

ANITA LORENC

Uniwersytet Warszawski
Zakład Logopedii i Emisji Głosu Instytutu Polonistyki Stosowanej

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7614-0881>

Charakterystyka artykulacyjna polskich sybilantów retrofleksyjnych. Badanie z wykorzystaniem artykulografii elektromagnetycznej*

Articulatory Characteristics of Polish Retroflex Sibilants.
Analysis Using Electromagnetic Articulography

STRESZCZENIE

Retrofleksyjność polskich sybilantów nie jest ich nowo odkrytą cechą, aczkolwiek wciąż zbyt mało popularną w literaturze polskojęzycznej. Celem niniejszego artykułu jest dostarczenie szczegółowych dowodów natury artykulacyjnej, iż polskie spółgłoski [ʂ ʐ [ʂ̺ ʐ̺]] są retrofleksami. Nowym aspektem tego ujęcia jest przeprowadzenie badań instrumentalnych z wykorzystaniem artykulografii elektromagnetycznej, którym poddano największą w dotychczasowych badaniach grupę starannie dobranych mówców. Wyróżniono cechy artykulacyjne polskich sybilantów retrofleksyjnych będące zarazem kryteriami klasyfikacyjnymi tej grupy spółgłosek. Przeprowadzona analiza danych artykulograficznych pozwoliła opisać cechy artykulacyjne polskich sybilantów retrofleksyjnych obecne w większości realizacji, takie jak: apikalność, (za)dziaślowość, obecność jamy podjęzykowej oraz cofnięcie masy języka.

Słowa kluczowe: artykulografia elektromagnetyczna, retrofleksy, sybilanty, artykulacja

SUMMARY

Retroflexion of Polish sibilants is not a newly discovered feature, however, it is still not very popular in the Polish-language literature. The purpose of this article is to provide detailed articula-

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

tory evidence for the retroflexive character of Polish consonants [ɣ z_ɣ ʃ̣ ʧ̣]. A new aspect of this approach is the use of instrumental techniques based on electromagnetic articulography, which has been subjected to the largest group of carefully selected speakers in the current research. The articulatory features of Polish retroflex sibilants are distinguished. The features also represent the classification criteria of this group of consonants. The analysis of articulatory data made it possible to describe the articulatory characteristics of Polish retroflex sibilants present in the majority of the realisations such as apicality, (post)alveolarity, the presence of the sublingual cavity and the tongue retraction.

Key words: electromagnetic articulography, retroflexes, sibilants, articulation

1. WPROWADZENIE

Tradycyjnie polskie sybilanty (za)dziaśłowe są zapisywane za pomocą symboli /ʃ z tʃ dz/ i klasyfikowane jako spółgłoski dziaśłowe laminalne (Jassem 2003, 104, por. też ryc. 2 w niniejszym artykule). Jednakże wyniki najnowszych badań dowodzą retrofleksyjności polskich spółgłosek [ɣ z_ɣ ʃ̣ ʧ̣]. Przemawiają za tym argumenty akustyczne (por. np. Pape, Żygis 2016, Żygis i in. 2012; Żygis, Hamann 2003; Żygis 2004; Keating 1991), artykulacyjne (por. np. Lorenc i in. 2018; Mik i in. 2018a; Bukmaier, Harrington 2016; Hamann 2003), percepcyjne (por. np. Łobacz 1995; Jassem, Łobacz 1995) oraz fonologiczne (por. np. Hamann 2003; Żygis 2004; Hall 1997; Dogil 1990; Rubach 1984).

Jeśli chodzi o argumenty akustyczne, udowodniono między innymi, iż obecność jamy podjęzykowej w artykulacji retrofleksów powoduje obniżenie częstotliwości rezonansowych (Keating 1991). Z objętością przedniej części jamy ustnej, ograniczonej z jednej strony wargami, z drugiej szczeliną artykulacyjną, związany jest akustyczny parametr COG (ang. *center of gravity*) – środek ciężkości widma. Im wyżej usytuowana jest szczelina (np. zadziaśłowo) tym niższą wartość przyjmuje środek ciężkości widma. W przypadku polskich sybilantów (za)dziaśłowych parametr COG przyjmuje niską wartość – od 2,5 do 3,5 kHz – co potwierdza ich retrofleksyjny charakter (Żygis, Hamann 2003; Żygis 2004). Również takie parametry jak czas trwania fazy frykcji, F1 i F2 następującej samogłoski, a także skośność i stromość widma są wiarygodnymi wskazówkami retrofleksyjności omawianej grupy spółgłosek (Żygis i in. 2012; Jassem 1995).

