

ANITA LORENC¹, RADOSŁAW ŚWIĘCIŃSKI²

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin
Zakład Logopedii i Językoznawstwa Stosowanego

²Universiteit van Amsterdam
Faculteit der Geesteswetenschappen, Literatuur en Taalwetenschap

Badania artykulacyjne głosek języka polskiego¹

Articulatory studies of the Polish sound system

STRESZCZENIE

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie badań w dziedzinie fonetyki artykulacyjnej języka polskiego. Najpierw omówiono pokrótce badania instrumentalne i eksperymentalne polskiej artykulacji prowadzone do 1970 roku, a następnie opisano badania przeprowadzone w latach 90. XX wieku i w XXI wieku. Szczególną uwagę poświęcono analizom przeprowadzonym z wykorzystaniem artykulografii elektromagnetycznej (EMA), by na koniec podjąć dyskusję na temat wybranych zagadnień prowadzonych na większą skalę w bieżącym projekcie badawczym poświęconym analizie artykulacji w języku polskim.

Słowa kluczowe: fonetyka artykulacyjna, badania instrumentalne i eksperymentalne polskiej artykulacji, artykulografia elektromagnetyczna (EMA)

SUMMARY

This paper aims to present research in the area of articulatory phonetics of Polish. First, we discuss briefly instrumental and experimental studies of Polish articulation that had been conducted by the 1970s and then we describe investigations of Polish articulation carried out in 1990s and in the 21st century. We focus on research completed with the use of electro-magnetic articulography

¹ Artykuł powstał w ramach projektu naukowo-badawczego nr 2012/05/E/HS2/03770 „Współczesna wymowa polska. Badanie z wykorzystaniem trójwymiarowej artykulografii elektromagnetycznej” realizowanego pod kierownictwem A. Lorenc. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/05/E/HS2/03770.

(EMA) and, finally, we discuss selected issues of a larger-scale on-going EMA project of ours aimed at an in-depth analysis of Polish articulation.

Key words: articulatory phonetics, instrumental and experimental studies of Polish articulation, electromagnetic articulography (EMA)

WPROWADZENIE

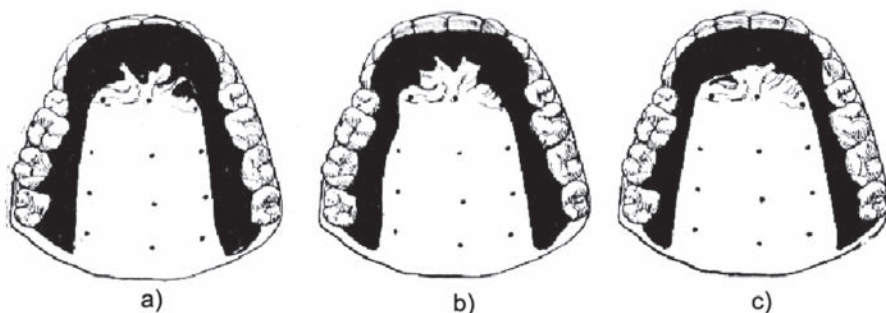
Język polski budzi duże zainteresowanie badaczy, zarówno z perspektywy fonetycznej, jak i fonologicznej. Niemniej jednak, przeglądając dostępne źródła, okazuje się, że często znajdujemy w nich wiele zdezaktualizowanych lub nieprecyzyjnych opisów artykulacji dźwięków języka polskiego (w których na przykład nie podaje się informacji na temat badanych mówców czy sposobu pozyskiwania materiału do analizy). Po dekadach stagnacji na polu badań artykulacji zaistniała potrzeba ich wznowienia w odniesieniu do współczesnej wymowy polskiej. Wychodząc naprzeciw istniejącym potrzebom, na Wydziale Humanistycznym UMCS podjęto badania z wykorzystaniem trójwymiarowej artykulografii elektromagnetycznej.

Niniejszy artykuł prezentuje bieżący stan badań na temat artykulacji języka polskiego. Otwiera go krótki historyczny przegląd dokonań uczonych w XX wieku. Dalej przedstawiono pilotażowe badania własne, którymi objęto dwóch mówców, użytkowników języka polskiego, jednego z prawidłową i drugiego z zaburzoną wymową (więcej na ten temat w artykule: Trochymiuk, Święciński, 2009). Eksperyment ten dostarczył danych artykulacyjnych, które wykorzystano do stworzenia szczegółowych opisów i animacji 2-D. Wyniki tego badania zostały później wykorzystane w stworzeniu nagradzanego portalu edukacyjnego: fonem.eu.

Wreszcie, zaprezentowano wybrane zagadnienia metodologiczne, fonetyczne i fonologiczne, związane z realizacją bieżącego projektu badawczego zatytułowanego „Współczesna wymowa polska. Badanie z wykorzystaniem trójwymiarowej artykulografii elektromagnetycznej”, którego głównym celem jest stworzenie szczegółowego opisu wariantów podstawowych polskich głosek. Eksperyment przewiduje analizę wymowy w oparciu o synchroniczną rejestrację trzech rodzajów sygnałów: artykulograficznego, wielokanałowego audio oraz wideo za pomocą szybkich kamer przemysłowych w obrębie specjalnie wyselekcjonowanej grupy dwudziestu natywnych mówców języka polskiego (10 mężczyzn i 10 kobiet). Zależności istniejące pomiędzy pozyskanymi danymi będą modelowane za pomocą dynamicznych sieci Bayesa oraz przechowywane w relacyjnej bazie danych.

BADANIA ARTYKULACYJNE JĘZYKA POLSKIEGO – PERSPEKTYWA HISTORYCZNA

Pierwsze wybitne instrumentalne badania artykulacji języka polskiego przeprowadził Tytus Benni, który wykorzystał jedną z najwcześniejszych fonetycznych metod obrazowania artykulacji niewidocznych dla ludzkiego oka – palatografię. Jego pionierski eksperyment w tej dziedzinie, przeprowadzony w 1915 roku, dotyczył kompleksowej analizy kontaktu językowo-podniebiennego w realizacjach polskich spółgłosek i samogłosek wymawianych przez jednego mówcę – samego autora (Benni, 1915). Metoda, jakiej użył, była poniekąd nieprecyzyjna i ograniczona, gdyż polegała na skopiowaniu śladów, jakie pozostawił język na sztucznym aluminiowym podniebieniu pokrytym warstwą talku lub kredy, jak pokazano na rycinie 1.

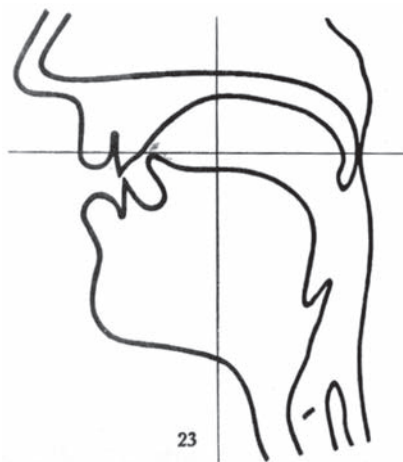


Ryc. 1. Przykłady palatogramów spółgłosek apiko-dentalnych: a) [t] w wyrazie *tata*, b) [d] w wyrazie *dama*, c) [n] w wyrazie *nam* i *pan* (Benni, 1931, 11).

Na schematach T. Benni oznaczył zęby i trzy serie punktów referencyjnych, dzięki czemu są one łatwiejsze do interpretacji i dają możliwość porównania kontaktu języka z podniebieniem podczas wymawiania różnych dźwięków mowy. Benni zbadał artykulację wszystkich polskich spółgłosek i samogłosek według następującego podziału: spółgłoski twarde (przednie i tylne zvarcia i szczeliny), palatalizowane (wargowe, przedniojęzykowe i tylnojęzykowe) i samogłoski (ustne i nosowe). Schematy autor opatrzył komentarzami, które do dziś budzą podziw ze względu na swoją skrupulatność, wnikliwość, a zarazem ostrożność interpretacji. Warto zauważyć, że jego badania nie zostały jak dotąd zaktualizowane.

