1i}$ $\underset{\cdot}{2i}$ $\underset{\cdot}{3i}$ $\underset{\cdot}{1i}$ $\underset{\cdot}{2i}$ $\underset{\cdot}{3i}$ >.

Stosowanie wielu symboli fonetycznych może się wydawać zbędne, m.in. ze względu na niską czytelność symboli diakrytyzowanych, jednak postępowanie takie przydatne jest w komputerowym przetwarzaniu danych (np. gdy chcemy uśrednić dokładne dane na temat artykulacji). Sama transkrypcja międzynarodowa jest jedynie przykładem kodowania, które można zastosować w przetwarzaniu komputerowym⁵.

⁴ Przykładowe symbole w zestawieniu 4. (umożliwiający najbardziej dokładną transkrypcję) oznaczają kolejno: samogłoskę [i] w niewielkim stopniu częściowo cofniętą, [i] w średnim stopniu częściowo cofniętą, [i] w dużym stopniu częściowo cofniętą, [i] w niewielkim stopniu cofniętą, [i] w średnim stopniu cofniętą, [i] w dużym stopniu cofniętą.

⁵ Inny sposób kodowania oparty w dużej mierze na transkrypcji międzynarodowej przedstawiono w: RYBKA, 2014. Metoda tam zawarta jest bardzo prosta: kod oznaczający artykulację samogłoski ustnej (proponycja dotyczy tylko tych samogłosek, ale łatwo można ją rozszerzyć o inne artykulacje dodatkowe, np. unosowanie) składa się z 3 liczb oznaczających kolejno:

- 1) stopień obniżenia języka: od 0 dla samogłosek wysokich typu [i u] do 6 dla niskich typu [a q];
- 2) stopień cofnięcia języka: od 0 dla samogłosek przednich do 6 dla tylnych;
- 3) stopień zaokrąglenia warg kodowany binarnie (0 - niezaokrąglenie, 1 - zaokrąglenie) lub, jak w prezentowanej tu metodzie, przy użyciu 6 stopni: -1 - spłaszczenie (kąciki ust są rozsunięte), 0 - niezaokrąglenie (położenie neutralne), 1 - tzw. otwarte zaokrąglenie (ang. *open rounded*, za: LAYER, 1994 - kąciki ust są zsunięte), 2 - silne otwarte zaokrąglenie (jak poprzednio, ale z wydęciem ust), 3 - przymknięte zaokrąglenie (ang. *close rounded*, za: LAYER, 1994 - kąciki i krawędzie ust są zsunięte), 4 - silne przymknięte zaokrąglenie (jak poprzednio plus wydęcie ust).

Żeby jednak móc uśredniać lub w inny sposób przetwarzać dane, musimy je w pierw zamienić na kod możliwy do przetworzenia. W przypadku obrazów głosek dysponujemy zdjęciami, obrysami zdjęć itp. W artykulografii uzyskujemy także elektroniczne zapisy położeń sond w każdym momencie pomiaru, co już jest znacznym przetworzeniem w pożądanym przez nas kierunku. Brakuje jednak metody pozwalającej „przetłumaczyć” inne obrazy, np. rentgenogramy (zob. KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951; STYCZEK, 1973), na kod możliwy do przetwarzania, nie tracąc jednocześnie związku ze stosowanymi modelami opisu samogłosek (np. czworokątem samogłoskowym).

Prezentowana w tym artykule metoda opisu wymaga być może jeszcze pewnych korekt, być może jest też niepotrzebnie skomplikowana w niektórych miejscach, stanowi ona jednak (przynajmniej w zamyśle autora) propozycję, dzięki której można analizować obrazy uzyskane różnymi metodami⁶ i otrzymywać dane numeryczne łatwe do przetwarzania. Umożliwia także jednoznaczne⁷ rozpoznawanie samogłosek (przypisywanie symbo-

Samogłoska [i] będzie oznaczona kodem: 00-1, samogłoska [i] - 000, [y] - 004, [ə] - 330 itd. Taki system kodowania pozwala obliczać różnicę artykulacyjną (bezwzględną) między samogłoskami oraz stopień (względny) tej różnicy. Pierwsza wartość to suma modułów różnic poszczególnych elementów kodu dwóch samogłosek. Np. dla [i] (kod: 000) vs. [y] (kod: 004):

$$|0 - 0| + |0 - 0| + |0 - 4| = 0 + 0 + 4 = 4,$$

czyli sumarycznie wyrażona różnica między [i] a [y] wynosi 4. Jeśli za maksymalną możliwą liczbę różnic artykulacyjnych między samogłoskami uznamy 17 (np. między [i], 00-1, a [p], 664), to względna różnica artykulacyjna wynosi $\frac{4}{17} \approx 0,24$, czyli 24%. Różnica między samogłoską niezaokrągloną (typ [i]), a choćby nieznacznie zaokrągloną (typu [y]) wynosi 1 (różnica bezwzględna) lub, $\frac{1}{17} \approx 5,88\%$ (różnica względna). Między samogłoskami przednimi a środkowymi oraz środkowymi a tylnymi - 3 (np. [i], 000, vs. [i], 030), tj. $\frac{3}{17} \approx 17,65\%$.

Obie wartości, a szczególnie druga znajdująca się w przedziale od 0 do 100%, dają pewne wyobrażenie o różnicy między samogłoskami, można je także wykorzystywać do dalszych analiz (np. do sumarycznego określania różnic między dwoma systemami językowymi).

⁶ Wyjątkiem jest tutaj ultrasonografia: w jej przypadku konieczne byłoby wstępne przetworzenie samego obrazu - zmiana kształtu z konchoidalnego na prosty. W pozostałych przypadkach wystarczy wykonać obrys danego obrazu, co znacznie ułatwi kreślenie prostych pomocniczych i odnajdywanie mierzonych odcinków.

⁷ Jedynym momentem, w którym mogą pojawić się rozbieżności w uzyskanych wynikach, jest rysowanie prostych pomocniczych oraz pomiar wyznaczonych odcinków. Nawet jeśli dysponujemy bardzo wyraźnym i ostrym obrazem głoski i dokładnie sporządzonym obrysem, nakreślenie linii pomocniczych może być za każdym razem nieco inne (dwóch badaczy może każdą prostą nanieść pod nieco innym kątem), co może z kolei wpłynąć na długość mierzonych odcinków

li fonetycznych lub kodów numerycznych obrazom głosek) na podstawie określonych pomiarów antropometrycznych wykonanych na obrazie głoski.

Ogólny opis metody i uzyskane wyniki

W ramach testu opisywanej metody każdemu obrazowi samogłoski przypisano jeden z 294⁸ symboli fonetycznych. Podstawą przypisania było największe podobieństwo między badaną samogłoską a określonym modelem. Postępowanie badawcze było więc nieco zbliżone do przedstawionego w mojej wcześniejszej pracy (РЫБКА, 2014), lecz tutaj parametrami opisującymi każdą samogłoskę (modelową i badaną) były współrzędne najwyższego punktu na powierzchni języka względem określonego punktu odniesienia⁹. Jako materiał badawczy wykorzystano wybrane¹⁰ obrazy głosek (samogłosek zgłoskotwórczych i niezgłoskotwórczych głosek – [j w]) zawarte w pracy Konecznej i Zawadowskiego (1951) oraz na stronie Fonem.eu (2011).

(np. wektorów wodzących określających położenie najwyższego punktu na powierzchni języka). Poza tym różnice mogą się pojawić podczas wykonywania pomiaru. Wystarczy, że wykonujący pomiar będą korzystali z innego narzędzia. W przypadku suwmiarek (a to narzędzie wydaje się najlepsze do pomiarów odinków na obrazach głosek) dochodzi jeszcze wyzerowanie, tzn. ustawienie zerowego wskazania suwmiarki wówczas, gdy jej szczęki idealnie przylegają do siebie (nie zawsze suwmiarki tradycyjne są idealnie wyzerowane). Wreszcie w grę może wchodzić zwykły błąd odczytu – o pomylenie kreseczki noniusza pokrywającej się z kreseczką podziałki bardzo łatwo w przypadku tradycyjnej (nieelektronicznej) suwmiarki.

⁸ Liczba symboli wynika z przyjętej liczby możliwych ułożeń języka (49) i typów artykulacji wargowych (6). Tak duża liczba miejsc artykulacji wydawała się optymalna w związku z przyjęciem modelu opisu samogłosek zastosowanego w konstrukcji międzynarodowego alfabetu fonetycznego, w którym to modelu wyróżnić można 7 ułożeń języka w pionie i tyleż w poziomie, co daje 49 kombinacji.

Z kolei liczba branych pod uwagę typów labializacji wynikała z przyjętych parametrów określających artykulację wargową: odchylenie od położenia neutralnego ułożenia warg w kierunku pionowym (szerokość szpary ustnej) i poziomym (wydęcie ust). Oba te parametry mogły przyjmować 3 wartości: minimalną, maksymalną i zerową. Daje to wprawdzie 9 kombinacji, lecz 5 z nich przyporządkowano do dwóch artykulacji wargowych (szczegóły omówiono w części dotyczącej labializacji).

⁹ Współrzędne te można również rozumieć jako współrzędne wektora wodzącego, którego początek znajduje się w początku układu odniesienia, a koniec w punkcie, którego położenie się opisuje.

¹⁰ Analizy służyły bardziej przetestowaniu metody niż wyciąganiu wniosków na temat współczesnej lub dawnej artykulacji samogłosek, stąd wybiórczy charakter dobranego materiału.

W trakcie prac nad metodą przygotowano dwa zestawy modeli do porównań, które można stosować zależnie od charakteru analizowanych samogłosek (izolowane lub w kontekstach) oraz liczby dostępnych obrazów. Dodatkowo, zastosowane kodowanie cech artykulacyjnych (zob. przypis 5.) pozwoliło uśredniać uzyskane wyniki. Rezultaty przeprowadzonych analiz zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Wyniki analiz obrazów samogłosek i półsamogłosek polskich

Źródło obrazu głoski	Głoska i kontekst	Rozpoznanie 1.* + kod	Rozpoznanie 2. + kod	Uśrednienie rozpoznania** + kod	Różnice między rozpoznaniami***	
					liczba	procent
1	2	3	4	5	6	7
F1	a (izol.)	[a], 600	[a], 600	[a], 600	0	0
F5	a (auto)	[ɹ], 160	[Λ], 460	[ɹ], 360	3	18
F5	a (baty)	[ɔ], 351	[ɔ], 661	[ɔ], 561	4	24
F5	a (cała)	[ɛ], 240	[ɛ], 640	[ɛ], 440	4	33
F5	a (cała)	[ɹ], 160	[ɹ], 360	[ɹ], 260	2	12
F5	a (daje)	[ɹ], 260	[ɑ], 650	[Λ], 460	5	29
F5	a (podział)	[ɹ], 061	[ɔ], 261	[ɹ], 161	2	12
KZ1, rys. 8	a (izol.)	[ɔ], 503	[ɔ], 613	[ɔ], 613	2	12
KZ1, rys. 9	a (izol.)	[ɑ], 610	[ɑ], 650	[ɛ], 630	4	24
KZ2, rys. 10	a (izol.)	[ɛ], 400	[æ], 500	[æ], 500	1	6
KZ2, rys. 11	a (izol.)	[ɛ], 400	[ɹ], 360	[ɛ], 430	7	41
KZ2, rys. 12	á (nianusia)	[ɹ], 103	[ɹ], 101	[ɹ], 102	4	24
F1	e (izol.)	[e], 200	[i], 000	[i], 100	2	12
F5	e (bety)	[ɹ], 161	[ɔ], 461	[ɔ], 361	3	18
F5	e (daje)	[i], 14-1	[ɹ], 36-1	[ɹ], 25-1	4	24
F5	e (efekt)	[i], 140	[ɛ], 430	[ɹ], 340	4	24
F5	e (efekt)	[i], 13-1	[ɛ], 43-1	[ɛ], 33-1	3	18
F5	e (ogier)	[i], 140	[ɹ], 350	[ɹ], 250	3	18
KZ1, rys. 34	e (izol.)	[ɛ], 400	[æ], 500	[æ], 500	1	6
KZ1, rys. 35	e (izol.)	[ɛ], 40-1	[ɑ], 60-1	[æ], 50-1	2	12
F1	i (izol.)	[ɹ], 050	[i], 030	[i], 040	2	12
F5	F5, i (bity)	[ɹ], 001	[ɹ], 101	[ɹ], 101	1	6
KZS1, rys. 26	i (izol.)	[ɹ], 003	[ɹ], 103	[ɹ], 103	1	6
F5	j (daje)	[i], 010	[i], 120	[i], 120	2	12
F5	j (ogier)	[i], 01-1	[i], 13-1	[i], 12-1	3	18
KZS2, rys. 30	j (izol.)	[ɛ], 30-1	[ɹ], 25-1	[ɛ], 33-1	6	35
F1	o (izol.)	[ɛ], 630	[Λ], 560	[ɑ], 650	4	24

1	2	3	4	5	6	7
F5	o (<i>ogier</i>)	[ɔ], 160	[ɣ], 260	[ɣ], 260	1	6
F5	o (<i>podział</i>)	[ũ], 150	[ɣ], 360	[ɣ], 260	3	18
KZ1, rys. 17	o (izol.)	[ɔ̥, ɾ-], 643	[ɔ̥], 663	[ɔ̥, ɾ-], 653	2	12
KZ1, rys. 18	o (izol.)	[ɔ̥, ɾ-], 543	[ɔ̥, ɾ-], 563	[ɔ̥, ɾ-], 553	2	12
KZ2, rys. 19	o (izol.)	[æ], 500	[a], 660	[ɐ], 630	7	41
KZ2, rys. 20	o (izol.)	[œ], 404	[ɔ̥], 434	[ɔ̥, ɾ-], 424	3	18
KZ2, rys. 21	ó (<i>wiośniany</i>)	[ɛ], 20-1	[i̇, ɾ-], 14-1	[ɔ̥, ɾ-], 22-1	5	29
F1	u (izol.)	[ɣ], 260	[ɰ], 160	[ɣ], 260	1	6
F5	u (<i>buty</i>)	[ɰ], 063	[ɰ], 063	[ɰ], 063	0	0
KZ1, rys. 26	u (izol.)	[ɰ], 063	[ɰ], 063	[ɰ], 063	0	0
KZ1, rys. 27	u (izol.)	[ɰ], 063	[ɰ, ɾ-], 163	[ɰ, ɾ-], 163	1	6
KZ2, rys. 28	u (izol.)	[ɰ, ɾ-], 053	[ɰ, ɾ-], 163	[ɰ, ɾ-], 163	2	12
KZ2, rys. 29	u (izol.)	[ɰ, ɾ-], 164	[ɔ̥, ɾ-], 364	[ɔ̥], 264	2	12
F5	F5, ł (<i>auto</i>)	[ɰ, ɾ-], 161	[ɔ̥], 261	[ɔ̥], 261	1	6
F5	F5, ł (<i>cała</i>)	[ɰ], 060	[ɰ], 160	[ɰ], 160	1	6
KZS2, rys. 35	w (izol.)	[ɰ], 063	[ɔ̥], 263	[ɰ, ɾ-], 163	2	12
F1	ɣ (izol.)	[ɔ̥], 203	[ɰ, ɾ-], 103	[ɔ̥], 203	1	6
F5	ɣ (<i>baty</i>)	[i̇, ɾ-], 140	[ɣ], 360	[ɣ], 260	4	24
F5	ɣ (<i>bety</i>)	[ɰ], 060	[ɣ], 360	[ɣ], 250	3	18
F5	ɣ (<i>bity</i>)	[ɔ̥, ɾ-], 211	[ɔ̥, ɾ-], 501	[ɔ̥, ɾ-], 411	4	24
F5	ɣ (<i>boty</i>)	[ɰ, ɾ-], 053	[ɰ, ɾ-], 163	[ɰ, ɾ-], 163	2	18
F5	ɣ (<i>buty</i>)	[ɰ, ɾ-], 051	[ɰ, ɾ-], 161	[ɰ, ɾ-], 161	2	12
F5	ɣ (<i>byty</i>)	[ɰ], 061	[ɔ̥], 261	[ɰ], 161	2	12
F5	ɣ (<i>byty</i>)	[i̇, ɾ-], 140	[ɰ], 440	[ɔ̥], 340	3	18
KZS1, rys. 27	ɣ (izol.)	[ɰ, ɾ-], 123	[ɰ], 063	[ɰ, ɾ-], 143	5	29

* Dwa, czasami różne rozpoznania wynikały z przyjęcia nieco różnych zestawów modeli, których omówienie znajduje się w dalszej części. Rozpoznanie, które można uznać za bardziej miarodajne ze względu na liczbę badanych samogłosek, zaznaczono pogrubieniem.

** Uśrednianie polegało na prostym obliczeniu średniej arytmetycznej każdego elementu kodu. Przykładowo w przypadku kodów 160 („głoska” [ɰ]) i 360 („głoska” [ɣ]) średnia 260 wynikała z następujących obliczeń: $\frac{1+3}{2} = 2$, $\frac{6+6}{2} = 6$, $\frac{0+0}{2} = 0$.

Jeśli średnia nie była liczbą całkowitą, wówczas stosowano tradycyjne matematyczne zaokrąglenie. Przykładowo w przypadku kodów 003 („głoska” [ɰ]) i 103 („głoska” [ɰ, ɾ]) pierwsze elementy obu kodów dają średnią 0,5, czyli w zaokrągleniu 1. Stąd uśrednienie do kodu 103.

*** Przy założeniu maksymalnej bezwzględnej różnicy artykulacyjnej wynoszącej 17 (zob. przypis 5).

F1 - Fonem.eu, 2011 (informator 1); F5 - Fonem.eu, 2011 (informator 5); KZ1 - KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 (osoba 1.); KZ2 - KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 (osoba 2.); KZS1 - osoba 1. z: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951, obraz za: STRUTYŃSKI, 1992; KZS2 - osoba 2. z: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951, obraz za: STRUTYŃSKI, 1992. Numeracja rysunków taka jak w publikacjach źródłowych.

Źródło: Opracowanie własne.

Założenia

Podczas przygotowywania opisywanej metody kierowano się następującymi założeniami:

1. Każdy aparat mowy, a nawet każdy obraz (zdjęcie rentgenowskie, artykulogram itp.) tego samego aparatu mowy jest potencjalnie różny. Różnice w przypadku różnych aparatów mowy wynikać mogą z odmiennej ich budowy, natomiast przyczyną różnic w obrazach tego samego aparatu mowy mogą być takie czynniki, jak przechylenie głowy podczas wykonywania obrazu, inna skala ilustracji, jej obrócenie lub ewentualne zdeformowanie powstałe czy to w procesie przygotowywania obrazu, czy to podczas jego przetwarzania (np. obrócenie kartki na szybie skanera lub jej niezupełne dociśnięcie). Dlatego za niezbędną uznano zmianę wszelkich pomiarów bezwzględnych uzyskanych na podstawie danego obrazu na wartości względne, tak aby możliwe było ich porównywanie niezależnie od wymienionych różnic¹¹. W przeliczaniu wymiarów bezwzględnych na względne wykorzystano **moduł** – ustalony odcinek między dwoma punktami wyznaczanymi na każdym obrazie głoski o różnej dla każdego obrazu głoski długości bezwzględnej, lecz traktowany jako jednostka (wartość równa 1) w analizach wartości względnych.
2. Jako element obrazu najlepiej charakteryzujący położenie języka (artykulację językową) przyjęto **najwyższy punkt na powierzchni języka** (oznaczony literą *L*, od łac. *lingua*). Propozycję dokładnej charakterystyki i zarazem sposobu jego wyznaczania podano niżej. Takie rozwiązanie pozwoliło w dalszej kolejności skorzystać z modelu czworokąta samogłoskowego Daniela Jonesa i samogłosek podstawowych jako punktów porównawczych (modelowych), a także z transkrypcji międzynarodowej (IPA).
3. W celu rozpoznania danej samogłoski (przypisania konkretnemu położeniu punktu *L* określonego symbolu fonetycznego) analizowano położenie najwyższego punktu na powierzchni języka względem siatki punktów modelowych (**modeli**) o wcześniej zdefiniowanych współrzędnych względem tego samego co w przypadku punktu *L* **punktu odniesienia** (omówionego w założeniach 5. i 6.). Każdemu punktowi siatki modeli odpowiadała grupa symboli fonetycznych określających to samo położenie języka, lecz różną artykulację wargową (np. grupa [i i ɥ, y ɥ, ɥ]). Oddzielono tym samym rozpoznanie położenia języka od charakterystyki ułożenia ust (założenia dotyczące opisu labializacji znaj-

¹¹ O tym, że obrazów głosek wymawianych nawet przez tę samą osobę nie można nakładać na siebie, pisze Koneczna w komentarzu do wydanych przez siebie i Zawadowskiego obrysów rentgenogramów (KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951: 7).

dużą się w punktach 7. i 8.). Przypisanie danego symbolu fonetycznego odpowiadającego konkretnemu punktowi siatki (modelowi) do danego obrazu głoski (a więc rozpoznanie tej głoski) odbywało się wtedy, gdy odległość między tym punktem siatki a punktem L była najmniejsza, tzn. mniejsza niż względem innych punktów siatki. Odległość l między punktem L a poszczególnymi punktami siatki obliczano przy użyciu wzoru na odległość między punktami w kartezjańskim układzie współrzędnych¹²:

$$l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}.$$

4. Obserwując obrazy poszczególnych głosek (największe zbiory takich obrazów zob. w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951; STYCZEK, 1973; Fonem.eu, 2011), można zauważyć różnice w długości dwóch głównych odcinków charakteryzujących dany aparat mowy i istotnych dla badań samogłosek: długości podniebienia twardego (kierunek „poziomy”¹³) i wyrostka zębodołowego (kierunek „pionowy”) są różne i trudno mówić tu o proporcjonalności, o czym świadczy porównanie stosunku między tymi długościami. Jeśli długość podniebienia twardego (wyrostka pod-

¹² Jest to bardzo proste przetworzenie zależności wyrażonej twierdzeniem Pitagorasa, przy czym przyprostokątnymi trójkąta prostokątnego są różnice poszczególnych współrzędnych obu punktów. Parametry x , y to współrzędne punktów siatki modeli i punktu L (kolejność podstawiania nie jest istotna, tzn. x_1 i y_1 mogą być zarówno współrzędnymi punktu siatki, jak i punktu L).