Z percepcyjnego punktu widzenia silny szum wytwarzany podczas artykulacji spółgłosek sybilantnych pozwala wyodrębnić zmiany związane z miejscem artykulacji (por. np. Łobacz 1995; Jassem, Łobacz 1995). Ponieważ w badaniach opis percepcyjny zazwyczaj łączy się z akustyczną charakterystyką sybilantów, znaleźć go również można w większości wymienionych w poprzednim akapicie źródeł.

W świetle argumentów fonologicznych polskie sybilanty zadziaśłowe nie łączą się z wysoką przednią samogłoską [i] co przemawia za ich retrofleksyjnością (Hall 1997; Rubach 1984; Hamann 2003; Żygis 2004). Polska spalatalizowa-

na spółgłoska /s/ przechodzi w [ʃ], a nie w retrofleks [ʃʲ] w kontekście następującej po niej [i] lub [j] (Żygis 2004), np. [ʃʲ]iwa, ko[ʃʲ] jabłek. Ponadto polskie spółgłoski dźwiękowo-palatalane /ç/ /z/ nie występują przed samogłoską /i/, podczas gdy polskie sybilanty retrofleksyjne łączą się z nią (Dogil 1990): np. [ei]ny, [ʃi]ny.

Celem niniejszego artykułu jest dostarczenie szczegółowych dowodów natury artykulacyjnej, iż polskie spółgłoski [ʃ z [ʃ̠ z̠] są retrofleksami. Nowym aspektem tego ujęcia jest przeprowadzenie badań instrumentalnych z wykorzystaniem artykulografii elektromagnetycznej. Pod uwagę wzięto nieanalizowane dotychczas cechy artykulacyjne, takie jak położenie tylnej części języka, czy żuchwy. Ponadto analizy artykulacyjne oparte na badaniu fonetyczno-instrumentalnym i stworzony na ich podstawie opis polskich sybilantów retrofleksyjnych jest efektem badania największej jak dotychczas grupy starannie dobranych mówców.

Struktura dalszej części artykułu jest następująca: w syntetyczny sposób objaśniono zagadnienia dotyczące (1) sybilantności i (2) retrofleksji, następnie przedstawiono (3) metodologię badań własnych i ich (4) wyniki. Opracowano je, poszukując cech wspólnych, charakterystycznych dla artykulacji retrofleksyjnych (por. Hamann 2003, 2004) w odniesieniu do miejsca artykulacji, obecności jamy podjęzykowej, stopnia odwiedzenia żuchwy i cofnięcia masy języka. Artykuł zamyka (5) wnioski płynące z przeprowadzonych badań.

2. SYBILANTNOŚĆ

Sybilantność jest cechą fonetyczno-akustyczną spółgłosek, której zastosowanie w klasyfikacjach ogranicza się tylko do dwóch grup dźwięków mowy – spółgłosek szczelinowych i zwarto-szczelinowych (Maddieson, Precoda 1992). „W tradycji lingwistycznej cechą fonetyczną sybilantności zalicza się do zjawisk uniwersalnych. Zakłada się, że w systemie fonologicznym każdego języka występuje przynajmniej jeden element trący (frykatywny) i gdy jest tylko jeden to wtedy jest +sybilantny [...]” (Łobacz 1998, 135)¹. Wśród języków zgromadzonych w bazie danych *UCLA Phonological Inventory Database* (UPSID) 83% wykazuje obecność przynajmniej jednej spółgłoski sybilantnej (Maddieson, Precoda 1992) i zazwyczaj (w 89% przypadków) jest nią jakaś odmiana dźwięku [s]. Z akustycznego i audytywnego punktu widzenia spółgłoski sybilantne wyróżnia szum o silnej amplitudzie pojawiający się w wysokich częstotliwościach (niesybilanty to również spółgłoski szumowe, ale o słabej energii szumu koncentrującej się również w niższych częstotliwościach). Mechanizm powstawania tego bardzo in-

¹ Cytowana publikacja autorstwa P. Łobacz nosząca tytuł *Sybilantność* w całości poświęcona jest charakterystyce fonetyczno-fonologicznej spółgłosek sybilantnych, w tym również z punktu widzenia terapii i rozwoju mowy. Czytelników zainteresowanych bardziej rozbudowanym opisem zjawiska sybilantności odsyła się do wymienionej publikacji.