Kolejny wybitny wkład do opisu polskiej artykulacji należy do Michała Abińskiego, nauczyciela w Instytucie Głuchoniemych w Warszawie. W swojej publikacji z 1925 roku zatytułowanej *Obrazy głosek polskich* M. Abiński zamieszcza zestaw 47 ilustracji prezentujących artykulację polskich spółgłosek i samogłosek

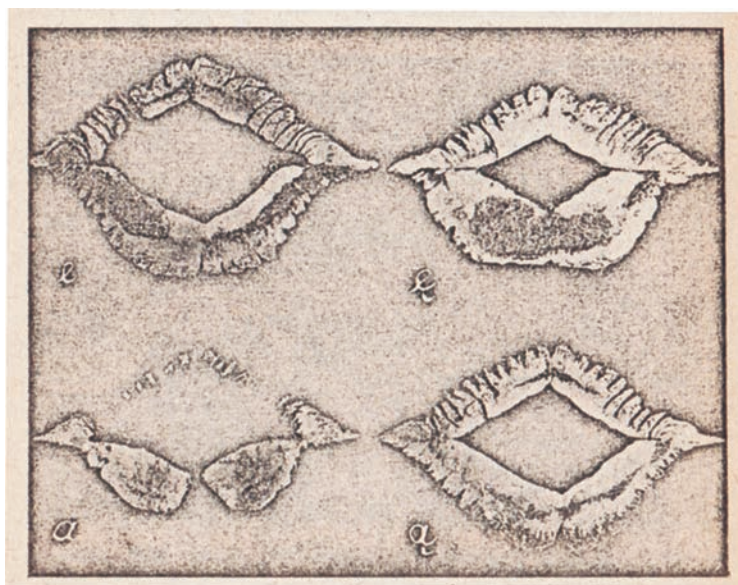
(por. ryc. 2.). Do dziś są one często powielane w polskich podręcznikach fonetyki (np. Klemensiewicz, 1984; Dyszak i in., 1997; Wiśniewski, 1998). Co ciekawe, i to należy podkreślić, M. Abiński opracował schematy jedynie w oparciu o subiektywne wrażenia i spostrzeżenia dotyczące artykulacji własnej i innych ludzi. Niemniej jednak, wielu badaczy do dziś bezkrytycznie korzysta z nich, opierając na nich swe teorie. Co więcej, są one wykorzystywane jako standardowy model w procesie kształcenia studentów, nawet na wyższym poziomie, na przykład, studentów filologii, a także logopedii.



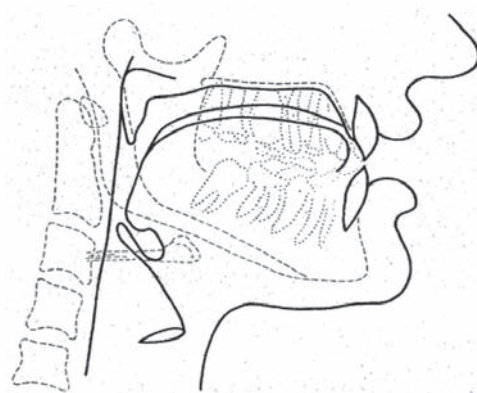
Ryc. 2. Przekrój poprzeczny polskiej spółgłoski [ɕ] wg. M. Abińskiego (Parol, 1988, II, sch. 23.)

Maria Dłuska przyczyniła się do opisu wymowy języka polskiego dzięki zastosowaniu labiografii (1950). Stworzyła labiogramy polskich dźwięków, używając, jak widać na rycinie 3., złożonego kawałka grubego papieru okopconego sadzą. Oprócz labiogramów M. Dłuska wykorzystywała również inne metody eksperymentalne, takie jak palatografia.

Pionierskie, bezcenne badania fonetyczne języka polskiego przeprowadzili H. Koneczna i W. Zawadowski (1951). Eksperyment opierał się na wykonaniu zdjęć rentgenowskich polskich dźwięków mowy realizowanych przez czterech mówców pochodzących z Warszawy. Na ich podstawie opracowano 146 przekrojów bocznych ilustrujących artykulację poszczególnych spółgłosek i samogłosek, jak zilustrowano na rycinie 4. W celu uzyskania lepszego obrazu pozycji artykulatorów, miękkie tkanki języka, warg i podniebienia pokryto cienką warstwą substancji pochłaniającej promieniowanie (baru jako nierozpuszczalnej soli kwasu siarkowego). Interesujące detale wymowy skopiowano ze zdjęć rentgenowskich na transparentny papier.



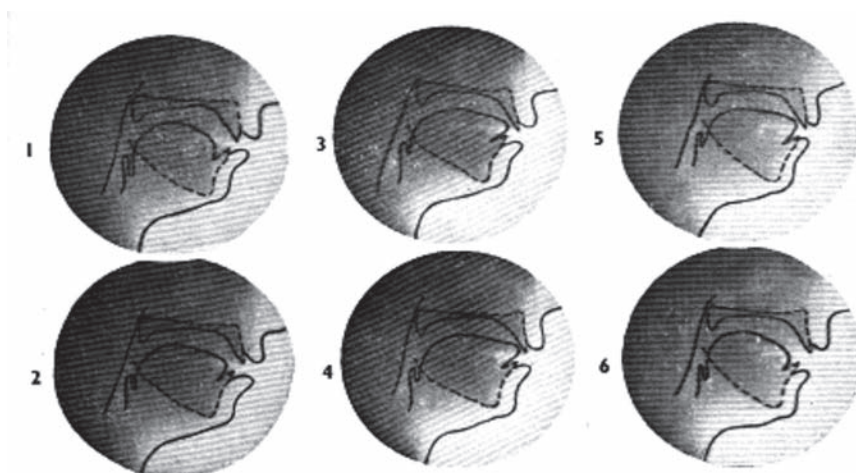
Ryc. 3. Labiogramy polskich samogłosek [ɛ], [ɛ̃], [a] i [ã] (Dłuska, 1950, 55)



Ryc. 4. Przekrój rentgenograficzny spółgłoski [ʂ] (Koneczna, Zawadowski, 1951, ryc. 117. – mówca III).

Od 1957 roku badania rentgenograficzne prowadziła również B. Wierzchowska. Jako pierwsza w badaniu głosek języka polskiego zastosowała kinorentnografię² – metodę filmową, umożliwiającą rejestrowanie przebiegów artykulacyjnych i ich zmian w mowie ciągłej. Rycina 5. przedstawia wynik takiego badania

² W ostatnich latach w Polsce publikowano wyniki badań wideorentnograficznych u chorych po wycięciu nowotworu jamy ustnej (Stecewicz i in., 2006) oraz u dwóch osób dorosłych, jednej z dotylną wadą zgryzu, drugiej z krótkim wędzidełkiem języka (Ostapiuk, 2013).



Ryc. 5. Kinorentgenogram spółgłoski [r] (Wierzchowska, 1980, 105).

w odniesieniu do faz artykulacyjnych spółgłoski [r] (Wierzchowska, 1980). Niestety uzyskiwane tym sposobem obrazy nie były aż tak wyraźne jak w tradycyjnej rentgenografii, choć niewątpliwie bardziej naturalne.

Oprócz kinorentgenografii B. Wierzchowska prowadziła liczne, obszerne fonetyczne badania instrumentalne, stosując wszystkie wcześniej wymienione metody (palatografię, labiografię, statyczną rentgenografię). Od jej śmierci w 1980 roku, będącej początkiem długiego okresu stagnacji w eksperymentalnych badaniach artykulacyjnych języka polskiego, nikt nie prowadził podobnych badań na tak dużą skalę.

Badania nad artykulacją języka polskiego wznowiono w latach 90. XX wieku. Pierwsze publikacje należą do foniatorów i związane są z eksperymentami przeprowadzonymi w oparciu o ultrasonografię języka (Wein i in., 1991) oraz jądrowy rezonans magnetyczny (Wein i in., 1994), techniki jak dotąd nie wykorzystywane w badaniach instrumentalnych języka polskiego. We wspomnianym badaniu ultrasonograficznym uwidoczniło kształty powierzchni bocznej języka między innymi podczas prawidłowego wymawiania w izolacji samogłosek ustnych, nosowych oraz wibrantu [r] przez pięciu dorosłych użytkowników języka polskiego³ (w artykule autorzy przedstawiają jednak tylko po jednym przykładzie konturów bocznych języka badanych dźwięków, nie wyjaśniając, czy są to wykonania tego samego czy różnych mówców). Badane osoby proszono o przedłużoną, trwającą dwie sekundy, realizację analizowanych głosek. Po ustabilizowaniu się pozycji

³ Autorzy prezentują również przekroje boczne języka podczas ćwiczeń artykulacyjnych w systemie wzrokowego sprzężenia zwrotnego spółgłoski [r] wykonywanych przez dziecko słyszące i samogłoski [i] przez dziecko z zaburzeniami słuchu.

języka podczas wymowy wzmocniano kontur boczny jego powierzchni i fotografowano go. Zdumiewające jest uwzględnienie w takim badaniu realizacji samogłosek nosowych, charakteryzujących się wielosegmentalną budową. Nie sposób ocenić też, którą z faz ich wymowy autorzy artykułu utrwalili na zdjęciu.