¹³ Użycie cudzysłowu wynika z faktu, że mówiąc o kierunku poziomym w odniesieniu do podniebienia twardego, nie chodzi o poziomy brzeg kartki, na którym znajduje się obraz, ponieważ nawet drobne obrócenie głowy lub nawet samego obrazu (jeśli np. został wstawiony do dokumentu przygotowanego w komputerowym edytorze tekstu) może spowodować, że linia poziomego brzegu kartki i linia podniebienia nie będą równoległe. W niektórych obrazach głosek (zob. np. rys. 33, 35 w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951) podniebienie twarde jest wyraźnie ukośne względem brzegów obrazu głoski. Jednakże ten kierunek wygodnie będzie traktować jako **względnie poziomy**. Nie jest on jednak (na co właśnie wskazuje cudzysłów) bezwzględnie lub absolutnie poziomy, jeśli za taki przyjmiemy górny (lub dolny) brzeg kartki (lub dokumentu komputerowego), na którym znajduje się obraz danej głoski. Analogicznie rzecz się ma w przypadku kierunku „pionowego” wyznaczanego przez wyrostek zębodołowy. Jest to bardzo ważne zastrzeżenie, ponieważ położenie istotnych w analizie danego obrazu punktów będziemy zawsze rzutować na linie, które są tylko względnie poziome i pionowe, tzn. są wyznaczone przez wyrostki trzonu szczęki. Żeby więc nie odnosić określeń „pionowy” i „poziomy” automatycznie do brzegów obrazu głoski, cudzysłowem zaznaczono każdorazowo względność tych pojęć.

niebiennego i kości podniebienia) oznaczymy symbolem p^{14} , a literą d – długość wyrostka podniebennego, wówczas okaże się, że najmniejszym średnim stosunkiem d/p (równym w przybliżeniu 1) w przeanalizowanych na potrzeby tego artykułu obrazach odznacza się aparat mowy ukazany w pracy KONECZNEJ i ZAWADOWSKIEGO (1951, osoba 2.), natomiast największym (ok. 1,6) – aparat przedstawiony w opracowaniu LAVERA (1994: ix)¹⁵. Od długości tych odcinków zależeć będzie

¹⁴ Dokładny sposób wyznaczania odcinków pomocniczych opisano w dalszej części artykułu.

¹⁵ Oto zestawienie uzyskanych średnich w przebadanych obrazach:

- JONES, 1967 – samogłoski podstawowe [i a u] – średni stosunek $\frac{d}{p}$ 111,72%;
- KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 (osoba 1., rys. 8, 9, 17, 18, 26, 27, 34, 35); STRUTYŃSKI, 1992 (rys. 26, 27) – samogłoski polskie, odpowiednio: a, a, o, o, u, u, e, e, i, y – średni stosunek $\frac{d}{p}$ = 114,95%;
- KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 (osoba 2., rys. 10, 11, 12, 19, 20, 21, 28, 29), STRUTYŃSKI, 1992 (rys. 30, 35) – głoski polskie, odpowiednio: a, a, á, o, o, ó, u, u, i, u – średni stosunek $\frac{d}{p}$ = 99,67%;
- LAVER, 1994: ix – samogłoska neutralna [ə] – stosunek $\frac{d}{p}$ = 159,19%;
- Fonem.eu, 2011 (osoba 1.) – samogłoski polskie izolowane: i, y, e, a, o, u – średni stosunek $\frac{d}{p}$ = 108,97%;
- Fonem.eu, 2011 (osoba 5.) – głoski polskie w kontekstach: i (bity), j (daje, ogier), y (bity, byty [obie], bety, baty, boty, buty), e (bety, daje, efekt [obie]), a (baty, daje, cała [obie], podział, auto), o (boty, podział, ogier), u (buty), u (cała, auto) – średni stosunek $\frac{d}{p}$ = 105,24%;
- STOMP, 2010 (brak informacji o artykulacji w opisie filmu MRI) – stosunek $\frac{d}{p}$ = 123,68%;
- ERICSDOTTER, 1997 (kobieta, animacja „bit_mouth” – szerokie odchylenie żuchwy) – średni stosunek na podstawie pomiarów z każdej klatki filmu $\frac{d}{p}$ = 114,24%.

Rozbieżność w uzyskanych wynikach świadczy o nieproporcjonalności mierzonych długości (gdyby istniała jakakolwiek zależność tych długości, stosunek $\frac{d}{p}$ powinien być bardzo podobny). Współczynnik zmienności analizowanych

wartości wynosi ok. 15%, co znaczy, że średnie odchylenie od średniej arytmetycznej wynosi 15% z tej średniej. Wartość ta może się wydawać niewielka, ale stwarza niebezpieczeństwo, że siatka modeli uzyskana na podstawie badań wymówień tylko jednego informatora nie będzie adekwatna w każ-

zakres „poziomych” i „pionowych” ruchów języka. A skoro oba wymiary nie są proporcjonalne, przyjęto **dwa moduły** do przeliczania współrzędnych: **moduł „poziomy” p** dla współrzędnych iksowych oraz **moduł „pionowy” d** dla współrzędnych igrekowych. Dzięki temu uzyskano efekt zbliżony do rozciągania wspomnianej wcześniej siatki punktów modelowych osobno w „pionie” i „poziomie” w celu dostosowania jej do analogicznego zróżnicowania długości podniebienia twardego (wyrostka podniebiennego i kości podniebiennej) i dziąseł (wyrostka zębodołowego).

5. Za **punkt odniesienia** niezbędny do analizy położenia jakichkolwiek punktów (czy to punktu L , czy punktów w siatce modeli) obrano **punkt O** umiejscowiony w okolicach połączenia wyrostka podniebiennego i zębodołowego z trzonem szczęki. Patrząc od strony jamy ustnej, jest to obszar różnie określany w literaturze fonetycznej (w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951, rys. 1 – jest to granica między *praepalatum* i *postpalatum* lub tylna część tego pierwszego; w: LAVER, 1994 i IPA, 1999 – jest to granica obszarów postalweolarnego i palatalnego). Obranie innego punktu, np. zakończenia górnych siekaczy, mogłoby być wprawdzie wygodniejsze (zwłaszcza w przypadku artykulogramów), lecz pociągałoby za sobą ryzyko nasunięcia się siatki modeli na powierzchnię artykulatorów lub nawet jej przekroczenie (np. punkt odpowiadający samogłosce [i] mógłby się znaleźć wewnątrz wyrostka zębodołowego lub trzonu szczęki). Wynika to z dużego zróżnicowania kształtu linii *postalveolum-palatum* widocznej na różnych obrazach głosek. Za konieczne uznano więc „zaczepianie” początku siatki w obszarze najbardziej kluczowym dla artykulacji samogłosek, a mianowicie na styku obszarów palatalnego i postalweolarnego.
6. Punkt O wyznaczano na przecięciu dwóch linii pomocniczych: prostej p ¹⁶ (od *palatum*) i prostej a (*alveolum*). Za **prostą a** obrano linię w największym stopniu zależną od krzywizny linii *postalveolum-palatum*

dym przypadku, zwłaszcza w odniesieniu do tych aparatów mowy, które charakteryzują się nietypowym stosunkiem $\frac{d}{p}$ lub przynajmniej innym niż ok. 111% (tyle wynosił stosunek $\frac{d}{p}$ w przypadku Jonesa). Dlatego za bezpieczniejsze uznano stosowanie dwóch modułów.

¹⁶ Ponieważ w dalszej kolejności konieczne będzie odwoływanie się do punktów i odcinków leżących na prostych pomocniczych, a także względnych długości tychże odcinków, zastosowano następujące oznaczenia:

- proste, np. o , a ;
- odcinki leżące na tych prostych i zarazem długości tych odcinków, np. p , a ;
- punkty znajdujące się na tych prostych, np. P , D ;
- względne długości odcinków, np. m , \bar{s} .

i przechodzącą zarazem przez najłatwiejszy do wyznaczenia punkt na większości obrazów głosek – zakończenie górnych siekaczy¹⁷ (punkt *D*). Linia ta ma wyznaczać przybliżoną granicę między wyrostkiem podniebiennym a trzonem szczęki. Prosta *g* powinna w tym celu być styczna do linii *postalveolum-palatum* (sklepienia i przedniej ściany jamy ustnej w linii środkowej), a więc mieć z tą linią maksymalnie jeden punkt wspólny¹⁸. Prosta *p* natomiast kreśli się na podstawie dwóch innych linii pomocniczych: prostej *o* (*oris* – „ustny”) przechodzącej przez zakończenie górnych siekaczy (punkt *D*), zakończenie kości podniebiennej (punkt *P*) i powierzchnię sklepienia jamy ustnej (dolną krawędź śluzówki pokrywającej kość podniebienną – punkt *P'*), oraz prostej *d*, której wyznaczenie jest nieco trudniejsze. Prosta *d* (*dentes* – „zęby”) powinna przechodzić przez punkt *D* i znajdować się pod kątem 60° do pro-

¹⁷ Wyjątkiem mogą tu być słabej jakości zdjęcia wykonane techniką rezonansu magnetycznego (MRI), na których tkanka kostna przybiera kolor czarny. Pominięte są tu wymówienia osób z ubytkami przednich zębów, ponieważ wymaga to jedynie niewielkiej korekty proponowanej tu procedury: zamiast czubka górnych siekaczy należy obrać zakończenie górnych dziąseł (punkt *A*), czyli po prostu zamienić punkt *D* na punkt *A* – pozostałe kroki będą analogiczne. Osobnego ustalenia będą wymagały względne współrzędne punktów siatki modeli samogłosek.

¹⁸ W praktyce możemy mieć do czynienia z dwoma odstępstwami od tego założenia:

- 1) Linia *postalveolum-palatum* jest w pewnym obszarze prosta i jedynie ten obszar może być styczny z prostą *g*, gdyż nie da się znaleźć (stosując tradycyjne narzędzia kreślarskie – ołówek i linijkę) tylko jednego punktu wspólnego (zob. np. STYCZEK, 1973, os. 001 – prawie cały obszar postalweolarny jest styczny z prostą *g*). W takiej sytuacji prostą *g* niejako opierano na łuku *postalveolum-palatum*.
- 2) Linia *postalveolum-palatum* jest w całym lub prawie całym swoim przebiegu wklęsła (zob. KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951, os. 4., rys. 7). W takiej sytuacji należy albo pominąć odcinek alweolarny (zazębowy) linii *alveolum-palatum* i szukać „punktu podparcia” prostej *g* dalej, w obszarze postalweolarnym lub prepalatalnym, albo też nakreślić tę linię w przybliżeniu: pod średnim kątem 20° do prostej *o* przechodzącej przez zakończenie górnych siekaczy (punkt *D*) i zakończenie kości podniebiennej (punkt *P*; zob. dalej fragment dotyczący przybliżonego ustalania położenia punktu *O*). Jeśli ustalenie zakończenia kości podniebiennej nie jest możliwe, a tym samym również wykreślenie prostej *o* nie jest możliwe (artykulogram, słabej jakości zdjęcie rentgenowskie lub uzyskane techniką MRI), wówczas nie można wyznaczyć prostej *g* i odnaleźć punktu *O*. Jest to w tym momencie jedyne ograniczenie proponowanej metody wyznaczania punktów pomocniczych na konkretnym aparacie mowy.

stej o^{19} . Prosta p ma natomiast przechodzić przez punkt P^{20} oraz przecinać prostą d pod kątem prostym. Przecięcie prostej p z prostą a wyznacza położenie punktu O .

7. Ułożenie warg przyjmuje się opisywać na podstawie 3 parametrów:
- r_o (od *rima oris* – łac. „szpara ustna”, zob. DZWONKOWSKI et al., 1967: 166) – najmniejsza odległość między wargami;
 - r_d (*rima dentes* – „szpara zębowa”) – odległości między krawędziami siekaczy zrzurowanymi na prostą d^{21} ;
 - s (od *superius w labium superius* – „warga górna”) – odległości między najniższym punktem na powierzchni górnej wargi (wyznaczanym podobnie jak punkt L , zob. niżej) a jego rzutem na prostą d .

¹⁹ Wybór 60° nie jest przypadkowy z kilku względów: to większy kąt ostry ekerki prostokątnej, która może być stosowana do wykreślenia prostej d . Prosta pod takim kątem będzie mniej więcej pionowa (równoległa z brzegiem obrazu danej głoski), a to z kolei ułatwi odnajdywanie najwyższego punktu na powierzchni języka (punktu L). Kąt 60° jest także bardzo łatwy do wykreślenia przy użyciu cyrkla i linijki: wystarczy w punkcie, który ma być wierzchołkiem kąta, zakreślić łuk o dowolnym promieniu przecinający prostą pokrywającą się z jednym z ramion szukanego kąta (w naszym przypadku będzie to prosta o). W punkcie przecięcia łuku z ramieniem kąta kreślimy kolejny łuk o takim samym promieniu co poprzednio. Punkt przecięcia obu łuków jest punktem, przez który należy poprowadzić prostą przechodzącą przez wierzchołek kąta (punkt D). Obie proste będą się przecinać pod kątem 60° .

²⁰ Wyznaczanie dwóch blisko siebie położonych punktów P i P' może się wydawać zbędne, jest jednak konieczne, by prezentowana metoda mogła być stosowana do analizy artykulogramów, w których zakończenie kości podniebiennej nie jest widoczne, możliwe jest jednak odwzorowanie powierzchni sklepienia jamy ustnej.

²¹ Zrzurowanie wydaje się konieczne, skoro ten parametr ma oddawać odchylenie żuchwy. Krawędzie siekaczy nie stykają się bowiem ze sobą poza przypadkami wad zgryzu (zob. DZWONKOWSKI et al., 1967: 171). Gdyby więc parametr r_d był mierzony tak samo jak r_o , wówczas oprócz odchylenia żuchwy mierzone byłoby przesunięcie krawędzi siekaczy, co jest do badania artykulacji wargowej zbędne. Poza tym analogiczny do r_o pomiar odległości r_d nie pozwalałby na stwierdzenie zerowego odchylenia żuchwy poza, rzecz jasna, przypadkami przodozgryzu. Proponowany sposób pomiaru parametru r_d nie jest wprawdzie idealny: siekacze dolne nie przesuwają się przecież podczas obniżania żuchwy po linii prostej w dół, ale po łuku. Nie jest jednak istotne, by dokładnie ustalić położenie dolnych siekaczy, lecz by dysponować parametrem bezpośrednio związanym z położeniem żuchwy (a zarazem rozsunięciem wzajemnym obu warg), który byłby łatwy do zmierzenia i który dałoby się wprowadzić do obliczeń. Można by wobec tego mierzyć odległość między krawędziami siekaczy (a więc analogicznie do r_o), jednakże do obliczeń mógłby się wkraść błąd wynikający z wad zgryzu lub przesunięcia żuchwy.

Odcinek r_o pozwoli ustalić zbliżenie górnej i dolnej krawędzi warg, a odcinek s umożliwi stwierdzenie, czy wargi są wyđęte. Parametr r_d będzie natomiast służył do obliczenia spodziewanych dla danego odchylenia żuchwy wartości r_o i s w przypadku braku labializacji.

8. Przyjęto następujące typy artykulacji wargowej (ułożenia warg; transkrypcja za: IPA, 1999):
- a) spłaszczenie (oznaczenie: <ɛ>) – kąciki warg są rozsunięte względem położenia neutralnego, dolna i górna krawędź warg mogą być przysunięte lub odsunięte;
 - b) niezaokrąglenie (położenie neutralne) – parametry r_o i s nie odbiegają znacząco od spodziewanych dla danego r_d (odchylenia żuchwy);
 - c) częściowe (słabe) otwarte zaokrąglenie (ang. *open rounded*, za: LAVER, 1994; symbol: <ɔ>) – kąciki ust są przysunięte, a krawędzie ust (górna i dolna) są odsunięte;
 - d) (silne) otwarte zaokrąglenie (symbol <ɔ>) – jak wyżej, ale z wyđęciem ust;
 - e) częściowe (słabe) przymknięte zaokrąglenie (ang. *close rounded*, za: LAVER, 1994; symbol <ɔ>) – i kąciki, i krawędzie ust są ściągnięte²²;
 - f) (silne) przymknięte zaokrąglenie (<ɔ>) – jak wyżej, ale z wyđęciem ust²³.

Proste i punkty pomocnicze

Każdy aparat mowy jest nieco inny: różni się kształtem poszczególnych elementów i ich względną długością. Różnice te, choć niewielkie, są na tyle wyraźne, że konieczne jest pewne ich ujednoczenie. Do tego celu będą służyły proste i punkty pomocnicze wyznaczane na podstawie położenia pewnych szczególnych elementów budowy nasady. Niektóre z nich są łatwo zauważalne na obrazie głoski:

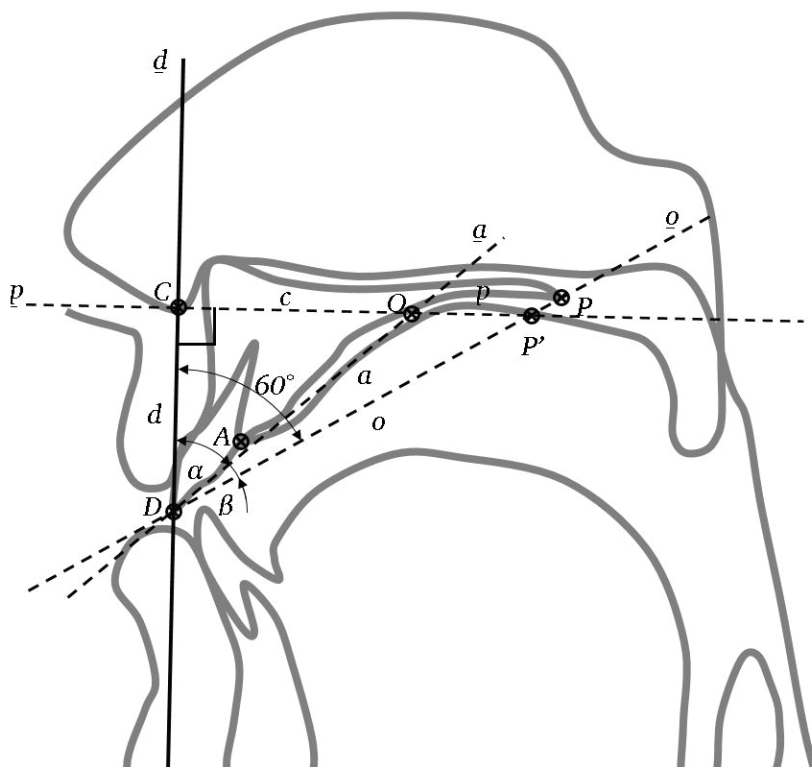
- punkt *D* – zakończenie górnych siekaczy (z wyjątkiem osób nieposiadających tych zębów),
- punkt przejścia górnych siekaczy w dziąsło,
- punkt *P* – zakończenie kości podniebienia,
- punkt kolca nosowego przedniego,

²² John LAVER (1994: 279) przyjmuje mniej rygorystyczny warunek dla labializacji typu *close rounded*: krawędzie warg mogą, lecz nie muszą być zsunięte, warunkiem jest zsunięcie kącików ust. Wyznacznikiem labializacji typu *open rounded* jest natomiast według tego badacza ściągnięcie kącików ust łącznie z rozsunieniem krawędzi. Temu ostatniemu typowi labializacji towarzyszy częściej, zdaniem Lavera, wyđęcie warg niż w przypadku przymkniętego zaokrąglenia (*close rounded*).