intensywnego szumu wynika ze skierowania silnego prądu powietrza na przeszkodę, taką jak na przykład przednie siekacze (por. np. Shaddle 1991). Mechanizm ten jest dodatkowo wspierany wysoką pozycją żuchwy i co za tym idzie dolnych siekaczy² (por. Lee i in. 1994; Mooshammer i in. 2007). Silny szum spółgłosek sybilantnych zawsze jest wytwarzany podczas przepływu powietrza wzdłuż środkowej linii toru głosowego i na wydechu – są to w większości spółgłoski egressive płucne (Łobacz 1998, 137). Z punktu widzenia fonetyki audytywnej cecha silnego szumu jest najbardziej percepcyjnie niezależna i stanowi najważniejszy czynnik pozwalający wyodrębnić sybilanty różniące się m.in. miejscem artykulacji, np. angielskie /s/ vs. /ʃ/, czy polskie spółgłoski sybilantne (por. Łobacz 1995; Jassem, Łobacz 1995). Współczesne badania artykulacyjne wykazały, iż czubek języka i jego wertykalna orientacja są najbardziej efektywnymi fizjologicznymi parametrami, dzięki którym można poprowadzić jasny podział pomiędzy trzema miejscami artykulacji polskich sybilantów (zob. Bukmaier, Harrington 2016).

Według bazy danych UPSID (Maddieson, Precoda 1992) oprócz dźwięczności/bezdźwięczności oraz przedniości/nieprzedniości, jednym z najczęściej wykorzystywanych sposobów kontrastowania sybilantów szczelinowych jest kształt masy języka (obejmujący palatalizację, zębowość/dziąsłowość, czy palatalność/retrofleksyjność/palatalno-dziąsłowość).

Język polski ma złożony system sybilantów różniących się zarówno sposobem, jak i miejscem artykulacji, por. (1).

(1) polski system sybilantów

| | (za)zębowe | retrofleksyjne | dziąsłowo-palatalne |
|--------------------|------------|----------------|---------------------|
| szczelinowe | s z | ʃ ʒ | ç ʒ |
| zwarto-szczelinowe | ts dʒ | ʈʂ ɖʒ | tc dʒ |

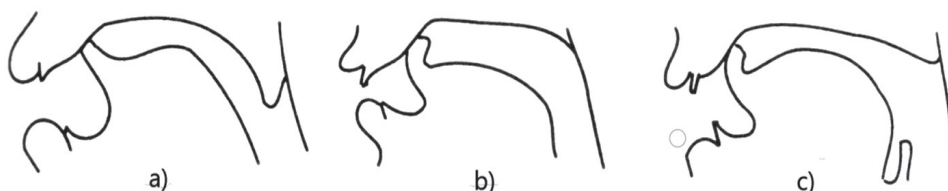
Retrofleksyjność polskich sybilantów nie jest ich nowo odkrytą cechą, aczkolwiek wciąż zbyt mało popularną w literaturze polskojęzycznej. Pisali o niej m.in. B. Wierzchowska³ (por. 1980), M. Rochoń i Pompino-Marschall (1999), S. Hamann (por. 2003), M. Żygis (por. 2004), A. Trochymiuk i R. Święciński (2009), A. Lorenc i R. Święciński (2014).

² Wysoka pozycja żuchwy skutkuje znacznym zbliżeniem do siebie górnych i dolnych siekaczy, co w polskiej literaturze logopedycznej zwykło się określać mianem dentalizacji.

³ Używając terminu *spółgłoski cerebralne*.

3. RETROFLEKSJA

W świetle wielu tradycyjnych ujęć definicja terminu retrofleks, w tym również sam jego źródłosłów (łac. *retro* – ‘wstecz’, *flexio* – ‘zgięcie’), wiąże się z opisem kształtu masy języka zagiętego ku górze lub wygiętego w łuk z czubkiem skierowanym ku tyłowi. Dochodzi w ten sposób do utworzenia artykulacji apikalnej (wykorzystującej czubek/koniuszek języka – apeks) lub nawet subapikalnej⁴ (przy użyciu spodniej powierzchni ostrza języka, poniżej czubka). Tak powstają retrofleksyjne spółgłoski zwarto-wybuchowe w językach hindi, tamil i telugu (por. rycina 1).