Badanie z wykorzystaniem jądrowego rezonansu magnetycznego przeprowadzono u jednej osoby, którą poproszono o wymawianie przez dwie sekundy każdej głoski języka polskiego w izolacji. Przyjęta metodologia jest zrozumiała w przypadku kontyuantów, jednak przedłużania wymowy wymagano również w odniesieniu do samogłosek nosowych, spółgłosek zwarto-wybuchowych, czy zwarto-szczelinowych (zwraca na to również uwagę B. Ostapiuk, 2013, 154–155). Pomimo ogromnego zaawansowania technologicznego, dającego możliwość trójwymiarowego komputerowego modelowania badanych struktur, metoda MRI wciąż daje niezadowalające rezultaty, jeśli chodzi o dokładność obrazu, prędkość kolekcjonowania próbek (mówcy muszą przedłużać żadaną artykulację przez wiele sekund); wykazuje się również negatywny wpływ efektu grawitacji na artykulację, gdyż badanie wykonywane jest w pozycji leżącej (por. Stone i in., 2007).

Kolejne badania artykulacji głosek języka polskiego opublikowane w latach 90. XX wieku należą do fonetyków: B. Pompino-Marschalla i M. Rochoń (później Żygis). Autorzy zastosowali nowoczesną metodologię, aczkolwiek zakres ich badań był raczej ograniczony. W 1999 roku zbadali artykulację polskich zwarto-wybuchowych spółgłosek ząbówych, a w innym eksperymencie (2003) spalatalizowane zwarto-wybuchowe spółgłoski dwuwargowe zrealizowane przez czterech mówców. Metody zastosowane w badaniach to artykulografia elektromagnetyczna (dane uzyskane z wykorzystaniem artykulografu AG100) i elektropalatografia. Niestety, podjęte przez nich badania artykulacyjne dźwięków języka polskiego nie były dalej kontynuowane.

B. Pompino-Marschall i M. Żygis (2003) potwierdzili obserwacje dotyczące asynchroniczności artykulacyjnej polskich spalatalizowanych dwuwargowych spółgłosek zwarto-wybuchowych. Jednak w innych opisach współczesnej polszczyzny znaleźć można sprzeczne twierdzenia dotyczące tego problemu. J. Strutyński (2000, 71) pisze o tym, że asynchroniczna artykulacja spalatalizowanych spółgłosek labialnych i welarnych nie dominuje, ale staje się coraz bardziej powszechna we współczesnym języku polskim. Podobne spostrzeżenie formułują M. Rochoń i B. Pompino-Marshall (1999) w odniesieniu do wtórnie spalatalizowanych koronalnych spółgłosek zwartych. Może to oznaczać, że w dzisiejszej polszczyźnie mamy do czynienia z trwającą fonologiczną zmianą, w której dochodzi do rozpodobnienia synchronicznie realizowanych fonemów. Jednak, aby udowodnić to twierdzenie, należałoby przeprowadzić badania socjolingwistyczne, koncentrujące się na wymowie omawianych segmentów przez młodsze i starsze pokolenia Polaków.

ARTYKULOGRAFIA ELEKTROMAGNETYCZNA W BADANIACH WYMOWY POLSKIEJ

Artykulograf jest obecnie jednym z najbardziej nowoczesnych narzędzi badawczych stosowanym w fonetycznych badaniach artykulacyjnych. Pozwala na nagrywanie, odtwarzanie i ocenę położenia ruchomych narządów mowy (warg, języka, zuchwy i podniebienia miękkiego), kontrolę i analizę dynamicznych, trójwymiarowych wizualizacji ruchu zsynchronizowanych równoległe z dźwiękiem, w dowolnie wybranej dla analizy domenie czasowej. W porównaniu do innych metod badania artykulacji (np. przy użyciu rezonansu magnetycznego, głowicy ultrasonograficznej czy mikrowiązki rentgenowskiej), badanie EMA (ang. *Electromagnetic Articulography*) wykazuje szereg zalet, takich jak: wysoka częstotliwość próbkowania, możliwość trójwymiarowego pomiaru (a nawet pięciowymiarowego, uwzględniając kąty ułożenia sensorów), bezpieczeństwo dla zdrowia, wysoka jakość uzyskanych danych, czy też nieograniczona mobilność głowy mówcy (Ridouane, 2006). Artykulografia elektromagnetyczna jest wykorzystywana do opisu ruchów i ułożenia narządów mowy przez wiodące ośrodki fonetyczne na całym świecie (Stany Zjednoczone, Kanada, Australia, Japonia, Rosja, Chiny, Niemcy, Holandia), np. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Haskins Laboratories, Queen Margaret University College (Edynburg), Zentrum für Allgemeine Sprachwissenschaft (Berlin), University of California Phonetics Lab, Speech Dynamics Lab w Beckman Institute, Instytuty Maxa Plancka i wiele innych. Te cenione i wyznaczające trendy badawcze ośrodki akademickie prowadzą eksperymenty dotyczące wymowy wielu języków; wydaje się niezbędne opracowanie tego rodzaju opisu w odniesieniu do dźwięków języka polskiego.

Przy zastosowaniu badań artykulograficznych opisano cechy wymowy wielu języków, między innymi takich jak:

– angielskiego w jego wielu odmianach (Wrench, 1999; Wrench, Scobbie, 2003; Kühnert, Hoole, 2004; Mullooly, 2004; Richmond, 2007; Carignan i in., 2011 oraz wiele innych),

– niemieckiego (Mooshammer i in., 2003; Hoole, Mooshammer, 2002; Kühnert, Hoole 2004; Pompino-Marschall i in., 1996; Pompino-Marschall i in., 1998; Mooshammer i in., 2001; Fuchs i in., 2001; Bauer i in., 2010; Harrington i in., 2011),

– chińskiego i jego dialektów (Hu, 2003; Hoole, Hu, 2004; Feng, 2007),

– francuskiego (Badin i in., 2008; Kühnert i in., 2006),

– holenderskiego (Schiller i in., 1997; Warner i in., 2001),

– koreańskiego (Kochetov i in., 2007, Kochetov, Pouplier, 2008),

– węgierskiego (Geng, Mooshammer, 2004; Benus, Gafos, 2007),

– rosyjskiego (Kochetov, 2002; Kochetov i in., 2007),

- hindi (Shosted, 2012),
- arabskiego (Roon i in., 2007).

Artykulografia elektromagnetyczna została również wykorzystana w eksperymencie zrealizowanym przez polskich naukowców⁴ i przedsiębiorców⁵ – w dalszej części artykułu zaprezentowane zostaną wyniki tej współpracy. Badania artykulacyjne w Polsce zostały wznowione w Zakładzie Logopedii i Językoznawstwa Stosowanego w Lublinie wraz z nabyciem nowoczesnego sprzętu, czyli artykulografu elektromagnetycznego AG500.

Celem pierwszego projektu było stworzenie animowanych modeli toru głosowego przedstawiających standardową wymowę wszystkich polskich dźwięków, jak również wybranych artykulacji zaburzonych, w pozycji wewnątrzwyrazowej w neutralnym otoczeniu. Animacje zostały później opublikowane w nagradzanym portalu internetowym (fonem.eu). W eksperymencie bazowano na badaniach artykulacji dwóch mówców: polskiego prezentera telewizyjnego posługującego się staranną odmianą współczesnej polszczyzny oraz kobiety z zaburzoną artykulacją. Nagrania przeprowadzono z zastosowaniem artykulografu AG500 i dwóch kamer wideo. Pozyskane dane posłużyły stworzeniu szczegółowych opisów wymowy oraz dwuwymiarowych animacji i statycznych przekrojów bocznych toru głosowego, ilustrujących artykulację poszczególnych dźwięków.