²³ Na temat liczby przyjętych typów artykulacji wargowej zob. przypis 8.

- punkt zakończenia języczka,
- linia (krzywa) zębów, dziąseł i podniebienia (sklepienia jamy ustnej),
- linia (krzywa) powierzchni języka,
- linia (krzywa) tylnej ściany gardła.

Spośród nich jedynie punkty *D* i *P* oraz zarys sklepienia jamy ustnej i powierzchni języka okażą się w dalszym ciągu najbardziej pomocne. Dodatkowe proste i punkty pomocnicze, których wyznaczanie opisano wcześniej w założeniu 6., przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Położenie punktów i prostych pomocniczych

Źródło: Opracowanie własne. Obrys w tle na podstawie: LAVER, 1994: ix.

Przybliżone wyznaczanie punktu *O*

Zdarza się, że nie jest możliwe wykreślenie prostej *a* przechodzącej przez punkt *D* i stycznej do linii reprezentującej powierzchnię wewnętrzną wyrostka zębodołowego w obszarze prepalatalnym lub postalweolarnym. Taka sytuacja może mieć miejsce wówczas, gdy obszar alweolarny nie jest wypukły, lecz płaski lub wklęsły, a obszar prepalatalny/postalweolarny

nie jest wklęsły, lecz płaski lub wypukły. W takim przypadku linię g można wyznaczyć z pewnym przybliżeniem, które wydaje się wystarczające, gdyż pozwala nie tylko wyznaczyć niezbędny punkt O , lecz także uwzględnić indywidualne zróżnicowanie kształtu aparatu mowy badanego.

Otóż jeśli przyjrzymy się kątom CDO i ODP' (oznaczymy je kolejno jako α i β), zmierzonym w konkretnych przypadkach, zauważymy, że mają zwykle dość zbliżone wartości, które w przybliżeniu wynoszą odpowiednio: 40° i 20° ²⁴ (zob. tabela 2).

TABELA 2

Wyniki pomiarów kąta między prostymi d i g (kąt α) oraz o i g (kąt β)

Zawartość obrazu	Źródło obrazu	Kąt α [°]	Kąt β [°]
Samogłoska podstawowa [i]	JONES, 1967	39,03	20,97
Samogłoska podstawowa [u]	JONES, 1967	39,28	20,72
Samogłoska podstawowa [a]	JONES, 1967	44,23	15,77
Samogłoska podstawowa [ɑ]	JONES, 1967	35,09	24,91
Neutralne ułożenie artykulatorów	KZ1*	39,68	20,32
Polskie i, y, e, a, o, u, \dot{i} , \dot{u}	KZ1 (średnia z 10 pomiarów)	40,57	19,43
Neutralne ułożenie artykulatorów	KZ2	37,88	22,12
Polskie i, y, e, a, o, u, \dot{i} , \dot{u}	KZ2 (średnia z 10 pomiarów)	35,1	24,9
Neutralne ułożenie artykulatorów	KZ3	36,18	23,82
Samogłoska neutralna [ə]	LAVER, 1994: ix	48,32	11,68**
Polskie i, y, e, a, o, u, \dot{i} , \dot{u}	F1 (średnia z 6 pomiarów)	39,12	20,88
Polskie i, y, e, a, o, u, \dot{i} , \dot{u}	F5 (średnia z 27 pomiarów)	37,99	22,01
Brak opisu	STOMP, 2010	42,72	17,28
Odchylenie żuchwy	ERICSDOTTER, 1997 (średnia z 14 pomiarów)	40,52	19,48
Średnia		39,694	20,306

* Oznaczenia i skróty jak w tabeli 1.

** Aparat mowy LAVERA (1994: ix) odznacza się wyjątkowo krótkim wyrostkiem podniebiennym i kością podniebienia, za to masywnym trzonem szczęki, co jest powodem wyraźnego odstających wartości w prezentowanej tabeli.

Źródło: Opracowanie własne.

W celu wykreślenia prostej g leżącej pod kątem 20° względem prostej o oraz pod kątem 40° względem prostej d najprościej będzie posłużyć się

²⁴ Dokładniej: $39,69357^\circ$ i $20,30643^\circ$.

kątomierzem; jedyny sposób precyzyjnej konstrukcji takich kątów przy użyciu linijki i cyrkla to tzw. konstrukcja Archimedes²⁵.

Analiza obrazów artykulograficznych

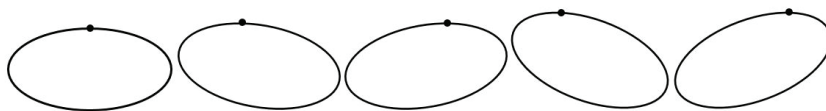
Obrazy głosek uzyskane metodą artykulograficzną są szczególnie: nie jest możliwe precyzyjne wskazanie zakończenia kości podniebienia (punktu P), co z kolei uniemożliwia wykreślenie linii o i d . Jeśli powierzchnia wewnętrzna wyrostka zębodołowego jest wklęsło-wypukła (wklęsła w odcinku prepalatalnym/postalweolarnym, a wypukła w obszarze alweolarnym), możliwe jest wykreślenie wszystkich linii pomocniczych, począwszy od linii a , w sposób przybliżony. W przeciwnym wypadku punktem wyjścia musi być prosta p , którą należy narysować tak, aby miała jak najwięcej punktów wspólnych z obszarem palatalnym (linią *palatum*). Do przedłużonej prostej p rysuje się w okolicach kolca nosowego prostopadłą d przechodzącą przez punkt D , a następnie przez punkt D prowadzi prostą o pod kątem 60° do linii d . Kreślenie prostej a odbywa się jak poprzednio (pod kątem 20° do prostej o i 40° do prostej d).

Najwyższy punkt na powierzchni języka

Pojęcie najwyższego punktu na powierzchni języka (punkt L), choć często stosowane (ilekroć przywoływany jest model czworokąta samogłoskowego Daniela Jonesa), prawdopodobnie nie zostało dokładniej opisane. Wyznaczanie tego punktu, niezmiernie ważne w przedstawianej metodzie, jest jednak problematyczne. Trzeba przede wszystkim wyjaśnić, co znaczy „najwyższy”. Jeśli powierzchnię języka będziemy rozumieć jak linię krzywą, a więc zbiór punktów, wówczas mówienie o „wysokości” każdego z tych punktów jest możliwe jedynie wówczas, gdy każdy z nich zrzućmy na jakąś oś. Musimy wobec tego wpisać zarys powierzchni języka w układ współrzędnych. Takim układem, jak można przypuszczać, jest według autorów opisujących model Jonesa układ krawędzi obrazu danej głoski lub po prostu brzegi kartki, na której ten obraz się znajduje. Jeśli wobec tego lewy dolny róg tego obrazu uznamy za punkt $(0, 0)$, krawędź pionową za oś rzędnych (OY), a krawędź poziomą za oś odciętych (OX), wówczas punkt L będzie tym punktem w zbiorze punktów wchodzących w skład krzywej tworzącej powierzchnię języka, który po zrutowaniu na oś OY będzie miał największą drugą współrzędną ($y = \max$).

²⁵ Zob. Trysekcja kąta. W: Wikipedia. Wolna encyklopedia [online]. Dostępny w Internecie: http://pl.wikipedia.org/wiki/Trysekcja_k%C4%85ta [dostęp: 11.08.2014].

To jednak nie rozwiązuje wszystkich problemów. Jeśli bowiem będziemy mieli do czynienia z obrazem, na którym głowa badanego jest przechylona, wówczas korzystanie z takiego zewnętrznego układu odniesienia (brzeży obrazu) może powodować błędy w wyznaczaniu punktu L . Poza głoskami artykułowanymi z płaskim układem języka organ ten może przyjmować w swej górnej części kształt mniej lub bardziej idealnej elipsy. Załóżmy na chwilę, że przechylenie głowy badanego będziemy imitować obrotami samej elipsy wokół punktu w połowie odległości między jej ogniskami. Nietrudno sobie wyobrazić, że przy takim rozumieniu położenia punktu L jak opisane wyżej (w odniesieniu do krawędzi obrazu głoski) będziemy mieli do czynienia z różnymi punktami zależnie od ułożenia elipsy (zob. rys. 2).



Rys. 2. Ilustracja różnego rozmieszczenia najwyższego punktu na powierzchni języka przy różnym przekrzywieniu głowy badanego (powierzchnia języka zobrażowana w uproszczeniu za pomocą elipsy)

Źródło: Opracowanie własne.

Tak więc położenie punktu L zależy od przyjętego układu odniesienia. Można zatem powiedzieć, że jeśli najwyższy punkt na powierzchni języka będziemy ustalać względem krawędzi obrazu głoski, wówczas położenie punktu L będzie zależało od przechylenia głowy badanego lub obrócenia samego obrazu, a nie od faktycznego wybrzuszenia powierzchni języka. Obszar artykulacji samogłosek (pole, w obrębie którego może się znaleźć punkt L) jest na tyle niewielki, że na rozbieżności w umiejscowieniu najwyższego punktu na powierzchni języka nie można sobie pozwolić. Jest to także tym ważniejsze, im większą dokładność opisu przyjmujemy (a proponowana tutaj metoda pozwala analizować artykulację na wysokim poziomie dokładności). Można też uznać za niekonsekwencję odnoszenie za każdym razem innego układu narządów mowy do arbitralnego układu krawędzi danego obrazu lub kartki, na której znajduje się obraz badanej głoski. Zwłaszcza że jedynie w artykulografii owe układy są zawsze skoordynowane z rejestrowanym aparatem mowy (punktami odniesienia do analizowania położenia sond są sonda umieszczona pod nosem oraz sondy umiejscowione za uszami, w okolicach wyrostków sutkowych); w rentgenografii, ultrasonografii i badaniach MRI układ głowy może być za każdym razem nieco inny (w ultrasonografii pojawić się może dodatkowo błąd wynikający z przekrzywienia sondy wysyłającej ultradźwięki).

Konieczne jest więc zaproponowanie innej metody wyznaczania położenia punktu L , w ramach której nie będziemy odnosić danego ułożenia artykulatorów do niezwiązanego z nim układu odniesienia (krawędziami kartki, zdjęcia rentgenowskiego itp.). To układ artykulatorów powinien być źródłem układu odniesienia. Można zaproponować taki układ, mając wyznaczone wcześniej proste pomocnicze. Osią, na którą rzutować będziemy punkty na powierzchni języka, będzie prosta \underline{d} . Jak wynika z przedstawionego wyżej objaśnienia, nachylenie tej prostej będzie uzależnione od nachylenia układu artykulatorów, w tym jednych z najważniejszych: podniebienia, dziąseł i zębów. Tę prostą możemy potraktować jako oś OY i na nią rzutować punkty tworzące obrys powierzchni języka. Za początek (punkt $[0, 0]$) możemy obrać przecięcie prostej \underline{d} z prostą p , a punkt ten oznaczyć literą C (od łac. *corpus* – „trzon”, punkt ten leży blisko trzonu szczęki).

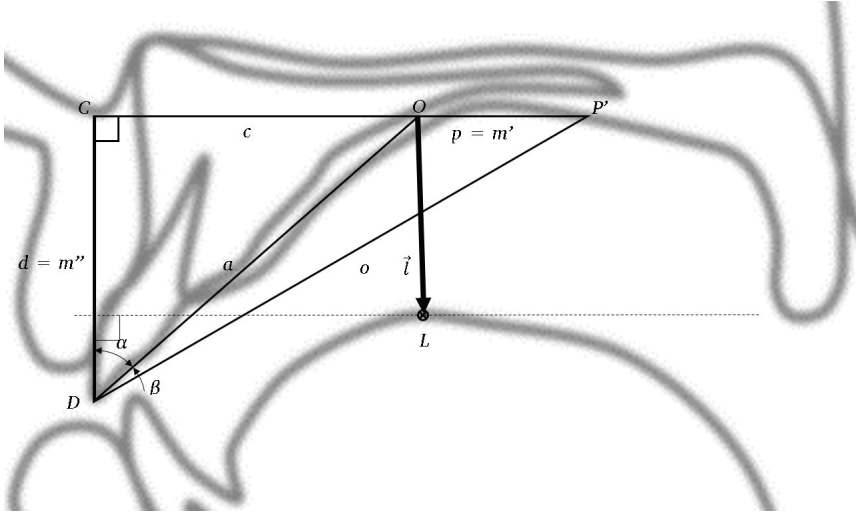
Jeśli język leży płasko w jamie ustnej (nie jest wybrzuszony), wówczas tę samą maksymalną współrzędną igrekową może mieć większa liczba punktów tworzących odcinek powierzchni języka dokładnie prostopadły do prostej \underline{d} , a równoległy do prostej p . Wówczas za punkt L proponuje się przyjmować punkt leżący na środku tego odcinka²⁶.

Samogłoski i wektory wodzące

Dysponując punktem odniesienia (punkt O na przecięciu prostych p i \underline{a}) oraz jednoznacznie określonym punktem L , możemy dokładnie zmierzyć położenie tego ostatniego punktu, korzystając z pojęcia **wektora wodzącego**. Początek tego wektora będzie się znajdował w punkcie O , koniec natomiast w punkcie L . Ponieważ każdy wektor wodzący będzie miał ten sam punkt początkowy, współrzędne punktu końcowego (x, y) możemy uznać za współrzędne samego wektora. Współrzędne te możemy bardzo łatwo uzyskać, rzutując wektor wodzący lub po prostu punkt L na odpowied-

²⁶ Najdokładniejszym sposobem wyznaczania położenia punktu L w opisanej sytuacji wydaje się odnajdywanie maksimum funkcji (a więc argumentu x , dla którego pierwsza pochodna tej funkcji się zeruje) opisującej położenie punktów na powierzchni języka. Taka procedura mogłaby być stosowana tylko wówczas, gdybyśmy cały obrys powierzchni języka lub dużą jego część mogli wprowadzić do komputera jako współrzędne punktów (to akurat możliwe jest w artykulografii). W przypadku ręcznego analizowania obrazów głosek metoda maksimum funkcji byłaby niewarta włożonego w nią trudu, gdyż konieczne byłoby ustalenie położenia wielu punktów na powierzchni języka w celu ustalenia wzoru wspomnianej funkcji. Ostateczny rezultat – współrzędne punktu, w którym funkcja opisująca powierzchnię języka przyjmuje najwyższą wartość – nie powinien znacząco odbiegać od ręcznie wyznaczonego położenia punktu L .

nie osie przecinające się pod kątem prostym. Dla pierwszej współrzędnej będzie to prosta p , dla drugiej – d ²⁷ (zob. rys. 3).



Rys. 3. Oznaczenia odcinków i punktów stosowanych w opisie najwyższego punktu na powierzchni języka (punktu L)

Źródło: Opracowanie własne. Obrys w tle na podstawie: LAVER, 1994: ix.

Zestawmy parametry opisujące położenie punktu L w odniesieniu do punktu O :

– l – (bezwzględna) długość wektora wodzącego \vec{l} , najkrótsza odległość między punktami L i O określona wzorem:

$$l = |\vec{l}| = \sqrt{x^2 + y^2};$$

- x – składowa „pozioma” lub pierwsza współrzędna wektora \vec{l} i punktu L (wartość bezwzględna);
- y – składowa „pionowa” lub druga współrzędna wektora \vec{l} punktu L (wartość bezwzględna);
- m' – moduł pierwszy (kierunku „poziomego”) równy odcinkowi p (odległości między punktami O i P');
- m'' – moduł drugi (kierunku „pionowego”) równy odcinkowi d (odległości między punktami C i D);
- wartości kątów między prostymi d , a i o :

²⁷ Powinniśmy w zasadzie poprowadzić nową prostą prostopadłą do p i przechodzącą przez punkt O , jednakże efekt rzutowania wektora wodzącego i punktu L na taką oś byłby taki sam jak w przypadku prostej d .

$$\alpha = \operatorname{artg}\left(\frac{d \cdot \operatorname{tg}60^\circ - p}{d}\right) = \operatorname{artg}\left(\frac{d \cdot \sqrt{3} - p}{d}\right) = \operatorname{artg}\left(\sqrt{3} - \frac{p}{d}\right) \approx \operatorname{artg}\left(1,732 - \frac{p}{d}\right)$$

$$\theta = 60^\circ - \alpha;$$

- wybrane zależności między odcinkami d , o , c , p i a :

$$d = \frac{o}{2} = c \cdot \operatorname{ctga}$$

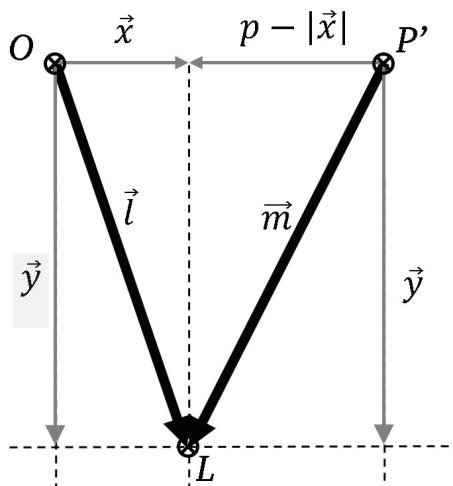
$$o = \frac{2(p+c)}{\sqrt{3}}$$

$$c = \frac{d}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{o}{2 \cdot \operatorname{tg}\alpha} = \sqrt{a^2 - d^2} = \sqrt{3} \cdot d - p$$

$$p = d \cdot \operatorname{tg}60^\circ - c = \sqrt{3} \cdot d - c \approx 1,732 \cdot d - c$$

$$a = \frac{d}{\cos\alpha}.$$

Znając długość obu modułów (a będą one potrzebne do przeliczania wartości bezwzględnych na względne), możemy położenie punktu L ustalić nieco łatwiej - za pomocą dwóch wektorów wodzących zamiast jednego, którego współrzędne (lub wektory składowe) musielibyśmy odczytywać po zrzutowaniu na proste p i d . Pierwszy wektor wodzący może, jak poprzednio, wychodzić z punktu O , a drugi z punktu P' , co ukazuje rysunek 4.



Rys. 4. Wektory \vec{l} i \vec{m} opisujące położenie najwyższego punktu na powierzchni języka (L) względem punktów O i P' oraz (kolor szary) składowe tych wektorów

Źródło: Opracowanie własne.

Współrzędne x i y najwyższego punktu na powierzchni języka i zarazem długości składowych pierwszego wektora wodzącego l obliczymy przy użyciu następujących wzorów²⁸:

$$x = \frac{1}{2p}(l^2 + p^2 - m^2)$$

$$y = \sqrt{l^2 - x^2}$$

Sytuacja, w której wektor \vec{m} jest dłuższy od odcinka p , nie wymaga wyprowadzania nowych wzorów, ponieważ w trakcie przekształcania i tak natrafimy na kwadrat różnicy (zob. wyprowadzenie podane w przypisie 28.), który zgodnie z odpowiednim wzorem skróconego mnożenia przekształca się na sumę kwadratów, od której odejmujemy podwojony iloczyn obu wartości wchodzących w skład wyjściowego działania.