Rycina 1. Przekroje artykulacyjne wykonane na podstawie badania rentgenograficznego zwar-to-wybuchowych spółgłosek retrofleksyjnych: a) apikalnej w języku hindi i subapikalnej w językach b) tamil i c) telugu.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Ladefoged, Maddieson 1996, s. 27.

Masa języka jest uniesiona lub zagięta w charakterystyczny sposób, a apeks dotyka okolicy zadyśłowej (por. artykulacja apikalna rycina 1a) lub spód ostrza języka tworzy zwarcie w okolicy palatalnej (por. artykulacja subapikalna rycina 1b i 1c).

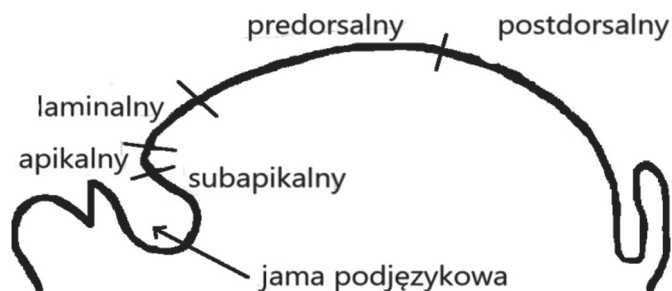
Należy tutaj uściślić, iż artykulacja za pomocą górnej powierzchni ostrza języka określana jest jako laminalna (por. rycina 2 poniżej). Wszystkie wymienione typy artykulacji, apikalne, laminalne i subapikalne (sublaminalne), należą do artykulacji koronalnych, realizowanych za pomocą korony języka, czyli najbardziej ruchliwej, przedniej części języka rozciągającej się od 1 do 2 cm (Keating 1991), od 1 do 1,5 cm (Catford 1977), od 1,5 do 2 cm (Dart 1988) za koniuszkiem języka.

W międzynarodowej klasyfikacji IPA termin *retrofleks* odnosi się do miejsca artykulacji spółgłosek, sytuując je między spółgłoskami zadyśłowymi a palatalnymi (por. IPA 1999, [http1](http://ipa.org)). Termin retrofleksja (cerebralność, kakuminalność) wiąże się jednak z uformowaniem masy języka, a nie konkretnym miejscem artykulacji, gdyż może być ono usytuowane pomiędzy obszarem zadyśłowym a prepalatalnym. Głoski retrofleksyjne mogą mieć różne miejsca artykulacji, np. zadyś-

⁴ Określanej w niektórych ujęciach jako *sublaminalna* (cyt. za: Hamann 2003, 13).

słowe, jak w języku malajalam, palatalno-dziąsłowe w południowo-afrykańskim języku herero lub palatalne w języku tamil (por. Laver 1994, Ladefoged, Maddieson 1996). Podobne zróżnicowanie dotyczy kategorii sposobu artykulacji – w językach świata retrofleksy znajdziemy wśród głosek zwartych, szczelinowych, nosowych, aproksymantów⁵ oraz samogłosek. Analiza spółgłosek o odmiennym sposobie artykulacji pokazuje, iż nie zawsze powstaje charakterystyczne dla retrofleksów zwarto-wybuchowych „wygięcie” przedniej części języka. Dzieje się tak na przykład w przypadku serbskich (Keating 1991) spółgłosek szczelinowych oraz polskich sybilantów retrofleksyjnych (Lorenc i in. 2018; Mik i in. 2018a). W świetle najnowszych opisów różnorodna grupa dźwięków mowy, jaką tworzą retrofleksy, klasyfikowana jest według kilku kryteriów artykulacyjnych (por. Haman 2003). Należą do nich:

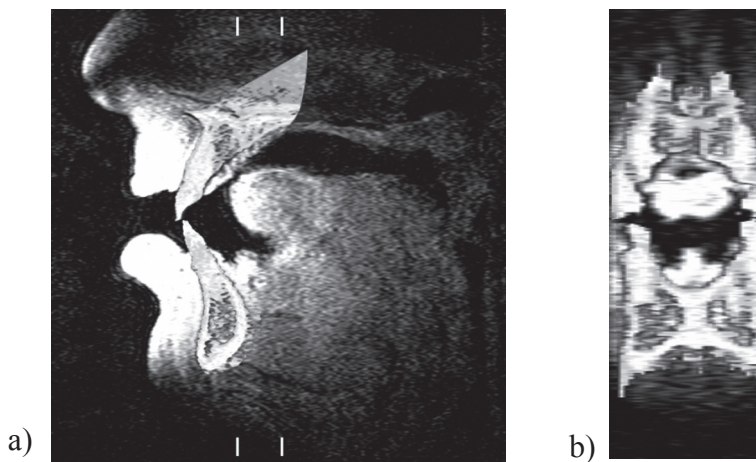
- (1) miejsce artykulacji – funkcję artykulatora pasywnego pełnią górne przestrzenie jamy ustnej począwszy od okolicy dziąsłowej aż po palatalną,
- (2) apikalność (ang. *apicality*), gdzie aktywnym artykulatorem jest czubek języka (artykulacje apikalne) lub jego spodnia część (artykulacje subapikalne), por. rycina 2.