Pozyskiwanie danych artykulograficznych

System AG500 kalibrowano przed każdą sesją nagraniową, sensory sterylizowano i pokrywano mleczkiem lateksowym. W ten sposób przygotowane czujniki przyklejano we wcześniej wybranych punktach narządów artykulacyjnych mówców za pomocą nietoksycznego kleju. Sensory, których odczyty użyto później do korekty ruchów głowy, umieszczono na wyrostkach sutkowatych za uszami i jeden na grzbiecie nosa. Miejsca te wybrano ze względu na ich relatywną stabilność w relacji do innych narządów podczas mówienia. Dwa sensory, monitorujące ruchy warg, zostały umieszczone na centralnej osi twarzy, w bezpośrednim sąsiedztwie ust, ale nie na ich czerwieni, ponieważ tak bardzo wrażliwa tkanka mogłaby ulec uszkodzeniu podczas odklejania czujnika. Cztery kolejne sensory zostały umieszczone wzdłuż osi podłużnej języka: jeden na czubku, jeden w obszarze postdorsalnym i dwa pozostałe w równych odstępach pomiędzy czujnikami peryferyjnymi (u mówcy z prawidłową artykulacją używano trzech sensorów, umieszczonych na czubku, przedniej i tylnej części języka). Następne dwa sen-

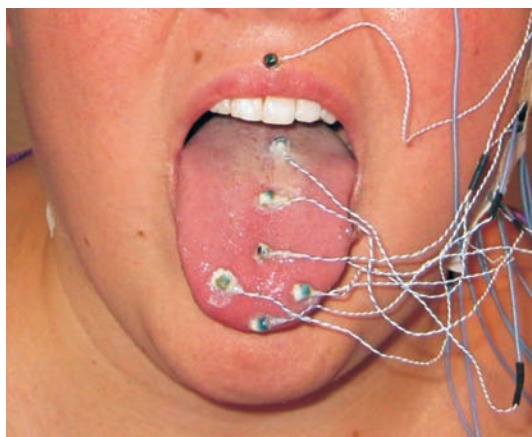
⁴ Kierownictwo nad eksperymentem objęła P. Łobacz, w skład zespołu weszli A. Lorenc i R. Świąciński.

⁵ Badania przeprowadzono w ramach projektu UDA-POIG.08.01.00-24-228/09-00 „Portal edukacyjny polskiej fonetyki stosowanej w zakresie normy i patologii mowy” Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, realizowanego przez firmę Fonem.eu.

sory przyklejono na brzegach języka, po obu stronach jego górnej powierzchni, pomiędzy pierwszym (czubek) i drugim sensorem (przód), co przedstawiono na rycinach 6. i 7. Ostatni czujnik został umieszczony na granicy pomiędzy dolnymi zębami a dziąslami w celu kontrolowania ruchów żuchwy.



Ryc. 6. Rozmieszczenie wybranych sensorów rejestrujących pracę ruchomych artykulatorów u mówcy z prawidłową wymową (Trochymiuk, Święciński, 2009, 181).



Ryc. 7. Rozmieszczenie wybranych sensorów rejestrujących pracę ruchomych artykulatorów u mówcy z wadliwą wymową (Trochymiuk, Święciński, 2009, 181).

Jeden sensor służył wykonaniu obrysu kształtu wałka dziąsłowego, podniebienia twardego i częściowo podniebienia miękkiego. Umożliwiło to później reprezentację wyżej wymienionych narządów mowy w formie graficznej.

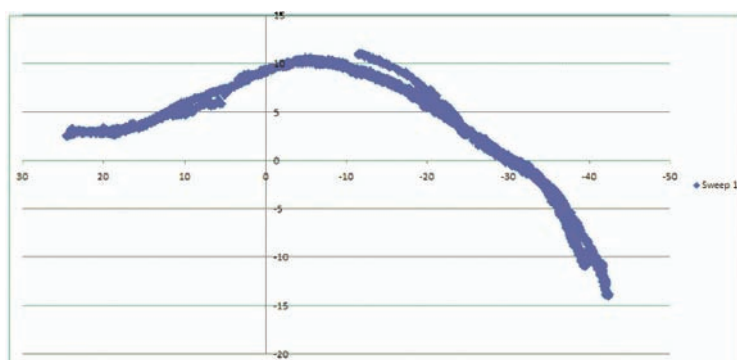
Obaj uczestnicy badań zostali poproszeni o odczytanie słów pojawiających się co trzy sekundy na ekranie umieszczonym przed nimi na poziomie oczu. Listy wyrazowe zostały opracowane w taki sposób, że docelowe spółgłoski pojawiały

się w pozycji wewnątrzwyrazowej między samogłoskami [a] i/lub [ɛ], których względnie neutralna artykulacja miała podkreślić cechy ocenianych dźwięków, jednocześnie mając na nie mniejszy wpływ koartykulacyjny niż inne samogłoski języka polskiego. Samogłoski ustne również oceniano w pozycji wewnątrzwyrazowej w otoczeniu spółgłosek zwarto-wybuchowych. Kontrast pomiędzy maksymalnym zwarciem konsonantycznym a maksymalnym rozwarciem wokalicznym miał uwydatnić cechy artykulacyjne samogłosek.

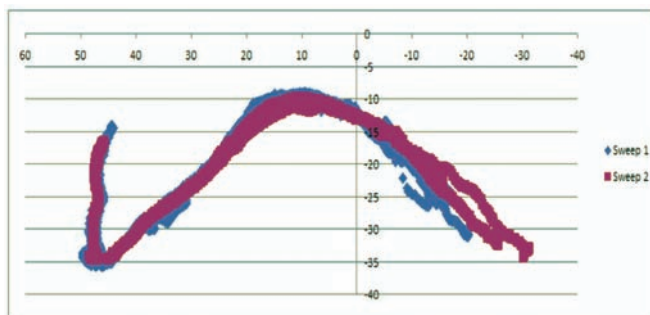
Po nagraniu uzyskane dane zostały przeniesione z jednostki głównej – artykulografu do komputera sterującego. Korzystając z programu CalcPos, dostarczonego przez producenta artykulografu, obliczono wartości amplitudy otrzymane z danych przestrzennych poszczególnych sensorów, biorąc również pod uwagę uprzednio otrzymane dane kalibracyjne. Następnie przy użyciu oprogramowania również dostarczonego przez producenta artykulografu i w oparciu o dane uzyskane z czujników kontrolnych wykonano korektę ruchów głowy. Tak przygotowane dane można było poddać dalszej analizie.

Modelowanie toru głosowego i opracowanie animacji w oparciu o dane artykulograficzne

Model toru głosowego wykorzystanego później w animacji pracy narządów mowy podczas mówienia opracowano w wielospecjalistycznym zespole, w którego skład, oprócz grafików i programistów, weszli fonetycy, logopedzi, ortodenci i laryngolodzy. W projekcie uwzględniono rzeczywiste warunki anatomiczne twarzoczaszek mówców pobrane ze zdjęć i nagrań wideo. Kształt podniebienia ustalono na podstawie obrysu artykulatorów pasywnych wykonanego jednym z sensorów podczas nagrania artykulograficznego (por. ryc. 8. i 9.).



Ryc. 8. Obrys artykulatorów pasywnych osoby z wymową normatywną (opracowanie własne)

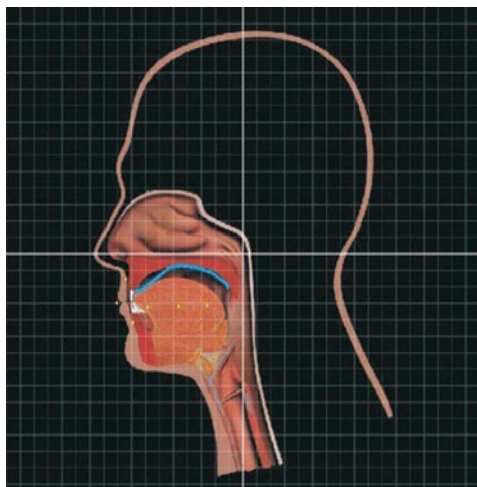


Ryc. 9. Obrisy artykulatorów pasywnych osoby z wymową zaburzoną (opracowanie własne)

Ostateczny kształt torów głosowych mówców uzyskano dzięki naniesieniu przedstawionych powyżej obrisów artykulatorów pasywnych na schematyczny przekrój poprzeczny twarzoczaszek. Uwzględniono w nim rozmieszczenie sensorów na artykulatorach aktywnych (języku, wargach i żuchwie). W dalszej kolejności naniesiono osie X, Y, będące punktem odniesienia dla poziomych i pionowych ruchów narządów mowy (por. ryc. 10. i 11.), i w oparciu o dane artykulograficzne stworzono animacje.