Siatka punktów modelowych

Wiemy już, jak opisywać położenie najwyższego punktu na powierzchni języka. Żeby jednak przypisać danemu układowi artykulatorów określony symbol fonetyczny, musimy dysponować pewnym zestawem modelowych układów artykulatorów, które już wcześniej oznaczono symbolami fonetycznymi. Ponieważ punkt L opisujemy współrzędnymi wektora wodzącego (x, y) , każde modelowe ułożenie artykulatorów dla danej samogłoski również musi być scharakteryzowane parą współrzędnych. Punkt L może się znajdować w pewnym zakresie, który zgodnie z modelem samogłosek

²⁸ Obie współrzędne wyznaczono z prostych zależności między bokami trójkątów prostokątnych: pierwszego o bokach y, x, l (ostatnia jest przeciwprostokątną) i drugiego o bokach $y, p - x, m$ (wektor wodzący \vec{m} pokrywa się z przeciwprostokątną). Mamy więc układ równań:

$$\begin{cases} l^2 = y^2 + x^2, & \rightarrow y^2 = l^2 - x^2 \\ m^2 = y^2 + (p - x)^2, & \rightarrow m^2 = y^2 + p^2 + x^2 - 2px. \end{cases}$$

Po podstawieniu wzoru na y^2 do drugiego równania otrzymujemy:

$$m^2 = l^2 - x^2 + p^2 + x^2 - 2px = l^2 + p^2 - 2px.$$

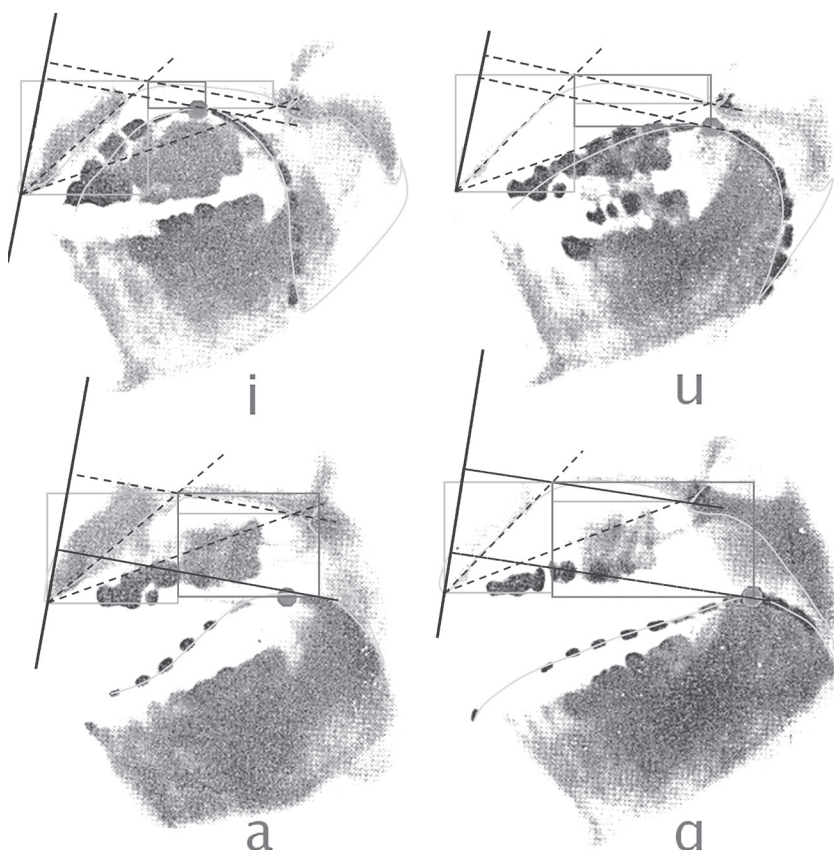
Wystarczy teraz uporządkować wartości znane (m, l, p) i szukane (x) :

$$2px = l^2 + p^2 - m^2$$

$$x = \frac{1}{2p}(l^2 + p^2 - m^2).$$

Wzór na drugą współrzędną wyprowadzić można z równania: $y^2 = l^2 - x^2$.

podstawowych Jonesa możemy scharakteryzować czterema punktami skrajnymi: położeniem punktu L podczas artykulacji następujących samogłosek: [i y], [u u], [a œ] i [a ɒ]²⁹. Bezwzględne współrzędne samogłosek podstawowych możemy odczytać z dostępnych rentgenogramów przedstawiających artykulację samogłosek podstawowych w wykonaniu samego Daniela JONESA (1967). Analizy wraz z wynikami pomiarów istotnych dla nas wartości (moduły m' , m'' i współrzędne x , y) zestawiono poniżej (zob. rys. 5, tabela 3)³⁰.



Rys. 5. Analizy rentgenogramów samogłosek podstawowych [i u a ɒ] wymawianych przez Daniela Jonesa

Źródło: Opracowanie własne. Rysunki przedstawiają analizy grafik (zob. opis w tekście). Rentgenogramy pochodzą z: JONES, 1967.

²⁹ Druga samogłoska w każdej parze to odpowiednik zaokrąglony pierwszej głoski. Labializacja – mimo jej częstego współwystępowania z welaryzacją – jest jednak odrębnym ruchem artykulacyjnym, dlatego każde położenie punktu L może charakteryzować zarówno samogłoskę niezaokrągloną, jak i zaokrągloną.

³⁰ Ponieważ poniższe dane są szczególnie ważne (od ich poprawności zależą rozpoznania samogłosek), pomiary przeprowadzono dwukrotnie: pierwszy

TABELA 3

Wyniki pomiarów modułów i wektorów wodzących charakteryzujących wymówienia samogłosek podstawowych w wykonaniu Daniela Jonesa (cm)

Samogłoska	Analiza wydruków							Analiza grafik						
	p	d	l	m	x	y	p_x	p_y	p	d_x	d_y	d	x	y
i	2,17	2,35	1,08	1,21	1,01	0,36	2,26	0,49	2,31	0,47	2,38	2,43	1,04	0,48
a	1,76	2,32	2,76	1,59	2,32	1,49	2,11	0,37	2,14	0,43	2,33	2,37	2,55	1,87
u	2,44	2,37	2,56	0,40	2,53	0,39	2,41	0,52	2,47	0,52	2,45	2,50	2,47	0,93
α	2,13	2,33	4,30	2,50	3,93	1,74	2,35	0,35	2,38	0,34	2,23	2,26	3,64	2,07

Źródło: Opracowanie własne.

Przytoczonych danych nie możemy na razie wykorzystać do analizy innych obrazów, gdyż są to wartości bezwzględne (wyrażone w jednostkach bezwzględnych). Punkt L dla samogłoski [i] będzie miał współrzędne (1,03; 0,42) tylko dla takiego aparatu mowy, w którym oba moduły przyjmują odpowiednio wartości 2,24 oraz 3,10 cm. Nietrudno zrozumieć, że znalezienie takiego aparatu mowy będzie praktycznie niemożliwe (dane w tabeli 3 pokazują, że nawet moduły określone na tym samym aparacie mowy mogą się od siebie – choćby nieznacznie – różnić³¹).

Żeby jednak współrzędne wektorów wodzących mogły być stosowane w przypadku innych aparatów mowy, konieczne jest ich zrelatywizowanie – wyrażenie w jednostkach względnych. Współczynnikiem względności będą zdefiniowane wcześniej moduły: moduł pierwszy m' (p) dla pierwszej współrzędnej (x), a moduł drugi m'' (d) dla drugiej (y). Wykorzystanie dwóch modułów wynika z przyjętego założenia, że czworokąt samogłosek podstawowych musi być każdorazowo (dla każdego konkretnego aparatu mowy) dostosowany (rozciągnięty lub skurczony) w dwóch kierunkach (założenie 4.). Stosowanie jednego modułu spowodowałoby, że będziemy w każdym przypadku dostosowywać jedynie rozmiar czworo-

raz na wydrukach rentgenogramów (proste pomocnicze nakreślono ekierkami, a pomiary wykonano tradycyjną [nieelektroniczną] suwmiarką z dokładnością do 0,05 mm), drugi raz w edytorze tekstu (nakładając prostokąty na wklejone do dokumentu rentgenogramy i odczytując podawane przez program wymiary nałożonych figur w cm). Ten drugi pomiar ukazano na rysunku. Rozbieżności w uzyskanych wynikach usunięto przez uśrednienie danych (obliczenie średniej arytmetycznej) wykonane po przeliczeniu każdego pomiaru na wartości względne (zob. tabela 4). Uśrednione dane na podstawie pomiarów większej liczby dokładniejszych obrazów głosek powinny umożliwić ewentualne zweryfikowanie przedstawionych tutaj danych.

³¹ Wynika to stąd, że do pomiarów każdorazowo wykorzystywano inne obrazy (rentgenogramy) o różnej jakości, w związku z czym położenie poszczególnych prostych i punktów mogło być nieco różne na każdym obrazie.

kąta bez modyfikacji jego kształtu. Jeśli jednak punkt L może znajdować się w obrębie czworokąta samogłoskowego, którego wysokość i szerokość zależą od długości wyrostka zębodołowego i podniebiennego, musimy podczas nakładania czworokąta samogłosek modelowych na indywidualny aparat mowy dostosować obydwa jego wymiary do długości wspomnianych narządów. Do tego celu służą właśnie moduły p i d .

Zamiana bezwzględnych współrzędnych wektorów wodzących na wartości względne (zrelatywizowane do modułów) polega na obliczeniu prostej proporcji:

$$\begin{aligned} m' &= p - x \\ 100\% &- \bar{x} \end{aligned}$$

a więc względna współrzędna \bar{x} wynosi:

$$\bar{x} = \frac{x}{m'} \cdot 100\% = \frac{x}{p} \cdot 100\%$$

i analogicznie druga współrzędna \bar{y} :

$$\bar{y} = \frac{y}{m''} \cdot 100\% = \frac{y}{d} \cdot 100\%.$$

Mnożenie przez 100% nie jest oczywiście konieczne³².

W tabeli 4 zestawiono względne wartości współrzędnych punktu L dla samogłosek [i u a ɔ] w każdym z przeprowadzonych pomiarów, a także średnie arytmetyczne tych współrzędnych.

TABELA 4

Względne współrzędne wektorów wodzących opisujących położenie punktu L podczas artykulacji samogłosek podstawowych (wymówienia Daniela Jonesa) oraz średnie arytmetyczne tych współrzędnych

Samogłoski	Analiza wydruków		Analiza grafik		Średnie arytmetyczne	
	\bar{x}	\bar{y}	\bar{x}	\bar{y}	\bar{x}	\bar{y}
i y	0,468	0,152	0,45	0,198	0,459	0,175
a ɔ	1,317	0,642	1,19	0,789	1,254	0,715
u u	1,039	0,164	1,002	0,371	1,021	0,268
ɔ ɔ	1,844	0,745	1,532	0,918	1,688	0,832

Źródło: Opracowanie własne.

Samogłoski [i a u ɔ] stanowią narożniki czworokąta samogłoskowego. W jego obrębie znajduje się mnóstwo innych samogłosek. Znając położenia

³² Jeśli obliczenia przeprowadza się w arkuszu kalkulacyjnym, mnożenie przez 100% można pominąć (dla programu mnożenie przez 100% będzie tożsame z mnożeniem przez 1).

punktów granicznych, możemy ustalić położenia punktu *L*, a więc współrzędne wektorów wodzących opisujących położenie najwyższego punktu na powierzchni języka podczas artykulacji samogłosek pośrednich względem [i a u]. W tym miejscu należy wpierw założyć, ile i jakich samogłosek pośrednich będziemy szukać. Stosowany łącznie z modelem samogłosek podstawowych międzynarodowy alfabet fonetyczny (IPA) pozwala przedstawić w transkrypcji ogromną liczbę samogłosek. Zestaw niediakrytyzowanych (nieopatrzonych znakami diakrytycznymi) symboli samogłosek pozwala zaznaczać w transkrypcji międzynarodowej następujące szeregi samogłosek:

- w kierunku „pionowym”³³:
 - 1) wysokie, np. [i y i u],
 - 2) wysokie obniżone: [ɪ ʏ ʊ],
 - 3) średniowysokie, np. [e ø o],
 - 4) średnie: [ə],
 - 5) średnioniskie, np. [ɛ ɜ ʌ],
 - 6) niskie podwyższone, np. [æ ɐ],
 - 7) niskie, np. [a ɑ ɒ];
- w kierunku „poziomym”:
 - 1) przednie, np. [i e a],
 - 2) przednie cofnięte: [ɪ ʏ],
 - 3) środkowe, np. [i ɜ ə],
 - 4) tylne uprzednione: [u],
 - 5) tylne, np. [u u ɑ].

W kierunku „poziomym” brakuje niediakrytyzowanych symboli dla szeregu środkowego uprzednionego i środkowego cofniętego. Po ich dodaniu otrzymamy zestaw 7 szeregów samogłosek wydzielanych w „pionie” (rzędy) i 7 szeregów samogłosek wydzielanych w „poziomie” (kolumny). Daje to 49 możliwych ułożeń języka, które w konwencji międzynarodowej można oznaczyć symbolami przedstawionymi w tabeli 5.

Uzyskany zestaw samogłosek możemy bardzo łatwo opisać metodą wektorów wodzących: najwyższe punkty na powierzchni języka podczas artykulacji tych głosek będą znajdować się między punktami samogłosek najbardziej skrajnych. Tak jak w przypadku tych ostatnich głosek, współrzędne samogłosek pośrednich powinniśmy ustalać na podstawie względnych współrzędnych. Do precyzyjnego obliczenia współrzędnych samogłosek pośrednich możemy wykorzystać sposób, jaki zastosowałem w swej wcześniejszej pracy (RYBKA, 2014) w odniesieniu do częstotliwości formantowych. Opiszę go tutaj na przykładzie jednego szeregu samogłosek pośrednich (od [i y] do [u u]).

³³ Tak jak podczas ustalania położenia punktu *L* pojęcie pionu i poziomu jest względne: zależy od ułożenia (nachylenia) całego aparatu mowy. Dlatego wyrazy „pionowy” i „poziomy” są ujęte w cudzysłów.

Zestaw symboli IPA do oznaczenia samogłosek pośrednich względem samogłosek [i y a œ u u a ɔ]

Samogłoski niezaokrąglone							Samogłoski zaokrąglone						
i	ĩ	ĩ̇	ĩ	ĩ̇	ɨ	ɨ	y	ȷ	ɥ	ɥ	ɥ̇	ɥ	u
ĩ	ɪ	ɪ̇	ĩ̇	ĩ̇	ũ	ɥ	ẏ	ȷ̇	ɥ̇	ɥ̇	ɥ̇	ɥ̇	u̇
e	ė	ɘ	ɘ	ɘ̇	ɤ	ɤ	ø	œ	ø̇	ø̇	ø̇	ø̇	o
ė	ė	ɘ̇	ɘ̇	ɘ̇	ɤ̇	ɤ̇	ø̇	ø̇	ø̇	ø̇	ø̇	ø̇	ȯ
ɛ	ɛ̇	ɜ	ɜ	ɜ̇	ʌ	ʌ	œ	œ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɔ
æ	æ̇	ɸ	ɸ	ɸ̇	ʌ̇	ʌ̇	œ̇	œ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɔ̇
a	ȧ	ɸ̇	ɸ̇	ɸ̇	ɑ	ɑ	œ̇	œ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɜ̇	ɔ̇

Źródło: Opracowanie własne.

Interesuje nas współrzędna „pozioma”, a więc pierwsza. Dla [i y] jest ona mniejsza i wynosi w przybliżeniu 0,459; dla [u u] – ok. 1,02. Różnica tych wartości wynosi:

$$1,02 - 0,459 = 0,561.$$

Tę różnicę musimy podzielić przez liczbę samogłosek pośrednich, jakie mają się znajdować między [i y] oraz [u u], powiększoną o jeden³⁴:

$$0,561 : (5 + 1) \approx 0,0935.$$

Otrzymaną wartość będziemy dodawać do każdej współrzędnej, począwszy od współrzędnej „poziomej” samogłosek [i y], dzięki czemu uzyskamy następujący szereg pierwszych współrzędnych poszczególnych samogłosek wysokich od [i y] do [u u]:

$$0,45906 \quad 0,55263 \quad 0,64620 \quad 0,73978 \quad 0,83335 \quad 0,92693 \quad 1,02050.$$

Zestawienie względnych współrzędnych wektorów wodzących wszystkich 49 samogłosek zawiera tabela 6.

³⁴ Dodawanie jedynki można łatwo wyjaśnić: jeśli chcemy stwierdzić, jaka liczba znajduje się dokładnie między 10 a 12, wystarczy obliczyć różnicę $10 - 12 = 2$ i podzielić tę różnicę przez liczbę elementów, jakie mają się znaleźć między liczbami 10 i 12 (czyli 1) powiększoną o jeden. Następnie uzyskany wynik należy dodać do mniejszej spośród skrajnych liczb (lub odjąć od maksymalnej): $10 + 1 = 11$.

TABELA 6

**Względne współrzędne wektorów wodzących określających położenia samogłosek
w zastosowanej siatce modeli (pierwszy zestaw modeli)**

Samogłoska niezaokrąglona	Kod	Samogłoska zaokrąglona	Kod	\bar{x}	\bar{y}
1	2	3	4	5	6
i	000	y	001	0,459055018	0,174852623
ĩ	100	y _τ	101	0,591499168	0,264960053
e	200	ø	201	0,723943318	0,355067483
ẽ	300	ø̇	301	0,856387468	0,445174913
ε	400	œ	401	0,988831618	0,535282343
æ	500	œ̇	501	1,121275768	0,625389773
a	600	œ̇̇	601	1,253719918	0,715497203
ĩ	010	ŷ	011	0,55262924	0,190341982
ı	110	Ŷ	111	0,681544357	0,28109121
ẽ	210	œ̇	211	0,810459473	0,371840439
e _τ	310	ø̇ _τ	311	0,93937459	0,462589668
ε̇	410	œ̇̇	411	1,068289706	0,553338897
æ̇	510	œ̇̇ _τ	511	1,197204823	0,644088125
ã	610	œ̇̇̇	611	1,326119939	0,734837354
ĩ	020	ɦ	021	0,646203463	0,20583134
ı̇	120	ɦ _τ	121	0,771589546	0,297222368
ə	220	ø̇̇	221	0,896975629	0,388613395
ə̇	320	ø̇̇ _τ	321	1,022361712	0,480004423
ɜ	420	ø̇̇̇	421	1,147747795	0,57139545
ɛ̇	520	ø̇̇̇ _τ	521	1,273133878	0,662786478
ɛ̇ _τ	620	ø̇̇̇ _τ	621	1,398519961	0,754177505
ĩ	030	ɦ̇	031	0,739777685	0,221320699
ĩ̇	130	ɦ̇ _τ	131	0,861634735	0,313353525
ə	230	ø̇̇̇̇	231	0,983491784	0,405386351
ə̇	330	ø̇̇̇̇ _τ	331	1,105348833	0,497419178
ɜ̇	430	ø̇̇̇̇̇	431	1,227205883	0,589452004
ɛ̇̇	530	ø̇̇̇̇̇ _τ	531	1,349062932	0,68148483
ɛ̇̇ _τ	630	ø̇̇̇̇̇ _τ	631	1,470919982	0,773517657
ĩ	040	ɦ̇̇	041	0,833351908	0,236810057
ĩ̇̇	140	ɦ̇̇ _τ	141	0,951679923	0,329484682
ə̇̇	240	ø̇̇̇̇̇̇	241	1,070007939	0,422159307
ə̇̇̇	340	ø̇̇̇̇̇̇ _τ	341	1,188335955	0,514833932
ɜ̇̇	440	ø̇̇̇̇̇̇̇	441	1,306663971	0,607508557
ɛ̇̇̇	540	ø̇̇̇̇̇̇̇ _τ	541	1,424991987	0,700183183

1	2	3	4	5	6
ɛ _τ	640	ɛ _{ττ}	641	1,543320003	0,792857808
ɯ	050	ɯ	051	0,92692613	0,252299415
ũ	150	ũ _τ	151	1,041725112	0,345615839
ɤ	250	ɔ	251	1,156524095	0,438932263
ɤ _τ	350	ɔ _τ	351	1,271323077	0,532248687
Λ	450	ɔ	451	1,38612206	0,625565111
Λ _τ	550	ɔ _τ	551	1,500921042	0,718881535
ɑ	650	ɒ	651	1,615720024	0,812197959
ɯ	060	u	061	1,020500353	0,267788774
ɯ	160	ɯ	161	1,131770301	0,361746997
ɤ	260	o	261	1,24304025	0,455705219
ɤ	360	ɔ	361	1,354310199	0,549663442
Λ	460	ɔ	461	1,465580148	0,643621665
Λ	560	ɔ	561	1,576850097	0,737579887
ɑ	660	ɒ	661	1,688120046	0,83153811

Źródło: Opracowanie własne.