Rycina 2. Schemat części języka i jamy podjęzykowej.
Źródło: opracowanie własne na podstawie Catford 1977.

- (3) obecność jamy podjęzykowej (ang. *sublingual cavity*), stosunkowo dużej przestrzeni pod językiem, tworzonej podczas artykulacji, por. rycina 2, rycina 3a, 3b.

⁵ Najnowsze badania z wykorzystaniem artykulografii elektromagnetycznej dostarczyły dowodów natury artykulacyjnej na retrofleksyjny charakter polskiego aproksymantu bocznego (por. Lorenc 2016a).



Rycina 3. Przekrój (a) strzałkowy i (b) koronalny (pobrany z miejsca zaznaczonego kreskami na Ryc. 3a) przedłużonej artykulacji polskiej spółgłoski [ʂ] zrealizowanej przez mówcę P2 w wyobrażonym kontekście samogłoski [a] wykonane za pomocą techniki MRI.

Źródło: Toda, Maeda, Honda 2010, s. 358–359.

(4) cofnięcie (ang. *retraction*) masy języka (por. rycina 4).



Rycina 4. Cofnięcie (środkowy ruch), welaryzacja (najwyższy ruch) i faryngalizacja (najbardziej tylny ruch) w porównaniu do neutralnej pozycji języka (wypełnionej na biało).

Źródło: opracowano na podstawie Hamann 2003, 35.

4. BADANIA WŁASNE

4.1. MÓWCY

Badaniami objęto grupę 20 dorosłych użytkowników języka polskiego (10 kobiet i 10 mężczyzn) w wieku od 22 do 46 lat. Wszyscy zakwalifikowani do badań mówcy w opinii zespołu ekspertów w sytuacjach oficjalnych posługiwali się starannym stylem standardowej odmiany współczesnej polszczyzny i mieli wyższe wykształcenie.

Z udziału w badaniach wykluczono osoby dwujęzyczne lub biegle władające przynajmniej jednym językiem obcym (a zatem np. studentów filologii

obcych), zakładając, iż może mieć to wpływ na wymowę w języku rodzimym. Nie brano również pod uwagę osób, które w związku ze zdobywanym lub uzyskanym już wykształceniem (np. aktorskim lub dziennikarskim) ćwiczą własną wymowę, świadomie ją zmieniają lub potrafią nią manipulować. Kwalifikowano natomiast do badań osoby o wysokiej świadomości językowej i kulturze języka wynikającej z podjętego lub ukończonego kierunku studiów (filologia polska, logopedia).

Projektując eksperyment, nie starano się uzyskać zróżnicowania regionalnego, gdyż uznano, że pomimo wysokiej – jak na eksperyment fonetyczny – liczby badanych osób (20) wciąż jest ona niewystarczająca do prowadzenia jakichkolwiek uogólnień wynikających ze zmiennych geograficznych.

Za podstawę procedury kwalifikacyjnej, przeprowadzonej przez zespół ekspertów (dwóch fonetyków i trzech logopedów), przyjęto kryteria fonetyczne, ortofoniczne, kulturalnojęzykowe oraz biologiczne (anatomiczne, czynnościowe i percepcyjne), szczegółowo opisane w innych publikacjach [por. Lorenc 2016a; Lorenc 2016b]. U badanych osób wykluczono w ten sposób m.in. istnienie: wad anatomicznych w obrębie aparatu artykulacyjnego (np. dotyczących zgryzu, uzębienia, budowy warg, języka, podniebienia), zaburzeń sprawności motorycznej narządów mowy (warg, języka, żuchwy, podniebienia miękkiego) i parafunkcji (takich jak połykanie czy żucie) oraz nieprawidłowości związanych z funkcjonowaniem słuchu fizycznego i mownego.