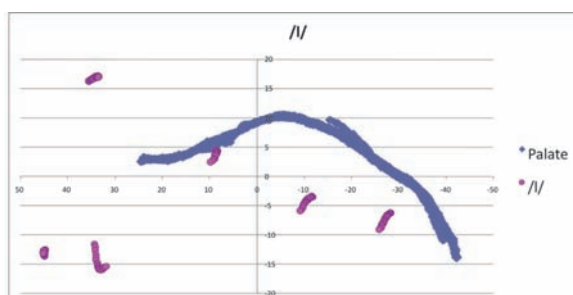
Ryc. 10. Model toru głosowego z uwzględnieniem warunków anatomicznych mówcy, obrisy artykulatorów pasywnych oraz położenia sensorów (opracowanie własne)



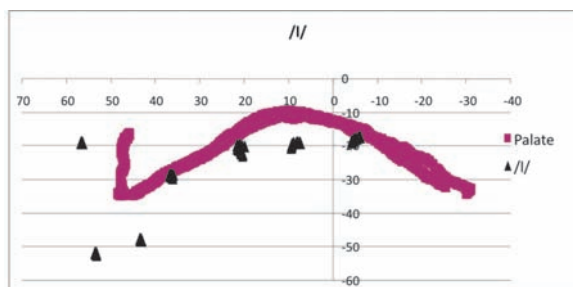
Ryc. 11. Schematyczny model toru głosowego naniesiony na osie współrzędnych (opracowanie własne)

W związku z tym, że artykulograf rejestruje położenie sensorów w przestrzeni co 5 milisekund z dokładnością 0,5 milimetra, te same jednostki przyjęto w projektowaniu animacji. W oparciu o badanie artykulograficzne opracowano łącznie 45 animacji dla wymowy normatywnej oraz 8 animacji dla wymowy grzbietowej. Ich główną zaletą jest to, że można zaobserwować pracę poszczególnych narządów mowy w ich dynamice, w dowolnym miejscu zatrzymać film i ponownie go odtwarzać. Wszystkie animacje zamieszczone są na stronie internetowej: www.fonem.eu. Projekt „Portal edukacyjny polskiej fonetyki stosowanej w zakresie normy i patologii mowy” znalazł się w gronie laureatów XI konkursu European Language Label (ELL), będącego europejskim certyfikatem jakości w edukacji językowej.

Badanie artykulograficzne wymowy zaburzonej pozwoliło odkryć, iż wymowa grzbietowa charakteryzuje nie tylko realizację spółgłosek [ʃ] [ʒ] [ʧ] [dʒ]. Okazało się, że tego typu nienormalny układ masy języka przybierającego kształt „kociego grzbietu” jest również charakterystyczny dla artykulacji innych spółgłosek oraz samogłosek. Opisywaną artykulację można zaobserwować na zamieszczonych poniżej rzutach bocznych realizacji fonemu /l/ (por. ryc. 12., 13.) oraz wybranych fragmentach animacji samogłoski /ɛ/ w wyrazie *Leszek* (por. ryc. 14., 15.).



Ryc. 12. Położenie sensorów artykulografu w stadium ustalonym realizacji fonemu /l/ w wymowie normatywnej, wyraz – *Leszek* (opracowanie własne)



Ryc. 13. Położenie sensorów artykulografu w stadium ustalonym realizacji fonemu /l/ w wymowie zaburzonej, wyraz – *Leszek* (opracowanie własne)



Ryc. 14. Środkowa część animacji realizacji fonemu /e/ w wymowie normalatywnej (www.fonem.eu)



Ryc. 15. Środkowa część animacji realizacji fonemu /e/ w wymowie zaburzonej (www.fonem.eu)

W opisanym powyżej eksperymencie tradycyjne labiogramy (por. ryc. 3.) zastąpiono nagraniami wideo, które pozwalają uchwycić dynamikę ruchów artykulacyjnych warg i żuchwy, jak również analizować wybrane etapy artykulacji (zob. ryc. 16.).

Badanie EMA na temat ustawień artykulacyjnych

Inne badanie z wykorzystaniem AG500 przeprowadził R. Święciński (2013), sprawdzając ustawienia artykulacyjne czterech polskich użytkowników języka angielskiego. Eksperyment potwierdził istnienie ustawień artykulacyjnych specyficznych dla poszczególnych języków i ich zależność od stopnia, w jakim angielszczyzna badanych mówców polskich cechuje obcy akcent. Okazało się, że osoby, które z powodzeniem opanowały wymowę angielskiego, przyjmowały inne ustawienia pozycji języka przed realizacjami wypowiedzi w języku angielskim, i inne w języku polskim. Tego samego fenomenu nie potwierdzono u mów-



Ryc. 16. Sekwencje nagrania wideo odnoszące się do wybranych etapów artykulacji zadziąsłowej spółgłoski szczelinowej [ʃ] w języku polskim: a) widok z przodu, b) widok z boku (opracowanie własne)

ców, których wymowa angielska była silnie nacechowana elementami fonetyki i fonologii języka polskiego.

BIEŻĄCE BADANIA

Zdając sobie sprawę z niedoskonałości poprzednich badań artykulograficznych, wynikających głównie z bardzo ograniczonej liczby analizowanych mówców, postanowiono zrealizować projekt na większą skalę, co udało się dzięki pozyskaniu dotacji finansowej z Narodowego Centrum Nauki. Głównym celem projektu „Współczesny język polski. Badanie z wykorzystaniem trójwymiarowej artykulografii elektromagnetycznej”, realizowanego pod kierownictwem A. Lorenc, jest stworzenie pierwszego obiektywnego, ilościowego i jakościowego opisu standardowej wymowy głosek języka polskiego. Podjęto się tego typu badań z kilku powodów. Przede wszystkim miał na to wpływ brak współczesnych, zobiektywizowanych opisów polskiej artykulacji. Część, jak dotąd, przeprowadzonych badań uległa już dezaktualizacji ze względu na rozwój języka. Od końca 1970 roku badania artykulacyjne w Polsce były podejmowane coraz rzadziej. Bieżący projekt jest próbą wypełnienia tej luki, aby dzięki nowoczesnym, obiektywnym i wielomodalnym badaniom współczesnej wymowy spełnić wymagania stawiane współczesnej fonetyce artykulacyjnej. W zamieszczonych poniżej paragrafach zaprezentowano podstawowe założenia badawcze i zagadnienia, które zostaną poddane analizie artykulograficznej.

Zespół badawczy

Projekt skupia naukowców z różnych dziedzin specjalizujących się w badaniach mowy i dyscyplinach pokrewnych: oprócz fonetyków, logopedów, w zespole badawczym znaleźli się specjaliści w dziedzinie cyfrowego przetwarzania sygnałów akustycznych, budowy sprzętu elektroakustycznego, systemów wizyjnych, automatycznego rozpoznawania mowy, cyfrowego przetwarzania sygnałów i obrazów (w tym sieci Bayesa), relacyjnych baz danych i inni.

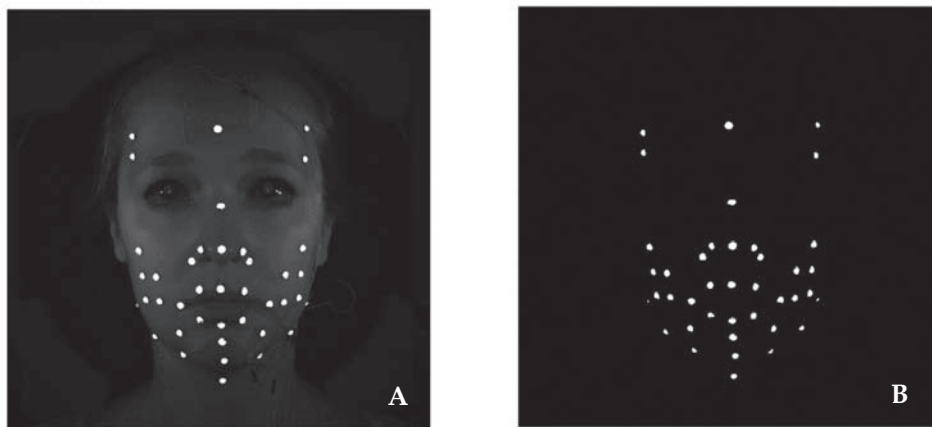
Uczestnicy badań

W badaniach wzięło udział 20 osób – 10 kobiet i 10 mężczyzn, posługujących się starannym stylem standardowej odmiany współczesnej polszczyzny, specjalnie dobranych we wcześniejszym badaniu logopedycznym, w którym wykluczono między innymi: istnienie wad anatomicznych w obrębie aparatu artykulacyjnego, zaburzenia sprawności motorycznej narządów mowy, słuchu fizycznego i mownego⁶.