Zakresowy zestaw punktów modelowych

Przedstawiony zestaw modeli został wykorzystany do rozpoznawania samogłosek; rezultaty opisano w tabeli 1 jako rozpoznania pierwsze. Posługiwanie się tym zestawem jest nieco ryzykowne, gdyż oddaje on w bardzo dużym stopniu kształt aparatu mowy i nawyki wymawiania jednej tylko osoby. W dodatku sporządzony został na podstawie obrazów o dość niskiej jakości. Można jednak zaproponować nieco inny zbiór modeli, który uniezależniony będzie przynajmniej od skrajnych położań języka. Wykorzystujemy tutaj sposób podobny do tego, który przedstawiłem w swej wcześniejszej publikacji (Рывка, 2014), w której problem dotyczył skrajnych częstotliwości formantowych osiąganymi przez samogłoski. W zaprezentowanej tam metodzie stworzono taki zestaw modeli, który określał częstotliwości formantowe jedynie tych samogłosek, których formanty nie osiągały skrajnych wartości częstotliwości. Wartości skrajne częstotliwości formantowych ustalane były indywidualnie, przez pomiar częstotliwości formantowych wszystkich samogłosek (i tzw. półsamogłosek) w próbkach zawierających wypowiedzi tego samego informatora. Z tego zbioru wybierano wartości minimalne i maksymalne, służące następnie do ustalania względnych częstotliwości formantowych, które były docelowymi parametrami pozwalającymi porównywać samogłoski.

Podobnie możemy uczynić w przypadku współrzędnych określających położenie punktu L na powierzchni języka. Uzyskamy dzięki temu jeszcze bardziej względne parametry, bo odniesione nie tylko do modułów, lecz także do skrajnych położen osiąganých przez język u konkretnego informatora. Ponieważ owe współrzędne będą niejako „podwójnie względne”, możemy je oznaczyć symbolami \bar{x} i \bar{y} . Obliczymy je natomiast w następujący sposób:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x} - \bar{x}_{\min}}{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{x - x_{\min}}{R_x}$$

$$\bar{y} = \frac{\bar{y} - \bar{y}_{\min}}{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}} = \frac{y - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{y - y_{\min}}{R_x},$$

gdzie R_x i R_y to zakresy współrzędnych (odpowiednio: iksowej i igrekowej), stanowiące różnice maksymalnej i minimalnej współrzędnej osiąganęj przez punkt L na przeanalizowanych obrazach.

Skrajne współrzędne względne wektora wodzącego \vec{l} w przypadku rentgenogramów Jonesa wynoszą:

$$\bar{x}_{\min} = 0,45905501758637$$

$$\bar{x}_{\max} = 1,68812004565103$$

$$\bar{y}_{\min} = 0,17485262333590$$

$$\bar{y}_{\max} = 0,83153811002506.$$

A więc zakresy, w jakich znajdują się współrzędne, to:

$$R_x = \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min} = 1,22906502806466$$

$$R_y = \bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min} = 0,65668548668916.$$

Po przeliczeniu pierwszego zestawu współrzędnych modelowych na współrzędne zakresowe (\bar{x} , \bar{y}) otrzymamy następujący zbiór modeli (zob. tabela 7).

TABELA 7

**Współrzędne zakresowe wektorów wodzących określających położenia samogłosek
w zastosowanej siatce modeli (drugi zestaw modeli)**

Samogłoska niezaokrąglona	Kod	Samogłoska zaokrąglona	Kod	\bar{x}	\bar{y}
l	2	3	4	5	6
i	000	y	001	0	0
ĩ	100	y _τ	101	0,107760084	0,137215504
e	200	ø	201	0,215520167	0,274431008
ę	300	ø	301	0,323280251	0,411646512
ɛ	400	œ	401	0,431040334	0,548862016
æ	500	œ	501	0,538800418	0,686077519
a	600	œ	601	0,646560501	0,823293023
ĩ	010	y	011	0,076134476	0,023587179
ɪ	110	Y	111	0,181023244	0,161780014
ē	210	œ	211	0,285912012	0,299972848
ē _τ	310	ø _τ	311	0,390800078	0,438165683
ĕ	410	œ	411	0,495689548	0,576358517
æ	510	œ _τ	511	0,600578316	0,714551352
ā	610	œ	611	0,705467084	0,852744186
ĩ	020	ũ	021	0,152268953	0,047174359
Ī	120	ũ _τ	121	0,254286405	0,186344524
ə	220	ø	221	0,356303858	0,325514689
ə	320	ø _τ	321	0,45832131	0,464684854
ɜ	420	ø	421	0,560338763	0,603855019
ę	520	ø _τ	521	0,662356215	0,743025184
ę _τ	620	ø _{ττ}	621	0,764373667	0,882195349
ĩ	030	ũ	031	0,228403429	0,070761538
ĩ	130	ũ	131	0,327549566	0,210909034
ə	230	ø	231	0,426695703	0,351056529
ə	330	ø	331	0,52584184	0,491204025
ɜ	430	ø	431	0,624987977	0,631351521
ę	530	ø _τ	531	0,724134114	0,771499016
ę	630	ø _{ττ}	631	0,823280251	0,911646512
ĩ	040	ũ	041	0,304537906	0,094348718

1	2	3	4	5	6
i	140	ɨ _ɾ	141	0,400812727	0,235473544
ɛ	240	ɘ	241	0,497087549	0,37659837
ɛ̄	340	ɛ _ɾ	341	0,59336237	0,517723196
ɜ	440	ɚ	441	0,689637191	0,658848022
ɛ̄	540	ɛ _ɾ	541	0,785912012	0,799972848
ɛ̄ _ɾ	640	ɛ̄ _ɾ	641	0,882186834	0,941097674
ɨ	050	ɨ	051	0,380672382	0,117935897
ɨ̄	150	ɨ _ɾ	151	0,474075888	0,260038054
ɤ	250	ɔ	251	0,567479394	0,402140211
ɤ _ɾ	350	ɔ _ɾ	351	0,6608829	0,544242367
ɘ	450	ɔ̄	451	0,754286405	0,686344524
ɘ _ɾ	550	ɔ̄ _ɾ	551	0,847689911	0,828446681
ɔ	650	ɔ	651	0,941093417	0,970548837
ɨ	060	ɨ	061	0,456806859	0,141523077
ɨ̄	160	ɨ	161	0,547339049	0,284602564
ɤ	260	ɔ	261	0,637871239	0,427682051
ɤ̄	360	ɔ̄	361	0,728403429	0,570761538
ɘ	460	ɔ̄	461	0,81893562	0,713841026
ɘ̄	560	ɔ̄	561	0,90946781	0,856920513
ɑ	660	ɒ	661	1	1

Źródło: Opracowanie własne.

Jak widać, skrajne położenia przyjmują w obu kierunkach samogłoski [i y] oraz [ɑ ɒ].

Wzajemne położenie punktów samogłosek modelowych przedstawiono na wykresie 1. Zawiera on wprawdzie symbole samogłosek niezaokrąglonych, jednak odpowiedni wykres dla samogłosek labializowanych będzie miał takie samo rozłożenie punktów. Dzięki temu wykresowi można bardzo łatwo zauważyć równomierne rozłożenie samogłosek pośrednich i zależność ich położenia od samogłosek skrajnych [i y a ɛ ɛ̄ ɜ ɘ ɘ̄ ɔ ɔ̄ ɑ ɒ u u].

rzystaniem z zestawu drugiego dostosowanego do możliwości artykulacyjnych danego informatora jest obecność w materiale badawczym czy to izolowanych, czy to wymówionych w kontekście samogłosek niezgłoskotwórczych [j w]³⁶.

Najogólniej można powiedzieć, że zestaw pierwszy może być stosowany wówczas, gdy niewielka liczba badanych samogłosek (pojedyncze wymówienia każdego fonemu lub brak realizacji niektórych fonemów, zwłaszcza /i a u/) uniemożliwia miarodajne dopasowanie siatki modeli do możliwości artykulacyjnych badanego, a więc skorzystanie z drugiego zestawu modeli. Pozostaje nam w związku z tym porównywanie wymówień do jedynej alternatywy, jaką obecnie mamy, to jest do zestawu pierwszego.

W przypadku wymówień osoby 1. (z: Fonem.eu, 2011) zastosowano właśnie ten zestaw modeli, co może być jednak dyskusyjne, ponieważ badane obrazy zawierały wymówienia izolowane, które – jak stwierdzono w odniesieniu do zestawu drugiego – mogą zwiększać prawdopodobieństwo wystąpienia skrajnych ułożeń języka. Jeśli jednak przyjrzymy się uzyskanym wynikom (rozpoznaniom głosek osoby 1. z: Fonem.eu, 2011), zauważymy, że szczególnie rozpoznanie realizacji fonemu /i/ może stwarzać wątpliwości co do użycia zarówno pierwszego, jak i drugiego zestawu. Możliwe jednak, że akurat w tym przypadku dysponujemy niezbyt reprezentacyjnymi wymówieniami. Nie można też absolutnie wykluczyć jeszcze trzeciej potencjalnej przyczyny tak dziwnych rozpoznań, mianowicie nieprawidłowości w trakcie badania artykulograficznego lub opracowania ostatecznej wizualizacji ruchów artykulacyjnych.

Przedstawione zalecenia mają jednakże charakter jedynie wstępnych ustaleń, więc kwestia doboru omówionych zestawów lub jeszcze innych zbiorów modeli pozostaje otwarta.

Labializacja

Zdefiniowane już parametry r_o , r_d i s uznano za kluczowe do opisu artykulacji wargowej. Analogicznie do poprzednio wykorzystanych parametrów (l , m , x , y), będziemy w dalszych rozważaniach stosować wartości zrelatywizowane przy użyciu modułu pierwszego (parametr s jako odcinek najbardziej zbliżony do kierunku „poziomego”) i drugiego (parametry r_o i r_d wyznaczone w „pionie” lub zbliżone do tego kierunku). Przeliczenie odbywa się tak jak poprzednio:

³⁶ Istnieje bowiem prawdopodobieństwo, że jeśli nie w przypadku samogłosek sylabicznych, to przynajmniej w przypadku niezgłoskotwórczych [j] lub [w] pojawią się bardziej skrajne ruchy artykulacyjne (por. DUKIEWICZ, SAWICKA, 1995: 25).

$$\bar{r}_o = \frac{r_o}{d} \cdot 100\%$$

$$\bar{r}_d = \frac{r_d}{d} \cdot 100\%$$

$$\bar{s} = \frac{s}{p} \cdot 100\%.$$

Żeby jednak stwierdzić, czy uzyskana wartość określonego parametru stanowi istotne dla określenia labializacji odchylenie, musimy w jakiś sposób obliczyć wartości tych parametrów przy braku labializacji. Zadanie komplikuje fakt, że niskim samogłoskom towarzyszyć może pewne odchylenie żuchwy, które z kolei powoduje zwiększenie parametru r_o , a być może także wpływa na odległość górnej wargi od górnych siekaczy. Rozmiar szpary ustnej (i być może także parametr s) zależy więc od obniżenia żuchwy. Możemy więc przypuszczać, że parametry \bar{r}_o i \bar{s} są jakimiś funkcjami parametru \bar{r}_d :

$$\bar{r}_o = f(\bar{r}_d)$$

$$\bar{s} = g(\bar{r}_d).$$

Konieczne jest zatem określenie sposobu przekształcenia parametru \bar{r}_d w funkcjach f i g . W tym celu przeanalizowano kinorentgenogram przedstawiający zachowanie warg podczas bezgłosnego odchylenia żuchwy od położenia najbardziej przymkniętego do najbardziej odchylonego (zob. ERICSDOTTER, 1997, plik „big_mouth”). Dokonano pomiarów wymienionych parametrów i przeliczono je na wartości względne. Wyniki przedstawiono w tabeli 8.

TABELA 8

Wartości parametrów opisujących ułożenie warg pobranych z poszczególnych klatek badanego kinorentgenogramu

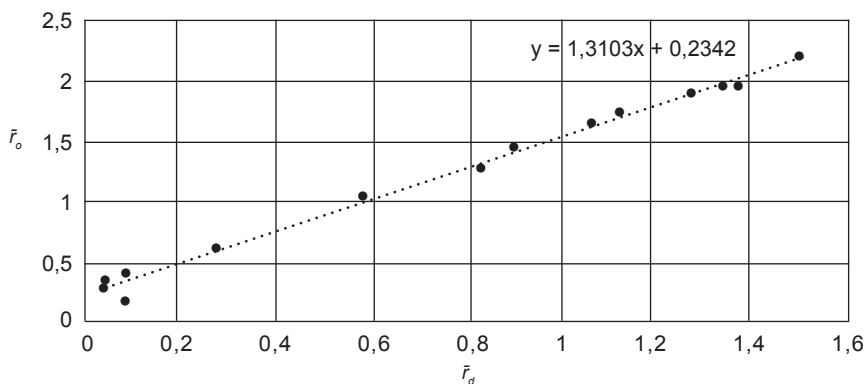
Klatka filmu	$p = m'$	$d = m''$	r_o	r_d	s	$\bar{r}_o = r_o \div d$	$\bar{r}_d = r_d \div d$	$\bar{s} = s \div p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.*	1,453**	1,601	0,181	0,142	0,906	0,113	0,089	0,624
3.	1,498	1,673	0,486	0,061	0,816	0,290	0,036	0,545
4.	1,517	1,659	0,599	0,073	0,599	0,361	0,044	0,395
5.	1,480	1,623	0,684	0,137	0,464	0,421	0,084	0,314
6.	1,531	1,664	0,989	0,437	0,540	0,594	0,263	0,353
7.	1,344	1,629	1,656	0,906	0,394	1,017	0,556	0,293
8.	1,497	1,675	2,147	1,382	0,425	1,282	0,825	0,284

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9.	1,594	1,750	2,533	1,534	0,338	1,447	0,877	0,212
10.	1,446	1,657	2,733	1,742	0,209	1,649	1,051	0,145
11.	1,375	1,677	2,982	1,894	0,239	1,778	1,129	0,174
12.	1,337	1,558	3,044	2,085	0,312	1,954	1,338	0,233
13.	1,452	1,684	3,225	2,158	0,266	1,915	1,281	0,183
14.	1,462	1,717	3,357	2,358	0,233	1,955	1,373	0,159
15.	1,279	1,539	3,343	2,286	0,232	2,172	1,485	0,181

* Dwie pierwsze i dwie ostatnie klatki zawierały dokładnie takie same zdjęcia rtg., dlatego zostały tutaj pominięte.

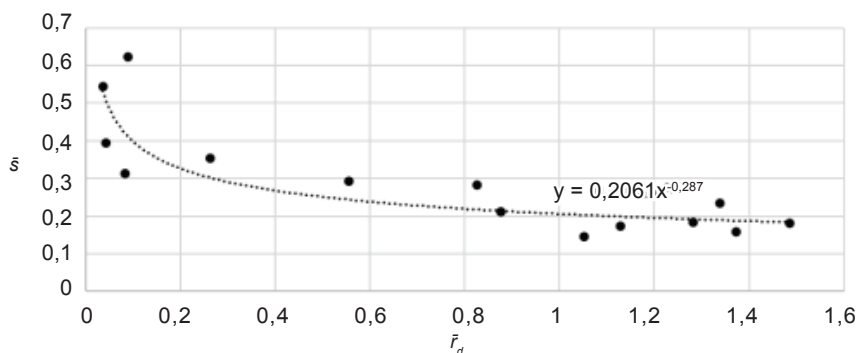
** Wartości parametrów bezwzględnych w cm.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie kinorentgenogramu w: ERICSDOTTER, 1997 (plik „big_mouth”).



WYKRES 2. Zależności między parametrami \bar{r}_0 i \bar{r}_d oraz linia trendu wraz z opisującym ją wzorem wygenerowanym w programie Microsoft Excel

Źródło: Opracowanie własne na podstawie kinorentgenogramu w: ERICSDOTTER, 1997 (plik „big_mouth”).



WYKRES 3. Zależność między parametrami \bar{s} i \bar{r}_d oraz linia trendu wraz z opisującym ją wzorem wygenerowanym w programie Microsoft Excel

Źródło: Opracowanie własne na podstawie kinorentgenogramu w: ERICSDOTTER, 1997 (plik „big_mouth”).

Przedstawienie na wykresach 2 i 3 wartości parametrów r_o i s jako funkcji parametru r_d pozwoliło stwierdzić rodzaj zależności między nimi.

Wykres parametru \bar{r}_o w funkcji parametru \bar{r}_d wskazuje na liniowy charakter zależności między tymi wielkościami. Wykres $\bar{s}(\bar{r}_d)$ przypomina natomiast wykres funkcji potęgowej o ujemnym wykładniku potęgi. Można więc zapisać następujące ogólne wzory opisujące zależności między analizowanymi tu wartościami:

$$\bar{r}_o = a_{r_o} \cdot \bar{r}_d + b_{r_o}$$

$$\bar{s} = a_s - \bar{r}_d^{b_s}$$

Wartości współczynników a_{r_o} , b_{r_o} , a_s i b_s ustalono przy użyciu metody najmniejszych kwadratów³⁷ oraz dodatku Solver³⁸ do programu Microsoft Excel. Oto uzyskane wyniki:

$$a_{r_o} = 1,310322517$$

$$b_{r_o} = 0,234226843$$

$$a_s = 0,218016837$$

$$b_s = -0,265385325.$$

Zanim zestawimy ostateczne wzory opisujące zmiany parametrów \bar{r}_o i \bar{s} w funkcji \bar{r}_d , musimy zwrócić uwagę na możliwe wartości tej ostatniej danej. Możemy mieć bowiem do czynienia z takim obrazem, na którym zakończenie dolnych siekaczy zrzucone na prostą \underline{d} pokrywa się z krawędzią górnych siekaczy. Wówczas parametr \bar{r}_d będzie miał wartość równą zero (zob. LAVER, 1994: ix; Fonem.eu, 2011, osoba 5., głoska *e* w bety). Może się też zdarzyć, że żuchwa praktycznie nie jest odchylona, głoska jest więc wymawiana przez zęby. Wówczas zakończenie dolnych sieka-

³⁷ Metoda ta polega na znalezieniu takich współczynników, które po podstawieniu do wzoru funkcji spowodują, że suma kwadratów różnic uzyskanych wartości i wartości oczekiwanych (danych, modelowych) będzie najmniejsza:

$$\sum (y - \bar{y})^2,$$

gdzie y to wartość uzyskana ze wzoru, a \bar{y} to wartość oczekiwana (modelowa).

Podnoszenie do potęgi z jednej strony usuwa problem znaku (odchylenia same w sobie mogą być dodatnie lub ujemne), a z drugiej wzmacnia odchylenie (im większa różnica względem wartości oczekiwanej, tym większy będzie kwadrat tej różnicy). Nietrudno więc zrozumieć, że należy dobrać takie współczynniki a i b , by po ich podstawieniu do wzoru na każdą z funkcji otrzymać wartość zbliżoną do modelowej, gdyż każde odchylenie zostanie wzmocnione i dodane do innych, już wzmocnionych odchyień.

³⁸ Dodatek Solver służy do rozwiązywania zadań z optymalizacji, tzn. poszukiwania takich wartości wskazanych w programie parametrów, które najlepiej spełniają określone przez użytkownika kryteria.

czy znajdzie się powyżej krawędzi górnych siekaczy, a parametr \bar{r}_d będzie ujemny. To ważne spostrzeżenia, ponieważ do podanego wzoru funkcji potęgowej o ogólnej postaci $y = ax^{-b}$ za x nie możemy wstawić liczby mniejszej lub równej 0.

Zastrzeżenie dotyczące zera wynika stąd, że podnoszenie jakiegokolwiek liczby do potęgi o wykładniku ujemnym jest w istocie podnoszeniem do potęgi odwrotności tejże liczby:

$$x^{-b} = \left(\frac{1}{x}\right)^b = \frac{1}{x^b}.$$

Jeśli $x = 0$, wówczas w mianowniku również pojawi się zero, co jest, jak wiadomo, wykluczone.