4.2. MATERIAŁ JĘZYKOWY

Lista służąca ocenie realizacji sybilantów retrofleksyjnych objęła 26 wyrazów (po 10 dla spółgłosek bezdźwięcznych [ʂ] oraz [ʂ̥] i po 3 dla ich dźwięcznych odpowiedników [ʐ] i [ʐ̥]). Wymowę polskich sybilantów retrofleksyjnych oceniano w pozycji wewnątrzwyrazowej w sylabach akcentowanych. Musiały to być zatem wyrazy trzysylabowe. Badane spółgłoski zawsze znajdowały się w obustronnym sąsiedztwie środkowej, niskiej samogłoski [a] (por. tabela 1).

Zadaniem mówców było zapamiętanie jednostek leksykalnych prezentowanych przez 2 s na ekranie znajdującym się na wysokości wzroku w odległości 1,5 m (w badaniu pilotażowym sprawdzano, czy użyty stopień pisma jest wystarczający do swobodnego odczytywania wyrazów). Następnie badana osoba wymawiała zapamiętany wyraz na umówiony sygnał świetlny (zielony ekran) w jak najbardziej naturalny sposób.

Na podstawie przeprowadzonej normalizacji (por. Lorenc 2016a, 129–131) do dalszej oceny zakwalifikowano 441 wyrazów służących ocenie polskich sybilantów retrofleksyjnych: 170 dla [ʂ], 161 dla [ʂ̥], 41 dla [ʐ] i 69 dla [ʐ̥].

Tabela 1. Lista wyrazowa służąca do oceny wymowy wariantów podstawowych spółgłosek [ɛ], [z], [ʃ], [dʒ].

| Wyrazy | | | |
|------------|----------|------------|----------|
| kaszanka | bażanty | kaczany | Adzaria |
| kaszałot | strażacy | maczanie | Adżanta |
| straszaki | Marzanna | taczanka | Madżarda |
| zaszaleć | – | zaczadzić | – |
| zraszacze | – | sflaczały | – |
| blaszany | – | zbacanie | – |
| ptaszarnia | – | Kaczawa | – |
| kaszaki | – | wkraczanie | – |
| kraszanka | – | staczanie | – |
| zraszanie | – | krzaczasty | – |

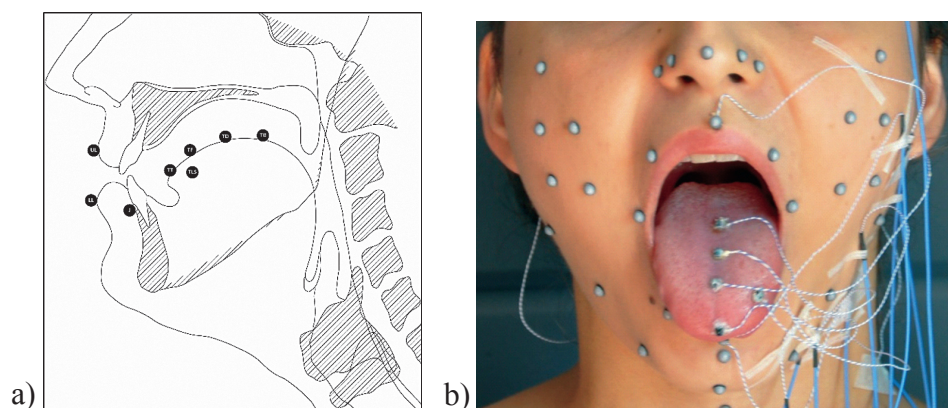
Źródło: opracowanie własne.

4.3. NARZĘDZIE BADAWCZE: ARTYKULOGRAF ELEKTROMAGNETYCZNY

Nagrania prowadzono z jednoczesnym wykorzystaniem artykulografu firmy Carstens (model AG500), systemu wizyjnego złożonego z trzech szybkich kamer firmy Point Grey (Gazelle GZL-CL-22C5M-C) oraz samodzielnie zaprojektowanego i zbudowanego rejestratora audio wraz z 16-kanalową macierzą mikrofonową (Lorenc i in. 2015; Król i in. 2015; Mik i in. 2018b). Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano dane zgromadzone za pomocą artykulografu elektromagnetycznego AG500. Jest to urządzenie, które dzięki zastosowanej technologii pozwala nagrywać, przechowywać, prezentować i oceniać ruchy artykulatorów (języka, warg, żuchwy, podniebienia miękkiego) w trójwymiarowej przestrzeni w czasie rzeczywistym – podczas mówienia. Jego ogólna zasada działania (por. <http2>) polega na indukcji zmiennego napięcia w sensorach, mocowanych na narządach artykulacyjnych badanych osób, przez pole magnetyczne o różnych częstotliwościach wytwarzane przez sześć cewek nadawczych. Proces ten umożliwia obliczenie współrzędnych sensorów w trójwymiarowej przestrzeni (określenie współrzędnych XYZ) w czasie rzeczywistym, a także dwóch miar kątowych (φ , θ). Dzięki oprogramowaniu komputerowemu, dołączonemu do urządzenia, zgromadzonymi danymi można w prosty sposób zarządzać, przeglądać je, a także edytować.