Narzędzia badawcze

Eksperyment prowadzony jest z wykorzystaniem artykulografu AG500 – jedyne tego typu urządzenia w Polsce, stanowiącego wyposażenie Zakładu Logopedii i Językoznawstwa Stosowanego UMCS. Niezależnie od danych rejestrowanych za pomocą sensorów artykulografu symultanicznie prowadzony jest zapis audio i wideo. Sygnał akustyczny nagrywany jest za pomocą zbudowanego specjalnie na potrzeby projektu szerokopasmowego, wielokanałowego, cyfrowego rejestratora audio, co miało na celu poprawę jakości danych akustycznych i dokładniejszą synchronizację sygnałów artykulograficznego, audio i wideo. Ponadto, rejestrator jest w stanie zidentyfikować źródło/-a dochodzącego dźwięku, dzięki czemu uzyskano bardzo obiecujące wstępne wyniki w dziedzinie wykrywania nosowości i lateralności artykulacji (Król, Lorenc, Święciński, 2015). Z kolei trzy szybkie kamery przemysłowe rejestrują z przodu i z dwóch profili bocznych twarze mówców, na których rozmieszczono w odpowiednich miejscach 42 fluorescencyjne markery (por. ryc. 17.), w celu pozyskania dokładnych danych na temat położenia artykulatorów zewnętrznych, takich jak wargi i zuchwa.

⁶ Kryteria kwalifikacji mówców zostały omówione w artykule *Diagnozowanie normy wymawianiowej* A. Lorenc (2013). Jego zmieniona – poszerzona i uzupełniona wersja (*Norma fonetyczna – językowe i biologiczne kryteria diagnostyczne*) ukaże się w 2015 roku w podręczniku *Logopedia artystyczna* (Lorenc, w druku).



Ryc. 17. Widok: a) rozmieszczenia markerów na twarzy badanego mówcy b) markerów po ekstrakcji (opracowanie własne)

Wyniki badań

Eksperyment skupia się na charakterystyce standardowej wymowy polskiej, tworząc szczegółowy opis dynamiki wymowy dźwięków języka polskiego, koordynacji ruchów artykulatorów, ich pozycjonowania w poszczególnych etapach artykulacyjnych oraz prezentacji wyników badań w dostępnych formach graficznych.

Nagrania audio i wideo, jak również dane z sensorów artykulografu są przetwarzane w celu uzyskania wybranych parametrów w domenie czasowej i spektralnej. Zostaną one wykorzystane w procesie nauki dynamicznej sieci Bayesa (DBN – ang. *Dynamic Bayes Network*), która będzie reprezentować probabilistyczne modele polskich wypowiedzi językowych badanych w projekcie. Wszystkie dane dotyczące mówców, sygnału artykulograficznego, dźwięków, obrazów z kamer, parametrów sygnału i modeli artykulacyjnych w postaci dynamicznej sieci Bayesa będą przechowywane w specjalnej, relacyjnej bazie danych.

Pozyskane dane artykulograficzne, audio i wideo, wraz z dokumentacją fotograficzną, posłużą stworzeniu dokładnego i kompleksowego opisu polskiej fonetyki. Ponadto, w efekcie eksperymentu powstaną obrysy konturów górnej powierzchni języka podczas artykulacji dźwięków języka polskiego, stworzone w oparciu o pionierskie wykorzystanie danych odzwierciedlających wychylenia katowe sensorów EMA.

Dzięki wielomodalnym właściwościom artykulografu możliwe będzie stworzenie nowoczesnego opisu dynamiki artykulacyjnej głosek języka polskiego, prezentującego istotne etapy każdego dźwięku, który będzie mógł służyć również weryfikacji i aktualizacji poglądów na temat wymowy polskiej. Zatem bie-

zący projekt wnosi fundamentalne znaczenie dla rozwoju fonetyki artykulacyjnej w Polsce. Uzyskane wyniki powinny znaleźć odzwierciedlenie w programach kształcenia w szkolnictwie wyższym na kierunkach filologicznych, logopedycznych i pedagogicznych. Rezultaty eksperymentu będą mogły stanowić punkt odniesienia w diagnozie i terapii logopedycznej, jeśli chodzi o ocenę i kształtowanie prawidłowych postaw artykulacyjnych. Wyniki niniejszych badań mogą również stanowić przyczynek do powstania nowych technologii w zakresie syntezy mowy, tworzenia dynamicznych trójwymiarowych animacji pracy narządów mowy podczas artykulacji, modelowania toru głosowego, opracowania podwalin teoretycznych stosowanych w językoznawczych badaniach komparatywnych oraz diagnozie i terapii logopedycznej, projektowania aplikacji komputerowych wykorzystywanych do diagnozowania i terapii zaburzeń mowy, do nauki mowy w przypadku osób niesłyszących i niedosłyszących.

Pomiary artykulacji ponadkraniowych w połączeniu z ich wielomodalnymi i dokładnymi opisami pozwolą zastąpić schematyczne i subiektywne przekroje głosek, autentycznymi danymi uzyskanymi z konkretnych wypowiedzi dorosłych użytkowników języka polskiego.

Kontrowersje fonetyczne i fonologiczne

Badanie jest także próbą znalezienia odpowiedzi na wiele pytań budzących szereg fonetycznych i fonologicznych kontrowersji, będących przedmiotem toczących się od lat dyskusji akademickich. Biorąc pod uwagę fakt, że poprzednie kompleksowe badania artykulacji głosek języka polskiego z wykorzystaniem metod instrumentalnych (rentgenografia) zostały przeprowadzone ponad pół wieku temu (Koneczna, Zawadowski, 1951; Wierzchowska, 1965), od tego czasu artykulacja poszczególnych dźwięków mogła ulec zmianie. Przyjmując założenie, że fonetyka języka odzwierciedla jego fonologię, uzyskane dane mogą pomóc w rozstrzygnięciu wybranych kontrowersji fonologicznych, do których należą na przykład:

- kontrast wysokich samogłosek przednich,
- status fonologiczny samogłosek nosowych,
- status fonologiczny spółgłosek spalatalizowanych,
- zestaw cech dystynktywnych polskich spółgłosek zadziąsłowych.

Większość kontrowersji związana jest z rozmiarem i kształtem inwentarza fonologicznego języka polskiego. Jego opisy, będące konsekwencją wielu, często sprzecznych interpretacji, wyzwalają chęć weryfikacji odrębności fonetycznej/artykulacyjnej specyficznych realizacji głosek, dostarczając tym samym wskazówek na temat ich statusu fonologicznego. Tak więc celem badań jest również,

uzyskanie wglądu w te kwestie poprzez badanie artykulacji odpowiednich segmentów. Poniżej prezentujemy kilka fonetycznych i fonologicznych pytań wraz z propozycjami uzyskania na nie odpowiedzi za pośrednictwem wyjaśnień artykulacyjnych.

1. Czy samogłoska /i/ jest przednia, środkowa, czy może tylna? Jaka jest jej specyfika w świetle takich cech fonologicznych jak [+/-przedni] i [+/- tylny]?

Konfiguracja sensorów znajdujących się na języku podczas artykulacji [i], w porównaniu do ich pozycji podczas wymawiania innych polskich samogłosek, może dostarczyć informacji o jej położeniu na planie dźwięków przednich–tylnych (bliższym samogłoskom przednim, tylnym, czy może środkowym?) Pomiarzy akustyczne samogłosek polskich (Gonet, 1993; Łobacz, 1996; Klešta, 1998; Jassem, 1999) wskazują, iż [i] jest prawie tak samo przednia jak samogłoska [ɛ]. Średnie wartości drugiego formantu [i] oraz [ɛ] są zbliżone. Obserwacja położenia sensorów rozmieszczonych na języku wskaże, czy te dane związane są z aktualną artykulacją (czy wartość F2 w przypadku [i] jest bezpośrednio związana z jej przedniością). Na podobnej zasadzie w ujęciach fonologicznych różnicuje się samogłoski, klasyfikując je według cech [+wysoki] lub [-wysoki]. Pozycjonowanie sensorów podczas artykulacji [i] w odniesieniu do jednoznacznie wysokich i półotwartych samogłosek może wskazać, która z wymienionych dwóch cech dystynktywnych jest bardziej adekwatna z perspektywy artykulacyjnej.