Zastrzeżenie drugie wynika stąd, że uzyskana wartość współczynnika b_s jest ułamkiem, którego mianownik jest parzysty, a licznik nieparzysty:

$$0,265385325 = -\frac{265\ 385\ 325}{1\ 000\ 000\ 000}.$$

Ułamek w wykładniku potęgi oznacza natomiast potęgowanie połączone z pierwiastkowaniem – licznik staje się wykładnikiem potęgi, a mianownik stopniem pierwiastka:

$$x^{\frac{a}{b}} = \sqrt[b]{x^a} \text{ lub } \left(\sqrt[b]{x}\right)^a.$$

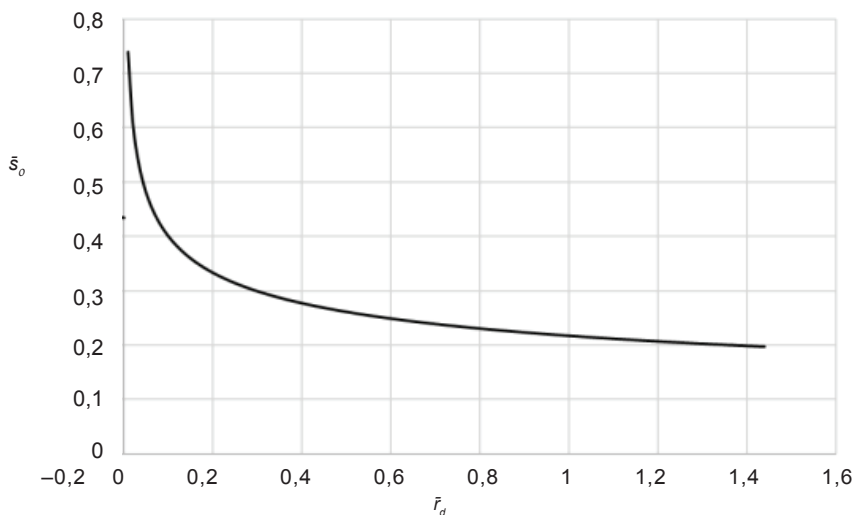
Jeśli najpierw wykonamy potęgowanie, to liczba ujemna podniesiona do potęgi o wykładniku nieparzystym będzie dalej ujemna. Z kolei niemożliwe jest pierwiastkowanie liczb ujemnych, jeśli stopień pierwiastka jest dodatni³⁹. Jeżeli najpierw będziemy chcieli pierwiastkować, wówczas od razu każde urządzenie liczące zgłosi błąd.

Problem ten można by rozwiązać przez wprowadzenie do obliczeń modułu (wartości bezwzględnej) z parametru \bar{r}_d , lecz wówczas głoski wymawiane przez zęby, a więc przy zerowym lub bliskim zera obniżeniu żuchwy, traktowalibyśmy tak samo, jak te wymawiane z niewielkim odchyleniem żuchwy. Proponuje się wobec tego inaczej traktować sytuację, gdy parametr \bar{r}_d jest mniejszy lub równy zero i przyjmować za \bar{s} średnią pomiarów tego parametru uzyskanych w badaniach kinorentgenogramu przy niewielkim obniżeniu żuchwy (pierwsze 5 klatek)⁴⁰.

³⁹ Nie jest bowiem możliwe uzyskanie wyniku ujemnego z działania przeciwnego – potęgowania przy wykładniku parzystym tejże potęgi.

⁴⁰ Taka wartość wstawiona do ostatecznego wzoru na stopień labializacji pozwoliła uzyskiwać najwyższy możliwy stopień zaokrąglenia podczas analizy

Zanim sformułujemy ostateczne wzory, zwróćmy uwagę na jeszcze jeden problem. Podany sposób obliczania oczekiwanej wartości wyđęcia warg (\bar{s}) spowoduje, że dla niewielkich (bliskich zera) odchyłen żuchwy (wartości parametru \bar{r}_d) będziemy spodziewali się bardzo dużych wartości parametru \bar{s} , co bardzo dobrze unaocznia wykres parametru \bar{s} w funkcji \bar{r}_d (zob. wykres 4).



WYKRES 4. Spodziewane wartości parametru \bar{s} w funkcji \bar{r}_d

Źródło: Opracowanie własne.

Widać więc wyraźnie, że, stosując proponowany sposób obliczania przewidywanej wartości parametru \bar{s} , będziemy się w istocie spodziewać dużego wyđęcia warg przy niewielkich, bliskich zera, obniżeniach żuchwy. To wyđęcie będzie coraz większe (górną wargą będzie się odsuwać od górnych siekaczy) do momentu, gdy krawędzie siekaczy znajdą się w jednej linii (parametr \bar{r}_d będzie zerowy). Wówczas spodziewane wyđęcie warg spadnie do stałego poziomu i będzie się utrzymywać mimo dalszego podnoszenia żuchwy, a więc spadku wartości parametru \bar{r}_d .

Wykres 4 umożliwi nam też odczytanie granicy funkcji opisującej zmiany parametru \bar{s} w punkcie $\bar{r}_d = 0$:

$$\lim_{\bar{r}_d \rightarrow 0} a_s \cdot \bar{r}_d^{-b} = \infty.$$

innego obrazu aparatu mowy, który przyjęto za wzór skrajnej labializacji – przy-
mkniętego zaokrąglenia z wyđęciem warg (klatka pochodząca z ok. 2 s filmu wy-
konanego w technice rezonansu magnetycznego – Стомп, 2010). Parametr \bar{r}_d był
w tym przypadku zerowy.

Taki sposób obliczania jest więc nie do przyjęcia, gdyż odległość między górnymi siekaczami a górną wargą nie tylko nie może zmierzać do nieskończoności, ale nie powinna przekroczyć pewnej fizjologicznie dopuszczalnej wartości. Tak więc proponowany wzór przybliży nam spodziewane położenie górnej wargi jedynie w pewnym zakresie. Przybliżenie to wydaje się dokładne dla dużych odchyleń żuchwy, zmniejsza się jednak i staje się błędne w przypadku niewielkich wartości parametru \bar{r}_d .

Rozwiązaniem tego problemu może być ekstrapolacja warunku dotyczącego zerowej i ujemnych wartości parametru \bar{r}_d na takie wartości tego parametru, gdy obliczana wartość \bar{s} staje się większa niż zakładana dla $\bar{r}_d \leq 0$. Wartość parametru \bar{r}_d , dla której \bar{s} staje się większe niż założona wartość \bar{s} dla $\bar{r}_d \leq 0$, obliczymy łatwo, przekształcając sformułowany ogólny wzór na \bar{s} (w przekształceniach pomijamy dla uproszczenia znak minus przy współczynniku b):

$$\bar{s} = a_s \cdot (\bar{r}_d)^{b_s}$$

$$\frac{\bar{s}}{a_s} = (\bar{r}_d)^{b_s}$$

$$\bar{r}_d = \sqrt[b_s]{\frac{\bar{s}}{a_s}}$$

Po podstawieniu obliczonych współczynników a_s , b_s oraz wartości parametru \bar{s} dla $\bar{r}_d \leq 0$:

$$\bar{r}_d = \sqrt[-0,26585325]{\frac{0,434030039}{0,218016837}} \approx \sqrt[-0,26585325]{1,99} \approx 0,075.$$

A więc dla $\bar{r}_d \leq 0,075$ ⁴¹ uzyskiwane wartości stają się coraz mniej miarodajne. Możemy więc rozciągnąć warunek dotyczący $\bar{r}_d \leq 0$ również na przedział $(0; 0,075 >$ ⁴² i sformułować ostateczne wzory na oczekiwane wartości parametrów \bar{r}_{00} i \bar{s}_0 ⁴³ dla danego obniżenia żuchwy, któremu nie towarzyszy labializacja:

⁴¹ Czyt.: „mniejsze lub równe w przybliżeniu”. Najdokładniejsza uzyskana wartość graniczna \bar{r}_d wyniosła 0,07468342601145880685657878296986.

⁴² Podobne ograniczenie trzeba nałożyć na parametru \bar{r}_{00} , który dla $\bar{r}_d \leq -0,17875510796858266917807991847247$ będzie ujemny, co jest niemożliwe: odległość między wargami nie może być ujemna.

⁴³ Zero w indeksie obu parametrów wskazuje na to, że przy tej wartości danego parametru labializacja jest zerowa.

$$\bar{r}_{o0} = \begin{cases} 1,310322517 \cdot \bar{r}_d + 0,234226843, & \text{dla } \bar{r}_d > -0,179 \\ 0, & \text{dla } \bar{r}_d \leq -0,179 \end{cases}$$

$$\bar{s}_0 = \begin{cases} 0,218016837 \cdot \bar{r}_d^{-0,265385325}, & \text{dla } \bar{r}_d > 0,075 \\ 0,434030039, & \text{dla } \bar{r}_d \leq 0,075. \end{cases}$$

Tak więc wszelkie odchylenia od wartości \bar{r}_{o0} i \bar{s}_0 obliczonych zgodnie z powyższymi wzorami należy uznać za wskaźnik innego niż neutralne ułożenia warg. Takie odchylenie bardzo łatwo obliczymy jako różnicę między faktycznie zarejestrowanym parametrem a spodziewaną jego wartością dla danego położenia żuchwy (\bar{r}_d):

$$\bar{r}_o - \bar{r}_{o0}$$

$$\bar{s} - \bar{s}_0.$$

Z poczynionych przeze mnie obserwacji wynika, że to odchylenie może być jednak różne dla różnych wartości \bar{r}_d : przy niewielkim obniżeniu żuchwy (jak podczas artykulacji samogłosek wysokich) dystans dzielący obie wargi jest o wiele mniejszy niż przy odchyleniu typowym dla samogłosek niskich. Tak więc różny powinien być możliwy zakres odchyłeń odległości między wargami od położenia neutralnego: mniejszy w przypadku niewielkiego obniżenia żuchwy i większy w przypadku wzrostu \bar{r}_d . Nieco odwrotnie w przypadku parametru \bar{s} : wydaje się, że im większe obniżenie żuchwy, tym trudniej uzyskać równie silne wydęcie warg jak podczas artykulacji samogłosek wysokich, a więc przy bardzo niewielkim odchyleniu żuchwy.

Żeby więc uwzględnić ten różny przy odmiennych ułożeniach żuchwy możliwy zakres odchyłeń, proponuje się odchylenie warg od położenia neutralnego (które oznaczać będziemy dalej symbolami ρ dla odchylenia „pionowego” – ściągnięcia i rozsunięcia warg – oraz σ dla odchylenia „poziomego” – wydęcia warg lub jego braku) obliczać następująco:

$$\rho = \frac{\bar{r}_o - \bar{r}_{o0}}{\bar{r}_{o0}}$$

$$\sigma = \frac{\bar{s} - \bar{s}_0}{\bar{s}_0}.$$

Dzięki temu uzyskamy dwa parametry, których skrajne (minimalne i maksymalne) wartości będą niezależnione od odchylenia żuchwy, a więc i zmiennego zakresu możliwych odchyłeń od położenia spodziewanego. Będzie też można bardzo łatwo przedstawić te odchylenia na jednym

wykresie, niezależnie od tego, czy mówimy o odchyleniach przy niewielkim, czy przy znacznym obniżeniu żuchwy. W przeanalizowanych obrazach⁴⁴ powyższe parametry osiągnęły następujące wartości skrajne (zob. tabela 9).

TABELA 9

Skrajne wartości parametrów ρ i σ określających względne odchylenia warg od położenia neutralnego (%)

Wartość	ρ	σ
Minimalna	-90,478499641	-69,888858392
Maksymalna	67,294429445	95,171333598

Źródło: Opracowanie własne.

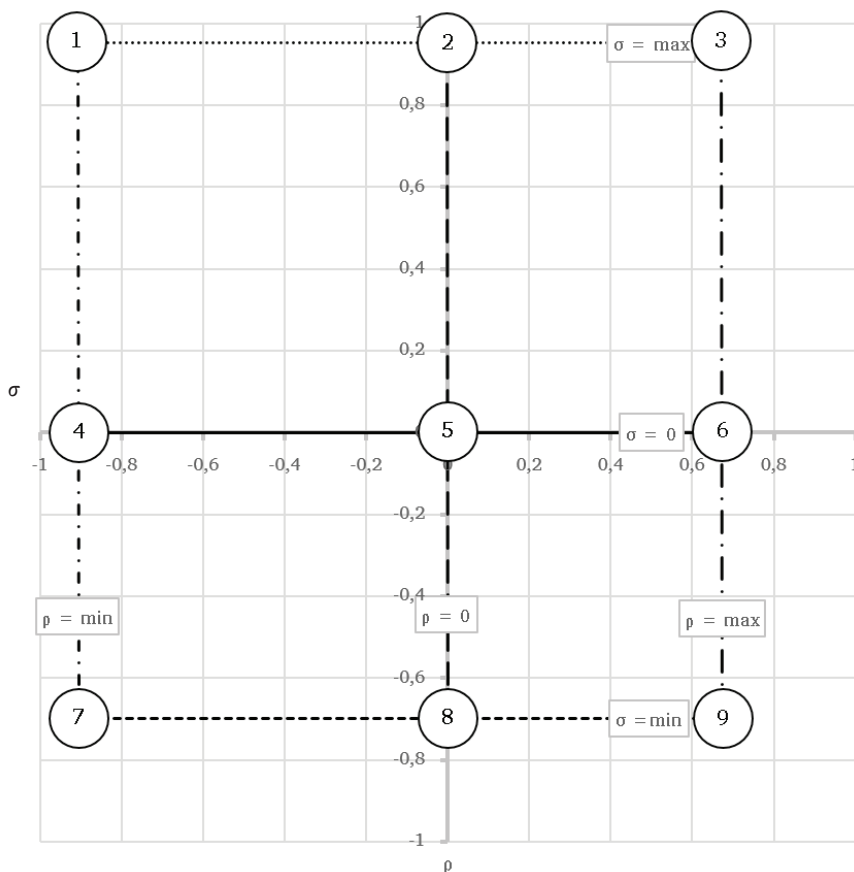
Wykres 5 zawiera podane wyżej ekstrema ρ i σ wyznaczające zakresy⁴⁵ wartości przyjmowanych przez wspomniane parametry.

Na wykresie 5 zaznaczono 9 punktów wyznaczanych przez skrajne (minimalne i maksymalne) oraz zerowe wartości parametrów ρ i σ . Możemy wykorzystać je jako modele określonych typów artykulacji wargowych:

- 1) $\rho = \min$, $\sigma = \max$ – ściągnięcie górnej i dolnej krawędzi warg i maksymalne wydęcie ust, co można przypisać silnemu przymkniętemu zaokrągleniu (kod: 4);
- 2) $\rho = 0$, $\sigma = \max$ – neutralne ułożenie górnej i dolnej krawędzi warg przy jednoczesnym wydęciu ust; sytuacja trochę nietypowa (trudno przypisać jej któryś z założonych typów artykulacji wargowej), ale ponieważ nie towarzyszy jej zwężenie szpary ustnej, będziemy ją traktować jako niezaokrąglenie (kod: 0);
- 3) $\rho = \max$, $\sigma = \max$ – maksymalne rozsunięcie krawędzi warg i wydęcie ust, co może towarzyszyć zsunięciu kącików ust, a więc otwartemu zaokrągleniu; ze względu na wydęcie warg tym wartościom parametrów ρ i σ przypiszemy silne otwarte zaokrąglenie (kod: 2);

⁴⁴ Do obliczeń skrajnych wartości parametrów ρ i σ wykorzystano wszystkie obrazy wymienione w tabeli 1, rentgenogramy JONESA (1967), obrys neutralnego ułożenia artykulatorów z: LAVER (1994: ix), kinorentgenogram „big_mouth” z: ERICSDOTTER (1997) oraz fragment (klatka z 2 s) filmu wykonanego techniką MRI z: STOMP (2010) – łącznie 70 obrazów.

⁴⁵ Zakładamy tutaj, że w innych niż przebadane przypadkach powyższe parametry nie powinny w większości przypadków wykraczać poza podane maksima i minima. Gdyby jednak taka sytuacja miała miejsce, zastosowany dalej sposób wyznaczania stopnia labializacji na podstawie wartości parametrów ρ i σ (obliczanie odległości od modelu) pozwoli uniknąć ewentualnego błędu wynikającego z przyjęcia niewłaściwych skrajnych wartości tychże wskaźników.



WYKRES 5. Skrajne i zerowe wartości parametrów ρ i σ

Źródło: Opracowanie własne.

- 4) $\rho = \min, \sigma = 0$ – maksymalne zsuniecie krawędzi warg, lecz bez wydęcia, co wiązać będziemy z częściowym przymkniętym zaokrągleniem (kod: 3);
- 5) $\rho = 0, \sigma = 0$ – brak odchylenia od położenia neutralnego w każdym z analizowanych kierunków, a więc niezaokrąglenie (kod: 0);
- 6) $\rho = \max, \sigma = 0$ – skrajne rozsunięcie krawędzi warg bez wydęcia, a więc częściowe otwarte zaokrąglenie (kod: 1);
- 7) $\rho = \min, \sigma = \max$ – wszystkie trzy przypadki zbliżenia górnej wargi do górnych siekaczy można wyjaśnić rozsunięciem kącików ust, a więc spłaszczeniem; tej artykulacji – jak się przyjmuje na podstawie własnych obserwacji – może towarzyszyć zsuniecie krawędzi warg ($\rho < 0$), jak również ich rozsunięcie ($\rho > 0$), oprócz oczywiście braku jakiegokolwiek odchylenia ($\rho = 0$); tak więc punkty 7., 8. i 9. uznaje się za przypadki spłaszczenia (kod: -1);
- 8) $\rho = 0, \sigma = \min$ – jw.;
- 9) $\rho = \max, \sigma = \min$ – jw.

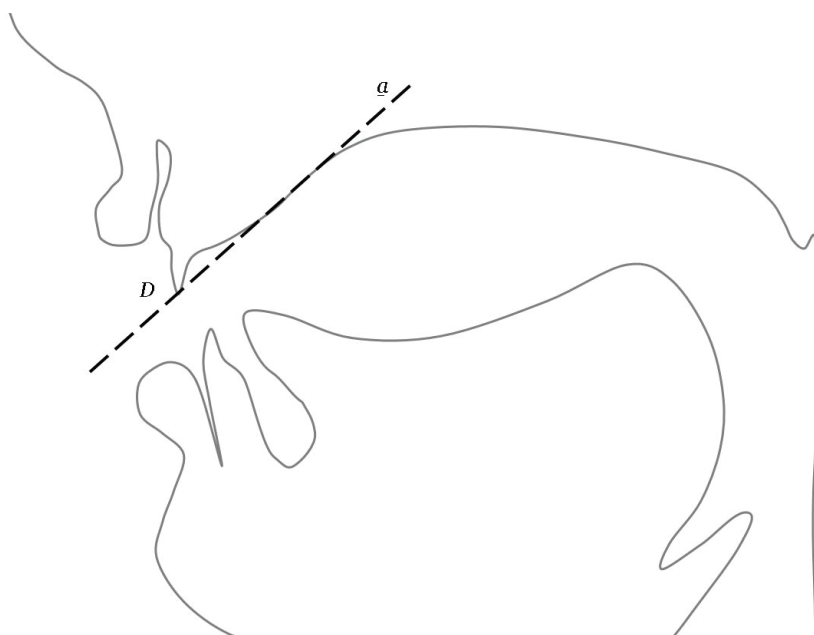
Poczynione ustalenia umożliwiają zastosowanie podobnego sposobu określania labializacji co w przypadku położenia punktu L . Jeśli bowiem na podstawie pomiarów obu modułów oraz parametrów \bar{r}_o , \bar{r}_d i \bar{s} ustalimy odchylenia ρ i σ w konkretnym przypadku (obrazie głoski), będziemy mogli stwierdzić, do której pary modelowych wartości (podane punkty 1–9) uzyskane wyniki są najbardziej podobne, a podobieństwo to możemy rozumieć jako odległość między dwoma punktami w kartezjańskim układzie współrzędnych, przy czym za współrzędne punktów, między którymi znajduje się interesująca nas odległość, obierzemy właśnie parametry ρ i σ . Tak więc stwierdzenie najmniejszej odległości, a więc zarazem największego podobieństwa między punktem określonym współrzędnymi (ρ, σ) i który charakteryzuje ułożenie warg w badanej głosce a współrzędnymi danego modelu artykulacji labialnej (punktami 1–9) pozwoli przypisać tej „głosce” etykietę opisującą ten właśnie typ labializacji.

Opisane postępowanie pozwoli też rozwiązać problem większego niż zarejestrowane w przeprowadzonych badaniach odchylenia któregoś z parametrów. Nie można bowiem wykluczyć sytuacji, w której jedno lub nawet oba odchylenia jednocześnie uzyskają wartości większe niż przedstawione wyżej, czyli przypadku, gdy jakiś badany przekroczy stwierdzone wartości i ustanowi nowy rekord w układaniu swoich artykulatorów w położeniach skrajnych. Gdyby taka sytuacja miała miejsce, to punkt określony współrzędnymi ρ i σ znajdzie się poza zakresem przedstawionym na wykresie 5. Będzie on jednak w dalszym ciągu najbliżej jednego tylko punktu granicznego, nawet jeśli sam będzie w istocie nowym punktem wyznaczającym skrajne wartości obu wspomnianych parametrów, a to z kolei zwalnia nas z konieczności poszukiwania takich rekordowych odchyleń.