Artykulograf AG500 umożliwia wykorzystanie podczas badania maksymalnie 12 sensorów. W prezentowanym eksperymencie trzy z nich pełniły funkcję referencyjną dla pozostałych i służyły do późniejszej normalizacji danych powiązanej z korektą ruchów głowy. Umieszczono je odpowiednio na wyrostkach sutkowatych lewym i prawym oraz na mostku nosowym. Jeden sensor, przytwier-

dzony do drewnianej szpatułki medycznej, służył do zarejestrowania indywidualnych warunków anatomicznych mówcy (w celu wykonania obrysów górnych siekaczy, dziąseł i podniebienia podczas oddychania przez nos i przez usta). Wykorzystano go również do lokalizacji stawów żuchwowo-skroniowych. Wszystkie pozostałe sensory były przeznaczone do kontroli ruchomych narządów mowy. Pięć sensorów rozmieszczono na języku, cztery w linii środkowej (czubek – TT, przód – TF, środek – TD i tył – TB) i jeden na przedniej krawędzi bocznej – TLS). Dwa sensory rejestrowały pracę wargi górnej (UL) i dolnej (LL), umieszczono je w części środkowej tuż ponad czerwienią warg. Jeden sensor (J), przyklejony wewnątrz jamy ustnej na granicy dolnych siekaczy i dziąseł, służył do kontroli pracy żuchwy (por. rycina 5).



Rycina 5. Rozmieszczenie sensorów artykulografu a) na ruchomych narządach mowy, b) na języku jednej z respondentek.

Źródło: opracowanie własne.

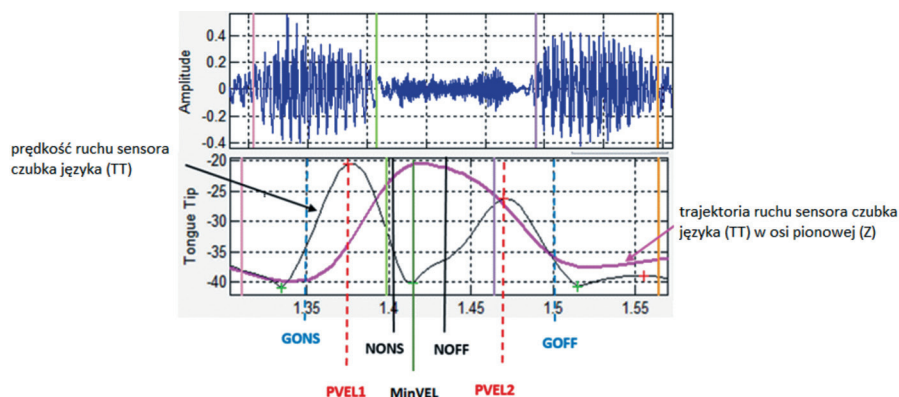
4.4. SEGMENTACJA I ANALIZA GESTÓW ARTYKULACYJNYCH POLSKICH SYBILANTÓW RETROFLEKSYJNYCH

Specjalnie na potrzeby prowadzonego eksperymentu zdecydowano się na opracowanie w środowisku Matlab własnego oprogramowania. Aplikacja *phoneMAtool*⁶ (Mik, Lorenc 2015a) umożliwia dynamiczną wizualizację trajektorii ruchu wszystkich sensorów (poza referencyjnymi) w osiach X (przód – tył) i Z (górze – dół) oraz analizę i ekstrakcję informacji związanych z położeniem poszczególnych sensorów w czasie we wszystkich osiach, z uwzględnieniem wychyleń kątowych σ i ζ . Ponadto oprogramowanie pozwala na obliczenie prędkości ruchu sensorów w czasie oraz na wyznaczenie jej minimów i maksimów.