2. Jaka jest charakterystyka artykulacyjna samogłosek nosowych i segmentów uznawanych za ich realizacje? Czy [ɔ] w wyrazie *kąp* [kɔmp] różni się od [ɔ] w wyrazie *komp* (skrót od wyrazu *komputer*)?

W świetle wyraźnych fonetycznie, i ewentualnie fonologicznie, zmian dotyczących artykulacji polskich samogłosek nosowych przed niekontynuantami, jak w wyrazach: *rąb*, *ręka*, *ksiądz*, rodzi się pytanie, czy samogłoski <ą> i <ę>, tradycyjnie uważane za fonologicznie nosowe, noszą odmienne cechy artykulacyjne niż ich ustne odpowiedniki w tych samych kontekstach, jak np.: *rąb* – *romb*, *pręty* – *renty*, *bląd* – *blond*, *sądy* – *sondy*, *kępa* – *Kempa*. Badanie z wykorzystaniem systemu EMA pozwoli na określenie, czy pomiędzy takimi parami samogłosek istnieje statystycznie znacząca różnica w artykulacji (w położeniu sensorów na języku). Ponadto, brak znaczących różnic pomiędzy analizowanymi segmentami może wskazywać, czy fonologiczna struktura badanych słów jest taka sama, co z kolei może oznaczać, że fonologicznie nosowa specyfikacja samogłosek <ę> i <ą> nie wchodzi w grę.

Na podobnej zasadzie, studium artykulacyjne samogłosek, tradycyjnie uznawanych za nosowe, przed kontynuantami (np. *węzeł* – *benzen*, *męski* – *pensja*) może pokazać, czy obecność nosowości wpływa na pozycję języka podczas artykulacji samogłosek, czy też nie.

3. Czy artykulacja spółgłosek palatalizowanych i palatalnych jest synchroniczna? Czy palatalny glajd występujący po obstruentach jest segmentem przejściowym, czy jednostką fonologiczną?

Biorąc pod uwagę niepewny status fonemiczny /j/ po spółgłoskach spalatalizowanych, w takich wyrazach jak *pies, miasto, diadem, dieta, kiedy* czy *hiena*, a także sporny status fonologiczny spółgłosek spalatalizowanych w języku polskim, czynnikiem, który może rzucić światło na te kwestie jest synchronizacja artykulacji. Analiza relacji czasowych między początkami i punktami docelowymi gestów artykulacyjnych w wymowie spółgłosek spalatalizowanych może wskazać, czy palatalny glajd obecny pomiędzy spółgłoską zmiękczoną a następującą samogłoską jest powstającym w procesie koartykulacji segmentem przejściowym, czy też nie powinien być traktowany jako element łączący, lecz jako odrębna jednostka struktury fonologicznej.⁷

4. Czy /i/ oraz /i/ to odrębne fonemy, czy allofony tego samego fonemu?

Odpowiadając na poprzednie pytanie związane z fonologicznym statusem spalatalizowanych spółgłosek w języku polskim, można dostarczyć dowodów na wyjaśnienie tej kwestii.

5. Czy polskie spółgłoski zadziąsłowe ([ʃ]/[ʂ] [ʒ]/[ʒ] [ʧ]/[ʧ] [dʒ]/[dʒ]) są retrofleksami?

Badania M. Żygis (2004) oraz A. Trochymiuk i R. Święcińskiego (2009) wskazują, iż zadziąsłowe obstruenty w języku polskim mają akustyczne i artykulacyjne cechy dźwięków retrofleksyjnych. Eksperyment z udziałem znacznie większej liczby uczestników pomoże jednoznacznie potwierdzić lub zaprzeczyć wcześniejszym obserwacjom. Weryfikacja będzie polegała na analizie pozycji i kątów nachylenia sensorów rozmieszczonych na czubku i przedniej części języka.

PODSUMOWANIE

Współczesne badania z zakresu fonetyki artykulacyjnej prowadzone z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi pozwalają weryfikować, aktualizować i porządkować dotychczasową wiedzę na temat wymowy. Tradycyjne, często subiektywne, techniki badania i wizualizacji mowy obecnie są zastępowane przez obiektywne i precyzyjne sposoby oceny wypracowane na gruncie fonetyki instrumentalnej (por. Code, Ball, 1984).

I tak na przykład, jeżeli chodzi o pomiar ruchów i położenia artykulatorów, palatografia (por. Benni, 1931) została zastąpiona przez elektropalatografię (EPG),

⁷ Wstępne badania synchroniczności wtórnie spalatalizowanych spółgłosek zwarto-wybuchowych pokazują, że gest palatalny nie jest równoczesny ze zwarciem głoski, niezależnie od miejsca jej artykulacji.

gdzie kontakt języka z podniebieniem rejestrowany jest w sposób dynamiczny za pomocą sztucznego podniebienia wypełnionego sensorami (do chwili obecnej żaden ośrodek w Polsce nie dysponuje takim urządzeniem). Metody rentgenograficzne (por. Koneczna, Zawadowski, 1951) zastąpione zostały obrazowaniem z zastosowaniem rezonansu elektromagnetycznego (MRI), a w miejsce kinorentgenografii (por. Wierzchowska, 1980) pojawiły się wizualizacje dynamiczne, wykorzystujące w badaniu położenia artykulatorów pole elektromagnetyczne.

BIBLIOGRAFIA

- Badin P., Elisei F., Bailly G., Tarabalka Y., 2008, *An Audiovisual Talking Head for Augmented Speech Generation: Models and Animations Based on a Real Speaker's Articulatory Data*. *Proceedings of 5th International Conference AMDO 2008*, 132–143.
- Bauer D., Kannampuzha J., Hoole P., Kröger B. J., 2010, *Gesture duration and articulator velocity in plosive-vowel-transitions*, [w:] *Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony*. red. A. Esposito, N. Campbell, N. Vogel, A. Hussain, A. Nijholt, Wyd. Springer, Berlin, 346–353.
- Benni T., 1915, *Fonetyka opisowa*, [w:] *Encyklopedia polska* (t. II, dz. III, *Język polski i jego historia z uwzględnieniem innych języków na ziemiach polskich*), Kraków.
- Benni T., 1931, *Palatogramy polskie*. Wyd. Tow. Miłośników Języka Polskiego, Kraków–Warszawa–Lublin–Łódź–Poznań–Zakopane–Wilno.
- Benus S., Gafos A., 2007, *Articulatory characteristics of Hungarian 'transparent' vowels*, „*Journal of Phonetics*”, 35, 271–300.
- Carignan C., Shosted R., Shih C., Rong P., 2011, *Compensatory articulation in American English nasalized vowels*, „*Journal of Phonetics*”, 39/4, 668–682.
- Dłuska M., 1950, *Fonetyka polska. Artykulacje głosek polskich*, Wyd. Studium Słowiańskiego, Warszawa.
- Dyszak A., Laskowska E., Żak-Święcicka M., 1997, *Fonetyczny i fonologiczny opis współczesnej polszczyzny*. Skrypt dla studentów filologii polskiej, Wyd. WSP w Bydgoszczy, Bydgoszcz.
- Fang Hu., 2003, *An acoustic and articulatory analysis of vowels in Ningbo Chinese*. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelona, 3017–3020.
- Feng L., 2007, *The Articulatory and Acoustic Study of Fricative Vowels in Suzhou Chinese*. *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Science (ICPhS)*, Saarbrücken, Germany, 573–576.
- Fuchs S., Perrier P., Mooshammer C., 2001, *The role of the palate in tongue kinematics: an experimental assessment in VC sequences from EPG and EMMA data*. *Proceedings of Eurospeech in Aalborg*, Aalborg, 1487–1480.
- Geng C., Mooshammer C., 2004, *The Hungarian palatal stop: phonological considerations and phonetic data*, *ZASPIL* 37, 221–243.
- Gonet W., 1993, *Próba określenia normy polskich samogłosek ustnych*, [w:] *Opuscula Logopaedica in honorem Leonis Kaczmarek*, (red.) J. Bartmiski, S. Grabias, B. Kaczmarek, Lublin 1993, 232–253.
- Harrington J., Hoole P., Kleber F., Reubold U., 2011, *The physiological, acoustic, and perceptual basis of high back vowel fronting: Evidence from German tense and lax vowels*, „*Journal of Phonetics*” 39, 121–131.