Przykładowa analiza samogłoski

Opisana procedura badawcza może wydawać się niezmiernie skomplikowana, a przez to niepraktyczna. Z drugiej strony trudno chyba oczekiwać prostej metody umożliwiającej dokładny opis złożonego przecież zjawiska, jakim jest artykulacja. Poza tym przygotowywana ona była z myślą nie o ręcznym przeliczaniu wszystkich wartości, lecz automatycznym wykonywaniu obliczeń w arkuszu kalkulacyjnym lub specjalnie do tego celu napisanym programie komputerowym. Żeby jednak lepiej unaocznić proponowaną tu metodę badawczą i umożliwić jej krytyczną ocenę, weryfikację lub ewentualne usprawnienie, przedstawię przykładową analizę jednego obrazu głoski uzyskanego w wyniku badania artykulograficznego (za: Fonem.eu, 2011, osoba 5., głoska a w *baty*).

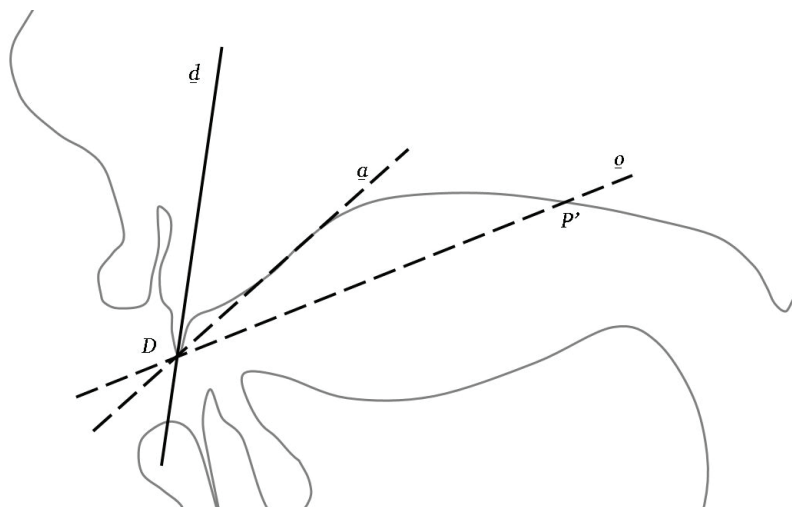
KROK 1: Rysujemy prostą g przechodzącą przez zakończenie górnych siekaczy (punkt D) i „opartą” o linię wyznaczającą powierzchnię obszaru postalweolarnego.



Rys. 6. Umieszczenie prostej pomocniczej \underline{a} na obrysie artykulogramu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykulogramu z: Fonem.eu, 2011 (os. 5., głoska *a* w *baty*).

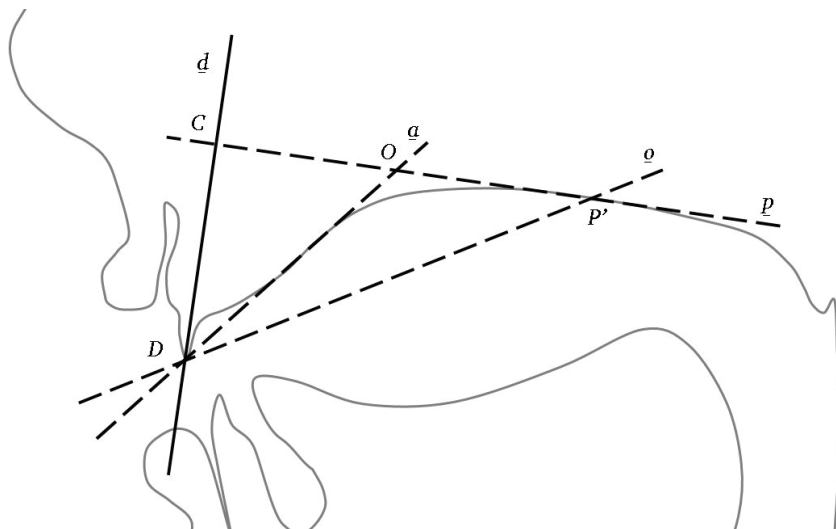
КРОК 2: Kreślimy proste pomocnicze \underline{d} i \underline{o} przechodzące przez punkt *D* (zakończenie górnych siekaczy). Ponieważ niemożliwe jest wyznaczenie punktu *P*, przez który miałyby przechodzić prosta \underline{o} , kreślimy ją pod uśrednionym kątem 20° do prostej \underline{a} . Prosta \underline{d} ma natomiast przebiegać pod kątem 60° do prostej \underline{o} (a więc pod kątem 40° do prostej \underline{a}).



Rys. 7. Umieszczenie prostych pomocniczych \underline{d} i \underline{o} na obrysie artykulogramu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykulogramu z: Fonem.eu, 2011 (os. 5., głoska *a* w *baty*).

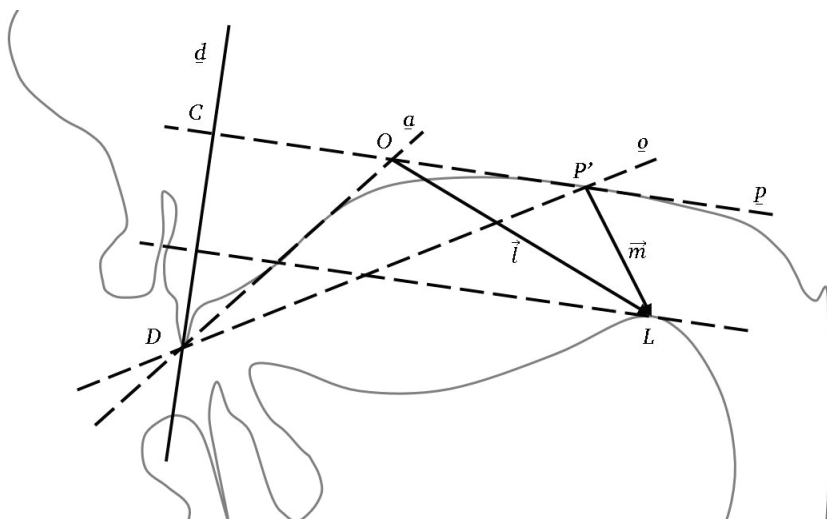
KROK 3: Rysujemy prostą p prostopadłą do prostej d i przechodzącą przez punkt P' . Na przecięciu z prostą a odnajdujemy punkt O . Mierzymy wyznaczone odcinki: p (moduł pierwszy) i d (moduł drugi). Wartości uzyskane podczas przeprowadzonego badania: $p = 3,589$ cm, $d = 3,75$ cm.



Rys. 8. Położenie prostej pomocniczej p na obrysie artykulogramu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykulogramu z: Fonem.eu, 2011 (os. 5., głoska a w *baty*).

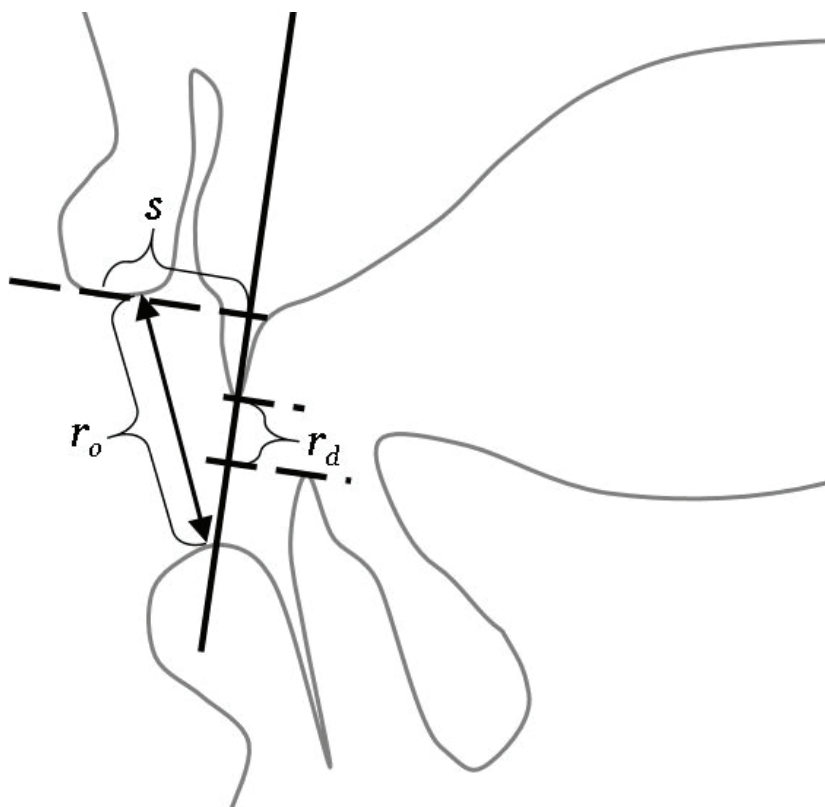
KROK 4: Wyznaczamy najwyższy punkt na powierzchni języka (punkt L), prowadząc prostą równoległą do p i styczną do obrysu powierzchni języka. Mierzymy długości wektorów wodzących: \vec{l} (od O do L) i \vec{m} (od P' do L). Wartości uzyskane podczas badania: $|\vec{l}| = 4,956$ cm, $|\vec{m}| = 2,162$ cm.



Rys. 9. Wyznaczanie położenia najwyższego punktu na powierzchni języka (L) i wektorów wodzących opisujących położenie tego punktu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykulogramu z: Fonem.eu, 2011 (os. 5., głoska a w baty).

KROK 5: Ustalamy najmniejsze przewężenie między wargami i mierzymy tę odległość (r_o). Następnie rzutujemy na prostą \underline{d} krawędzie siekaczy i obliczamy dzielącą je odległość (r_d). Postępując tak jak przy szukaniu punktu L, odnajdujemy najniższy punkt na powierzchni górnej wargi i rzutujemy go na prostą \underline{d} . Następnie mierzymy odległość od tego punktu do znalezionej wcześniej najniższego punktu na powierzchni górnej wargi (s). Wartości uzyskane podczas badania: $r_o = 2,037$ cm, $r_d = 0,492$ cm, $s = 1,237$ cm.



Rys. 10. Pomiary parametrów określających układ warg

Źródło: Opracowanie własne na podstawie artykulogramu z: Fonem.eu, 2011 (os. 5., głoska a w bały).

КРОК 6: Obliczamy współrzędne punktu L i przeliczamy wartości bezwzględne na względne:

$$x = \frac{1}{2p}(l^2 + p^2 - m^2) = \frac{1}{2 \cdot 3,589}(4,956^2 + 3,589^2 - 2,162^2) \approx 4,565145305 \text{ cm}$$

$$y = \sqrt{l^2 - x^2} = \sqrt{4,956^2 - 4,57^2} \approx 1,929088993 \text{ cm}$$

$$\bar{x} = \frac{x}{p} = \frac{4,565145305}{3,589} \approx 1,271982531$$

$$\bar{y} = \frac{y}{d} = \frac{1,929088993}{3,75} \approx 0,514423731$$

$$\bar{r}_o = \frac{r_o}{d} = \frac{2,037}{3,75} = 0,5432$$

$$\bar{r}_d = \frac{r_d}{d} = \frac{0,492}{3,75} = 0,1312$$

$$\bar{s} = \frac{s}{p} = \frac{1,237}{3,589} \approx 0,344664252.$$

КРОК 7: Ponieważ dysponujemy wieloma próbkami głosek od tego samego informatora, wybieramy drugi zestaw modeli. Ustalamy zatem wartości minimalne i maksymalne osiągnięte przez najwyższy punkt na powierzchni języka i obliczamy parametry \bar{x} , \bar{y} :

$$x_{\min} = 0,703 \text{ cm}, \quad p_{x_{\min}} = 3,442 \text{ cm}, \quad \bar{x}_{\min} = \frac{x_{\min}}{p_{x_{\min}}} = \frac{0,703}{3,442} \approx 0,20424172$$

$$x_{\max} = 4,565 \text{ cm}, \quad p_{x_{\max}} = 3,589 \text{ cm}, \quad \bar{x}_{\max} = \frac{x_{\min}}{p_{x_{\max}}} = \frac{4,565}{3,589} \approx 1,271942045$$

$$R_x = \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min} \approx 1,271942045 - 0,20424172 \approx 1,067700325$$

$$y_{\min} = 0,345 \text{ cm}, \quad d_{y_{\min}} = 3,639 \text{ cm}, \quad \bar{y}_{\min} = \frac{y_{\min}}{d_{y_{\min}}} = \frac{0,345}{3,639} \approx 0,094806265$$

$$y_{\max} = 1,929 \text{ cm}, \quad d_{y_{\max}} = 3,75 \text{ cm}, \quad \bar{y}_{\max} = \frac{y_{\max}}{d_{y_{\max}}} = \frac{1,929}{3,75} \approx 0,5144$$

$$R_y = \bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min} \approx 0,5144 - 0,094806265 \approx 0,419593735$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x} - \bar{x}_{\min}}{R_x} \approx \frac{1,271982531 - 0,20424172}{1,066506627} \approx 1,000037919$$

$$\bar{\bar{y}} = \frac{\bar{y} - \bar{y}_{\min}}{R_y} \approx \frac{0,514423731 - 0,094806265}{0,419593735} \approx 1,000056558.$$

КРОК 8: Mierzmy odległości między modelami a punktem L badanej głoski według wzoru:

$$\text{odl.} = \sqrt{(\bar{\bar{x}}_m - \bar{\bar{x}})^2 + (\bar{\bar{y}}_m - \bar{\bar{y}})^2},$$

gdzie \bar{x}_m, \bar{y}_m to względne współrzędne modelu. Porównujemy uzyskane odległości i szukamy najmniejszej⁴⁶. W przeprowadzonym badaniu okazało się, że najmniejszą odległością jest dystans między modelem przypisanym do samogłosek [a ɒ] (kod: 66). Oto współrzędne tego punktu oraz odległość między nim a punktem L:

$$\bar{x}_m = 1, \quad \bar{y}_m = 1$$

$$\text{odl.} = \sqrt{(1 - 1,000037919)^2 + (1 - 1,000056558)^2} \approx 0,000068.$$

KROK 9: Obliczamy wartości oczekiwane \bar{r}_{oo}, \bar{s}_o oraz odchylenia ρ i σ :

$$\begin{aligned} \bar{r}_{oo} &= 1,310322517 \cdot \bar{r}_d + 0,234226843 \approx 1,310322517 \cdot 0,1312 + 0,234226843 \\ &\approx 0,406141157 \end{aligned}$$

$$\bar{s}_o = \begin{cases} 0,218016837 \cdot \bar{r}_d^{-0,265385325}, & \text{dla } \bar{r}_d > 0,075 \\ 0,434030039, & \text{dla } \bar{r}_d \leq 0,075 \end{cases} = 0,218016837 \cdot 0,1312^{-0,267385325} \approx 0,373746771$$

$$\rho = \frac{\bar{r}_o - \bar{r}_{oo}}{\bar{r}_{oo}} \approx \frac{0,5432 - 0,406141157}{0,406141157} \approx 0,337466027$$

$$\sigma = \frac{\bar{s} - \bar{s}_o}{\bar{s}_o} \approx \frac{0,344664252 - 0,373746771}{0,373746771} \approx 0,077813434.$$

KROK 10: Wyliczamy odległości między punktem opisanym współrzędnymi (ρ, σ) a modelami typów labializacji i szukamy najmniejszej odległości. W badaniu okazało się, że najbardziej podobnym modelem jest otwarte zaokrąglenie (kod: 1). Oto współrzędne tego punktu i odległość między nim a punktem określonym wskazanymi odchyleniami:

$$\rho_m = \max = 0,67294429445, \quad \sigma_m = 0$$

$$\text{odl.} = \sqrt{(\rho_m - \rho)^2 + (\sigma_m - \sigma)^2} \approx$$

$$\approx \sqrt{(0,67294429445 - 0,337466027)^2 + (0 - 0,077813434)^2} \approx 0,344384376.$$

⁴⁶ Takie porównanie najłatwiej można uzyskać w arkuszu kalkulacyjnym. Projekt takiego arkusza zamieszczono na stronie internetowej: http://www.piotrribka.republika.pl/w_zakladce_„Projekty”.

Omówienie wyników analizy

Duża liczba pojedynczych rozpoznań w tabeli 1 może być trudna do odczytania, dlatego zebrano uśrednione⁴⁷ rozpoznania w tabeli 10, w której podzielono realizacje każdego fonemu na konteksty, w jakich występowały.

TABELA 10

Średnie rozpoznania głosek w określonych kontekstach i z podaniem (w nawiasie) liczby wystąpień

Kontekst Fonem	Izolacja		Neutralny	Przed miękka	Po miękkiej	Po miękkiej, przed /w/	Po b/	Przed /w/	Po /w/
	wymowa starsza*	wymowa nowsza**							
/i/	^(y) 103(1)***	⁽ⁱ⁾ 050(1)					^(y) 101(1)		
/i:/	^(y) 063(1)	⁽ⁱ⁾ 203(1)	⁽ⁱ⁾ 010(6)				^(y) 261(1)		
/e/	^(e) 60-1(2)	^(e) 200(1)	^(e) 220(2)		^(e) 230(2)		^(e) 461(1)		
/a/	^(a) 531(4)	^(a) 600(1)		^(a) 211(2)		^(a) 261(1)	^(a) 661(1)	^(a) 330(2)	^(a) 360(1)
/o/	^(o) 553(4)	^(o) 630(1)		^(o) 130(2)			^(o) 360(2)		
/u/	^(u) 163(4)	^(u) 260(1)					^(u) 063(1)		
/j/	^(j) 253(1)		^(j) 120(1)		^(j) 130(1)				
/w/	^(w) 263(1)		^(w) 261(2)						

* Za: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 (osoba 1. i 2.).

** Za: Fonem.eu, 2011 (osoba 1.).

*** Pierwsze trzy liczby to kod samogłoski (w przypadku realizacji /j w/ pominięto wskazanie niezgłoskotwórczości w transkrypcji), ostatnia liczba w każdej komórce to liczba przeanalizowanych obrazów głosek.

Źródło: Opracowanie własne.

Być może najbardziej zaskakujące w uzyskanych rozpoznaniach badanych głosek są dane dotyczące zaokrąglenia. Samogłoska /i/ okazała się

⁴⁷ Sposób uśredniania rozpoznań opisano w przypisie do tabeli 1.

zaokrąglona w 2 na 3 badane wymówienia, samogłoska /i/ w 1/3 próbek. Jednokrotnie zaokrąglone było nawet /e/ (w wyrazie *bet*). Zupełnie zdlabializowane (w 5 przypadkach na 9) okazało się /o/ w najnowszych wymówieniach. Delabializację zauważono też w wymówieniach samogłoski /u/ (1 na 2 przeanalizowane obrazy z: Fonem.eu, 2011). O ile przypadki delabializacji /o/ i /u/ mogą być zrozumiałe (były już stwierdzone, zob. WIERZBIЦКА, 1967: 107, 109), o tyle mówienie o zaokrągleniu w przypadku /i/ lub /e/ może wzbudzać wątpliwości co do przyjętej tutaj procedury ustalania typu artykulacji wargowej. Kluczowe w tym procesie były dwie pary parametrów:

- 1) stopień odchylenia od spodziewanego rozsunięcia (ρ) i wydęcia (σ) warg charakteryzujących ich ułożenie podczas artykulacji danej głoski;
- 2) maksymalne i minimalne wartości parametrów ρ i σ , które wykorzystano jako współrzędne punktów odpowiadających określonym typom artykulacji wargowej (modeli labializacji).

Stwierdzenie podobieństwa (bliskości) danej pary parametrów ρ i σ do określonego modelu zależało w dużej mierze od wartości skrajnych ρ i σ . Możliwe więc, że nieco inne wartości tych ostatnich mogłyby zmienić rezultat rozpoznania, gdybyśmy bowiem przyjęli inne wartości maksymalne i minimalne, mogłoby to spowodować odsunięcie lub przysunięcie się tych punktów do punktu określonego parametrami ρ i σ charakteryzującymi ułożenie warg w badanym przypadku. Przysunięcie oczywiście nie zmieniłoby rozpoznania, lecz odsunięcie mogłoby spowodować zmianę odległości między punktem o współrzędnych ρ i σ a poszczególnymi modelami. Minimalna odległość mogłaby się wówczas pojawić w innym miejscu (względem innego modelu labializacji), co tym samym zmieniłoby rozpoznanie. Weryfikacja maksymalnych wartości ρ i σ wymagałaby jednak szerszej zakrojonych badań nad samą fizjologią artykulacji wargowej. Opisana tu metoda dostarcza jednak pewnych narzędzi pozwalających na opis tego zjawiska.