- Hoole P., Fang H., 2004, *Tone-Vowel Interaction in Standard Chinese. Proceedings of International Symposium on Tonal Aspects of Languages: Emphasis on Tone Languages*, Beijing, 89–92.
- Hoole P., Mooshammer C., 2002, *Articulatory analysis of the German vowel system*, [w:] *Silbenschnitt und Tonakzente Tübingen*: Niemeyer, red. P. Auer, P. Gilles, H. Spiekermann, 129–152.
- Jassem W., 1999, *Formants of the Polish vowels as phonemic and speaker related cues. Report on a discriminant analysis*, „Speech and Language Technology” 3, Pol. Tow. Fonetyczne, Poznań, 191–216.
- Klemensiewicz Z., 1984, *Podstawowe wiadomości z gramatyki języka polskiego*, PWN, Warszawa.
- Kleśta J., 1998, *Lingwistyczne i paralingwistyczne zastosowania akustyczno-fonetycznej bazy danych samogłosek języka polskiego*, „Speech and Language Technology” 2, Poznań: Pol. Tow. Fonetyczne, 47–63.
- Kochetov A., Pouplier M., 2008, *Phonetic variability and grammatical knowledge: An articulatory study of Korean place assimilation*, „Phonology” 25 (3), 1–33.
- Kochetov A., Pouplier M., Son, M., 2007, *Cross-language differences in overlap and assimilation patterns in Korean and Russian. Proceedings of the 16th International Congress of Phonetics Science (ICPhS)*, Saarbrücken, Germany, 1361–1364.
- Koneczna H., Zawadowski W., 1951, *Przekroje rentgenograficzne głosek polskich*, PWN, Warszawa.
- Król D., Lorenc A., Święciński R., 2015, *Detecting Laterality and Nasality in Speech with the Use of a Multi-Channel Recorder. 40th IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Brisbane, Australia.
- Kühnert B., Hoole P., 2004, *Speaker-specific kinematic properties of alveolar reductions in English and German*, „Clinical Linguistics & Phonetics”, 18, No 6–8, 559–575.
- Kühnert B., Hoole P., Mooshammer C., 2006, *Gestural overlap and C-center in selected French consonant clusters. Proceedings of the 7th International Seminar on Speech Production in Ubatuba, Brazil*, 327–334.
- Lorenc A., 2013, *Diagnozowanie normy wymawianiowej*, „Logopedia” 42, 61–86.
- Lorenc A., *Norma fonetyczna – językowe i biologiczne kryteria diagnostyczne*, [w:] *Logopedia artystyczna*, red. B. Kamińska, Harmonia Universalis, Gdańsk [w druku].
- Łobacz P., 1996, *Polska fonologia dziecięca. Studia fonetyczno-akustyczne*, Energeia, Warszawa.
- Mooshammer C., Perrier P., Fuchs S., Geng C., Payan P., 2001, *The control of token-to-token variability: an experimental and modeling study. Actes de la 4th International Speech Motor Conference*, Nijmegen, 78–81.
- Mooshammer C., Geumann A., Hoole P., Alfonso P., Lieshout P. van, Fuchs, S., 2003, *Coordination of lingual and mandibular gestures for different manners of articulation, Proceedings 15th International Congress of the Phonetic Sciences*, Genewa, vol. 1, 81–84.
- Mullooly R., 2004, *An electromagnetic articulograph study of alternating [ɹ] and the effects of stress on rhotic consonants*. Unpublished PhD thesis, Queen Margaret University College, Edinburgh.
- Ostapiuk B., 2013, *Dyslalia. O badaniu jakości wymowy w logopedii*, Uniw. Szczeciński, Szczecin.
- Parol Z. U., 1988, *Schematy artykulacyjne głosek polskich*, Polskie Towarzystwo Logopedyczne, Lublin.
- Pompino-Marschall B., Janker P. M., Mooshammer Ch., 1996, *Kinematic and dynamic analysis of syllable articulation. A pilot study on German syllables with tense and lax vowels*, „ZAS Papers in Linguistics” (ZASPIL) 7, 163–192.
- Pompino-Marschall B., Żygis M., 2003, *Surface Palatalization of Polish Bilabial Stops: Articulation and Acoustics*, [w:] *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences, 3–9 August*, red. M. J. Solé, D. Recasens, J. Romero, Barcelona, 1751–1754.

- Richmond K., 2007, *Trajectory mixture density networks with multiple mixtures for acoustic-articulatory inversion*, [w:] *Advances in Nonlinear Speech Processing, International Conference on Non-Linear Speech Processing*, red. M. Chetouani, A. Hussain, B. Gas, M. Milgram, J. L. Zarader, NOLISP 2007, vol. 4885 of Lecture Notes in Computer Science, Wyd. Springer Berlin–Heidelberg, 263–272.
- Ridouane R., 2006, *Investigating Speech Production. A Review of some Techniques*.
- Rochoń M., Pompino-Marshall B., 1999, *The Articulation of Secondarily Palatalized Coronals in Polish. Proceedings of XIVth International Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, 1897–1900.
- Roon K., Gafos A., Hoole P., Zeroual C., 2007, *Influence of Articulator and Manner on Stiffness. Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences*, Saarbruecken (Germany), 409–412.
- Schiller N. O., Meyer A. S., Levelt W. J. M., 1997, *The Syllabic Structure of Spoken Words: Evidence from the Syllabification of Intervocalic Consonants. Language and Speech*, 40, 103–140.
- Shosted R., Carignan, C., Rong, P., 2012, *Managing the distinctiveness of phonemic nasal vowels: Articulatory evidence from Hindi*, „Journal of the Acoustical Society of America”, 131(1), 455–465.
- Steciewicz M., Wysocki R., Halczy-Kowalik L., 2006, *Pronunciation and swallowing in patients with tongue deficits following resection of oral cavity tumor*, „Ann. Acad. Med.”, 52 Suppl. 3, Szczecin, 97–106.
- Stone M., Stock G., Bunin K., Kumar K., Epstein M. A., Kambhamettu C. L., M., Parthasarathy V., Prince J., 2007, *Comparison of speech production in upright and supine position*, „The Journal of the Acoustical Society of America” 122, 532–541.
- Strutyński J., 2000, *Elementy gramatyki historycznej języka polskiego*, Wyd. Tomasz Strutyński. Kraków.
- Święciński R., 2013, *An EMA study of articulatory settings in Polish speakers of English*, [w:] *Teaching and Researching English Accents in Native and Non-native Speakers*, red. E. Waniek-Klimczak, L. Shockey, Wyd. Springer, Berlin–Heidelberg, 73–82.
- Święciński, R., 2014, *The Phonological Status of the Palatal Glide in Polish: Acoustic Evidence*, [w:] *Crossing Phonetics-Phonology Lines*, red. E. Cyran, J. Szpyra-Kozłowska, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, 365–402.
- Trochymiuk A., Święciński, R., 2009, *Artykułograficzne badanie wymowy grzbietowej. Studium przypadku*, „Logopedia” 38, 173–201.
- Warner N. L., Jongman A., Cutler, A., Mücke D., 2001, *The phonological status of schwa insertion in Dutch: An EMA study. Proceedings of the 4th International Speech Motor Conference*, Nijmegen, 86–89.
- Wein B., Böchler, R., Klajman S., Obrębowski A., 1991, *Ultrasonografia języka w rehabilitacji zaburzeń artykulacyjnych*. „Otolaryngologia Polska” XLV, 2, 133–139.
- Wein B., Angerstein W., Neuschaefer-Rube Ch., Obrębowski A., Klajman S., 1994, *Badanie obwodowego narządu mowy przy wymowie głosek polskich za pomocą jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR)*. „Otolaryngologia Polska” XLVIII, 2, 178–198.
- Wierzchowska B. 1965, *Wymowa polska*, PZWS, Warszawa.
- Wierzchowska B. 1980, *Fonetyka i fonologia języka polskiego*, Zakł. Narod. im. Ossolińskich Wyd. PAN, Wrocław.
- Wiśniewski M., 1998, *Zarys fonetyki i fonologii współczesnego języka polskiego*, Wyd. Uniw. Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Wrench A. A., 1999, *An investigation of sagittal velar movement and its correlation with lip, tongue and jaw movement*, *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Sciences*, San Francisco, 2259–2262.

- Wrench A. A., Scobbie J. M., 2003, *Categorising vocalisation of English /l/ using EPG, EMA and Ultrasound*, [w:] *Proceedings of the 6th International Seminar on Speech Production*, red. S. Palethorpe, M. Tabain, ISSP, Sydney, 314–319.
- Żygis M., 2004, *Dlaczego polskie sybilanty ś i ź są retrofleksami?* „Logopedia” 33, 119–132.

Źródła internetowe

www.fonem.eu