Obliczone stopnie odchylenia ρ i σ zależą od zerowych (spodziewanych) dla danego odchylenia żuchwy wartości parametrów \bar{r}_{00} i \bar{s}_0 . Te z kolei określono na podstawie podanych wcześniej wzorów. Badania na większym materiale i skoncentrowane głównie na fizjologii zaokrąglania warg mogłyby zweryfikować wartość współczynników podanych we wzorach na oczekiwane wartości parametrów \bar{r}_{00} i \bar{s}_0 .

Osobiście wydaje mi się, że zaokrąglenie /i/ jest możliwe, lecz nie takie, któremu towarzyszy wydęcie warg, a taką właśnie (bez wydęcia) artykulację rozpoznano. Nie jest to więc skrajna labializacja (jak w przypadku francuskiej samogłoski /y/), lecz częściowa, co zaznaczono w tabeli nawiasami obejmującymi diakryty oznaczające zaokrąglenie: $[\underset{\curvearrowright}{y}, \underset{\curvearrowright}{y}, \underset{\curvearrowright}{y}]$.

Nietypowe jest rozpoznanie $[\underset{\curvearrowright}{y}]$ (samogłoska tylna uprzedniona, niezaokrąglona) w odniesieniu do izolowanej realizacji fonemu /i/ w: Fonem.eu,

2011 (osoba 1.). Jeśli jednak spróbujemy umiejscowić najwyższy punkt na powierzchni języka zgodnie z opisaną metodą, wówczas okaże się, że punkt ten leży bliżej punktu P' niż O , a więc ułożenie masy języka jest bardziej środkowe lub tylne niż przednie. Jeśli więc nie pojawił się błąd podczas badania artykulograficznego, jest to realizacja ewidentnie cofnięta.

Wspomniane rozpoznanie [ɥ] dotyczące realizacji fonemu /i/ pokazuje także stopień zależności opisywanej tutaj metody od dużej ilości obrazów przedstawiających szczególnie skrajne ułożenia języka. Omawiana realizacja pochodziła od informatora, który wymawiał każdą samogłoskę jednokrotnie i w izolacji, tak więc w materiale badawczym znalazło się tylko 6 obrazów. Najbardziej przednie i wysokie położenie języka pojawiło się akurat w przypadku realizacji fonemu /e/, stąd rozpoznanie [i] przy zastosowaniu drugiego zestawu modeli. Ta realizacja łącznie z najniższym ułożeniem języka przy wymawianiu /a/ ustawiła siatkę modeli zakresowych (drugiego zestawu) w taki sposób, iż nieco tylko cofnięta, lecz tak samo wysoka realizacja /i/ została zinterpretowana przez arkusz kalkulacyjny, w którym dokonywano obliczeń, jako głoska najbardziej podobna do [i].

Nałożenie pierwszego zestawu modeli, w największym stopniu oddających nawyki artykulacyjne Jonesa, przesunęło nieco wszystkie modele do góry i do przodu, przez co realizacja /e/ znalazła się wprawdzie blisko modelu [e], lecz nieco cofnięta realizacja /i/ – jak się okazało – była już blisko modelu [ɥ].

Wszystkie te rozpoznania – [ɥ] na podstawie pierwszego zestawu modeli i [i] na podstawie drugiego – mogą się wobec tego wydawać wątpliwe, lecz bardziej ze względu na niewielką ilość danych niż błąd w procedurze badawczej. O ile bowiem pierwszy zestaw modeli odzwierciedla dość sztywno artykulacje jednej tylko osoby⁴⁸, o tyle drugi zestaw jest niejako nastawiony (skalibrowany) przez skrajne ułożenia języka osoby badanej.

Wracając do kwestii nietypowej labializacji wielu samogłosek, można zauważyć regularne częściowe (słabe) otwarte zaokrąglenie w realizacjach wszystkich fonemów samogłoskowych stojących po spółgłosce /b/ (wyjątkiem jest tu jedynie /o/, które jest niezaokrąglone we wszystkich realizacjach pochodzących z: Fonem.eu, 2011, oraz /u/, w którym stwierdzono słabe przymknięte zaokrąglenie). Być może więc jest to regularna asymilacja samogłosek po spółgłosce wszak dwuwargowej /b/.

Bardzo ciekawe i warte odnotowania jest porównanie rozpoznań głosek izolowanych wykonanych na podstawie obrazów z: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 i Fonem.eu, 2011. Jest to bowiem w istocie zestawienie

⁴⁸ Nie zapominajmy jednak, że chodzi tutaj o artykulacje samego twórcy modelu czworokąta samogłoskowego.

bardzo dokładnych analiz artykulacji oddalonych w czasie o ponad pół wieku⁴⁹. Nie zapominajmy jednak, że pojedyncze wymówienia informatora 1. z: Fonem.eu, 2011, które poddano analizie, mogą być niepewne ze względu na niewielką liczbę danych (zob. objaśnienia dotyczące samogłoski /i/).

Miejsce artykulacji samogłoski /i/ zapewne nie uległo zmianie, choć w dalszym ciągu trudno wyjaśnić przyczynę rozpoznania [ɨ]. W każdym razie /i/ w *bity* jest praktycznie takie samo jak /i/ w: STRUTYŃSKI, 1992 (rys. 26). W tym ostatnim obrazie wyraźnie widać dość znaczne zsuniecie warg, lecz bez wyduęcia, co zostało rozpoznane jako częściowe przymknięcie zaokrąglenie.

Realizacja fonemu /i/ (w alfabecie sławistycznym: /y/), której obraz zacerpnięto ze: STRUTYŃSKI, 1992 (rys. 27), okazała się tylna i częściowo zaokrąglona (przymknięte zaokrąglenie): [ɨ]. Jak poprzednio, labializację można łatwo stwierdzić przez wzrokową analizę obrysu rentgenogramu. W realizacjach najnowszych jedynie po /b/ (w wyrazie *byty*) fonem /i/ okazał się tylny: [ɔ]. W izolacji i kontekście neutralnym był przedni(!): [ø] lub przedni cofnięty: [i̟]. Informator 1. w: Fonem.eu, 2011 zaokrąglił tę samogłoskę: [ø]; informator 5. natomiast 6 razy wymówił ją bez żadnego zaokrąglenia: [i̟].

Dawna realizacja /e/ okazała się bardzo niska i spłaszczona: [a]. Izolowane /e/ informatora 1. z: Fonem.eu, 2011 było natomiast zwężone: [e]. Cofnięcie tej samogłoski do rzędu środkowych widoczne jest w wymówieniach informatora 5.: [ə].

Często u informatorów 1. i 2. w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 pojawiało się nieznaczne zaokrąglenie otwarte w realizacjach fonemu /a/: [a̟]. Samogłoska ta okazała się też idealnie środkowa, ale nie tak niska jak realizacja /e/, lecz nieco wyższa. Informator 1. z: Fonem.eu, 2011 wymówił /a/ jako [a], co było uśrednioną realizacją fonemu /e/ u informatorów Konecznej i Zawadowskiego.

Podwyższenie artykulacyjne /a/ w wyrazie *podział* do [ɔ], jak się okazało, polegało na przesunięciu tej samogłoski w kierunku [u], co wskazuje na upodobnienie do labio-welaryzowanej /w/. Upodobnienie /a/ do miękkiej zarejestrowane przez Koneczną i Zawadowskiego w wyrazie *nianiusia* było bardzo silne: rezultatem rozpoznania okazała się głoska średniowysoka, przednia cofnięta [ø̟].

Fonem /o/ był słabo labializowany u obu informatorów Konecznej i Zawadowskiego (uśrednione rozpoznanie: [ɔ̟]). Realizacje opublikowane w: Fonem.eu, 2011 okazały się wyłącznie zdelabializowane. Podwyższenie

⁴⁹ Większość rentgenogramów Konecznej i Zawadowskiego wykonana została w latach 1946, 1948 i 1949 (zob. spis rentgenogramów w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951: 13–16).

artykulacyjne /o/ w wyrazie *wiośniany* (rys. 21 w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951) okazało się silniejsze niż w przypadku /a/ w podobnym kontekście: na obrazie rozpoznano samogłoskę wysoką obniżoną, środkową, niezaokrągloną [i̯].

Jeśli chodzi o realizacje fonemu /u/, to pojedyncza realizacja w izolacji nie daje pewności co do trwałej delabializacji tej samogłoski.

Jedyna realizacja /j/ z: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 okazała się tylna uprzedniona i częściowo zaokrąglona: [ɔ̯₃ +]. Realizacje kontekstowe informatora nr 5 w: Fonem.eu, 2011 pokazują, że fonem ten może być realizowany niekoniecznie w sposób napięty (zob. DUKIEWICZ, SAWICKA, 1995: 25): w kontekście neutralnym rozpoznano samogłoskę wysoką obniżoną, środkową uprzednioną [i̯], a po miękkiej jako wysoką obniżoną, środkową [ĩ̯].

Realizacje fonemu /w/ w: KONECZNA, ZAWADOWSKI, 1951 i Fonem.eu, 2011 są prawie identyczne.

Zamiast podsumowania

Lektura niniejszego artykułu, a zwłaszcza części zawierającej przykładową analizę obrazu głoski, może sprawiać wrażenie, iż prezentowana metoda jest zbyt rozbudowana i skomplikowana, że czas poświęcony na same obliczenia nie jest warty otrzymanych wyników. Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że obecnie nie musimy tego typu obliczeń wykonywać ręcznie. Przedstawiony sposób interpretowania obrazów głosek został zaprojektowany z myślą o komputerowym przetwarzaniu danych. Z tego powodu na żadnej ilustracji nie pojawiła się kompletna siatka modeli nałożona na konkretny obraz głoski. Nie było takiej potrzeby, gdyż w celu odnajdywania najbliższego modelu korzystano z odpowiednich formuł programu Microsoft Excel. Przetwarzaniu komputerowemu służyło również kodowanie każdego rozpoznania, które – jak widzieliśmy – okazało się przydatne w uśrednianiu wyników.

Być może przedstawiona procedura jest wątpliwa w niektórych momentach; o kilku zresztą była już mowa (obliczanie parametrów ρ , σ , \bar{r}_{00} , \bar{s}_0). Możliwe jest jednak jej dopracowanie⁵⁰, zweryfikowanie lub ulepszenie na

⁵⁰ Już po oddaniu artykułu do recenzji zauważono problem z zakresowym zestawem modeli: skrajne ułożenia artykulatorów brane są pod uwagę jedynie w przypadku określania położenia punktów samogłosek [i y] oraz [a ɔ], co powoduje rozciąganie czworokąta samogłosek modelowych wzdłuż tylko jednej przekątnej. Może to prowadzić do sytuacji, w której pewne wymówienia, np. polskiej samogłoski /u/, znajdują się poza obszarem czworokąta samogłosek modelowych. Rozwiązaniem jest rozciągnięcie czworokąta również wzdłuż przekątnej [u u] – [a œ].

Z braku miejsca na omówienie tego problemu zestawimy jedynie wszystkie wzory pozwalające ustalić współrzędne samogłosek skrajnych:

podstawie badań większej ilości danych. Nadzieją autora jest, że jeśli nie cała opisana w artykule procedura, to przynajmniej niektóre z jej narzędzi (parametry opisujące artykulację) okażą się przydatne w obecnych i przyszłych badaniach nad artykulacją.

Literatura

DUKIEWICZ L., SAWICKA I., 1995: *Fonetyka i fonologia*. Kraków.

DZWONKOWSKI L., MICHAJLIK A., RAMOTOWSKI W., SYLWANOWICZ W., 1967: *Anatomia i fizjologia człowieka. Podręcznik dla średnich szkół medycznych*. Wyd. 5. Warszawa.

- (\bar{x}, \bar{y}) dla [i y] takie, dla których $\sqrt{(\alpha - \bar{\alpha})^2 + (|\bar{i}| - |\bar{i}_{\min}|)^2}$ (α to kąt między osią OX a wektorem wodzącym \bar{i} , $\bar{\alpha}$ to średni kąt wszystkich wektorów wodzących \bar{i} , a \bar{i}_{\min} to najkrótszy wektor wodzący);
- (\bar{x}, \bar{y}) dla [a ɔ] takie, dla których $\sqrt{(\alpha - \bar{\alpha})^2 + (|\bar{i}| - |\bar{i}_{\max}|)^2}$ β to kąt między osią OX a wektorem \bar{i}' zaczepionym w punkcie $[x_{\max}; 0]$; \bar{i}_{\min} to najkrótszy wektor wodzący zaczepiony w punkcie $[x_{\max}; 0]$ przyjmuje wartość najmniejszą;
- (\bar{x}, \bar{y}) dla [u u] takie, dla których $\sqrt{(\beta - \bar{\beta})^2 + (|\bar{i}'| - |\bar{i}'_{\min}|)^2}$ przyjmuje wartość najmniejszą;
- (\bar{x}, \bar{y}) dla [a œ] takie, dla których $\sqrt{(\beta - \bar{\beta})^2 + (|\bar{i}'| - |\bar{i}'_{\max}|)^2}$ przyjmuje wartość najmniejszą.

Współrzędne (\bar{x}, \bar{y}) modeli samogłosek pośrednich odnajdziemy, korzystając z poniższego algorytmu:

$$\left\{ \begin{array}{l} n = 0, \quad 0 < m < 6, \quad \bar{W}_{nm} = \frac{m(\bar{W}_{[i]} - \bar{W}_{[u]})}{6} + \bar{W}_{[i]} \\ \left\{ \begin{array}{l} m = 0, \quad \bar{W}_{nm} = \frac{n(\bar{W}_{[a]} - \bar{W}_{[ɔ]})}{6} + \bar{W}_{[a]} \\ 0 < m < 6, \quad \left\{ \begin{array}{l} 0 < m < 6, \quad \bar{W}_{nm} = \frac{n(\bar{W}_{[om]} - \bar{W}_{[6m]})}{6} + \bar{W}_{om} \\ m = 6, \quad \bar{W}_{nm} = \frac{n(\bar{W}_{[u]} - \bar{W}_{[a]})}{6} + \bar{W}_{[u]} \end{array} \right. \\ n = 6, \quad 0 < m < 6, \quad \bar{W}_{nm} = \frac{m(\bar{W}_{[a]} - \bar{W}_{[ɔ]})}{6} + \bar{W}_{[a]} \end{array} \right.$$

gdzie n i m oznaczają położenie samogłoski, odpowiednio: w pionie i poziomie (są to jednocześnie elementy odpowiadającego danej samogłosce kodu); \bar{W}_{nm} to współrzędna względna samogłoski o kodzie $\bar{W}_{[i]}$ oznacza współrzędną samogłoski podanej w dolnym indeksie.

- ERICSDOTTER C., [1997]: *Christine Ericsson* [online]. Dostępne w Internecie: http://www2.ling.su.se/staff/ericsson/projects/xray_info.html (bezpośrednie adresy stron zawierających filmy i zdjęcia rentgenograficzne: http://www2.ling.su.se/staff/ericsson/projects/pion_all.htm – mężczyzna, szwedz. pion ‘piwonia’, plik „pion”; http://www2.ling.su.se/staff/ericsson/projects/big_mouth.htm – kobieta, odchylenie żuchwy bez artykulacji, plik „big_mouth”) [dostęp: 29.08.2014].
- Fonem.eu, 2011: *Fonem.eu. Portal edukacyjny polskiej fonetyki stosowanej w zakresie normy i patologii mowy* [online]. Dostępne w Internecie: <http://www.fonem.eu/index.php/pl/> [dostęp: 28.08.2014].
- IPA, 1999: *Handbook of the International Phonetic Association. A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge.
- JONES D., 1967: *An Outline of English Phonetics*. Wyd. 9. Cambridge (rentgenogramy przedstawiające artykulacje samogłosek [i a u] wymawianych przez samego Jonesa opublikowano na stronie Uniwersytetu w Utrechcie: http://www.let.uu.nl/~audiufon/data/e_cardinal_vowels.html [dostęp: 29.08.2014]).
- KONECZNA H., ZAWADOWSKI W., 1951: *Przekroje rentgenograficzne głosek polskich*. Warszawa.
- LoEP, 2009: *Laboratory of Experimental Phonetics „Arturo Gengre”* [online]. Dostępne w Internecie: http://www.lfsag.unito.it/index_en.html [dostęp: 28.08.2014].
- RYBKA P., 2014: *Jak badać samogłoski metodami akustycznymi? Propozycja metody opartej na względnych częstotliwościach formantowych oraz modelu samogłosek podstawowych*. „LingVaria” nr 2 (18), s. 69–88.
- STOMP W., 2010: *First Real-Time MRI of Moving Organs and Joints* [online]. Dostępne w Internecie: http://www.medgadget.com/2010/08/first_realtime_mri_of_moving_organs_and_joints.html [dostęp: 29.08.2014].
- STRUTYŃSKI J., 1992: *Zarys gramatyki polskiej*. Cz. 1: *Fonetyka i fonologia*. Kraków.
- STYCZEK I., 1973: *Badania eksperymentalne spirantów polskich s, ś, ź ze stanowiska fizjologii i patologii mowy*. Wrocław.

Piotr Rybka

The Use of Anthropometry in Research into the Articulation of Vowels (Including Examples from Polish)

SUMMARY

The paper contains an original method of analysis of different articulatory sections of vowels (namely, roentgenograms and articulograms). The proposal is based on measurements of precisely specified points within the articulators. Being the most important and related to the palatal and alveolar processes, the position of the highest point on the surface of the tongue is vital for the proper interpretation of a given articulation.

In order to measure the location of the above-mentioned point, position vectors were used. The absolute coordinates of the vectors were converted into relative values, i.e. related to the extreme positions of the tongue observed in the analyzed material. As a result, it was possible to compare the results obtained regardless of the size of particular illustration of speech organs. In total, it was assumed that the tongue would reach 49 possible positions measured in relation to most extreme position typical for vowels [I a o u]. Each recognized articulation was transcribed with the International Phonetic Alphabet. As for the vowel labialization, a separate procedure was used which involved measuring the following distances: between the lips, the incisors and between the upper lip and the upper incisors. Those measurements allowed to ascertain up to 6 different types of labialization.

The introduced method was also illustrated with an example analysis of Polish vowels. The examples were adopted both from the latest research and older publications. In the discussion, the advantages and possible applications of the procedure were pointed out as well as limitations and possible refinement of some of its elements.

Piotr Rybka

Die Ausnutzung von anthropometrischen Messungen bei Erforschung der Artikulation von Vokalen (am polnischen Sprachstoff)

ZUSAMMENFASSUNG

Der Artikel schildert die vom Verfasser entwickelte Methode der Analyse von verschiedenen Artikulationsschnitten der Vokale (Röntgenbilder und Artikulogramme). Der Verfasser stützte sich auf Messungen von genau definierten Punkten im Bereich des Sprechapparates. Der wichtigste von ihnen ist der höchste Punkt an der Oberfläche der Zunge, deren Lage der Wölbung der Mundhöhle (genauer gesagt: dem alveolaren und palatalen Fortsatz) gegenüber für richtige Interpretation einer bestimmten Artikulation ausschlaggebend ist.

Zur Messung des oben genannten Punktes wurden Positionsvektoren verwendet, deren absolute Koordinaten gegen relative Koordinaten umgetauscht wurden, d.h. zu äußersten in dem zu untersuchten Material erreichten Zungenlagen relativiert. So konnte man die erreichten Ergebnisse abgesehen von der Größe des konkreten Sprechapparates miteinander vergleichen. Der Verfasser berücksichtigte 49 potentiell mögliche Zungenlagen in Bezug auf äußerste, für Vokale [i a o u] typische Zungenpositionen. Alle festgestellten Artikulationen waren mittels des internationalen Alphabets transkribiert. Zur Bestimmung des Labialisierungsgrades der Vokale wurde eine andere Prozedur angewandt. Zu diesem Zwecke wurde die Entfernung zwischen den Lippen und den Schneidezähnen und zwischen der Oberlippe und oberen Schneidezähnen ausgemessen. Das erlaubte, 6 verschiedene Typen der Lippenlage zu unterscheiden.

Die hier geschilderte Methode wurde mit Musteranalysen von den Bildern der polnischen Vokale bebildert, die sowohl den neuesten Artikulationsforschungen als auch den älteren Abhandlungen entnommen wurden. In der Auslegung von Forschungsergebnissen hebt der Verfasser die Vorteile solcher Auffassung, eventuelle Anwendungsbereiche als auch potentielle Beschränkungen und die Möglichkeit, einige Aspekte der Prozedur noch zu feilen, hervor.