⁶ Autorzy większości analiz gestów artykulacyjnych prowadzonych na podstawie danych artykulograficznych używają funkcji FindGest, dostępnej w aplikacji *MVIEW*.

Dodatkowo możliwe jest wyznaczenie 20-procentowego poziomu rosnących i malejących prędkości.

Na potrzeby segmentacji i analizy gestów artykulacyjnych tworzonych przez ruchome narządy mowy przyjęto model stosowany w światowych badaniach fonetycznych z wykorzystaniem systemów EMA (por. Best i in. 2014). Analiza wymagała wskazania artykulatora, którego ruch pełni główną rolę w tworzeniu docelowych artykulacji. W ocenie realizacji polskich sybilantów retrofleksyjnych przyjęto, iż funkcję artykulatora krytycznego (kluczowego) pełni czubek języka (Browman, Goldstein 1992). Na rycinie 6 przedstawiono fragment realizacji wyrazu *kaszalot* wraz z segmentacją artykulacyjną spółgłoski [ʂ] według przyjętych kryteriów (więcej na ten temat w publikacji A. Lorenc 2016a, 144–146).



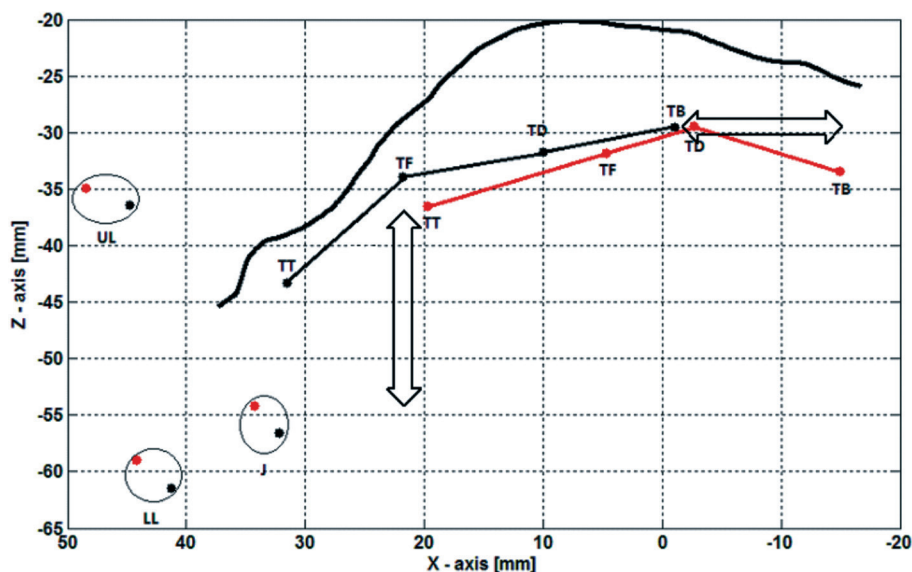
Rycina 6. Oscylogram oraz trajektoria i prędkość ruchu sensora czubka języka (TT) w osi Z (góra – dół) podczas realizacji segmentów [aʂa] w wyrazie *kaszalot* (mówca PT_m, plik 305)
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem aplikacji *phonEMAtool* (Mik. Lorenc 2015).

Wyniki badań polskich sybilantów retrofleksyjnych przedstawione w niniejszym artykule opracowano w chwili czasowej, w której czubek języka (artykulator prymarny) przyjmował ekstremalne wychylenie w osi Z (góra – dół), osiągając zarazem najniższą wartość swojej prędkości (MinVEL, ang. *minimum velocity*) w obrębie nuklearnej fazy gestu artykulacyjnego (pomiędzy NONS, ang. *nucleus onset* a NOFF, ang. *nucleus offset* – początkiem i końcem rdzenia artykulacyjnego).

4.5. WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH

Analizie poddano cechy artykulacyjne polskich sybilantów retrofleksyjnych najczęściej wyodrębniane jako kryteria klasyfikacyjne tej grupy spółgłosek (Hamann 2003). Ocena relacji pomiędzy sensorem czubka języka (TT) a artykulatorami pasywnymi pozwoliła określić miejsce artykulacji badanych dźwięków.

Ponadto obliczono różnicę w położeniu sensorów czubka języka (TT) i żuchwy (J) w osi Z (por. pionowa strzałka na rycina 7), wnioskując w ten sposób o wysokości jamy podjęzykowej. Określono stopień odwiedzenia żuchwy, biorąc pod uwagę różnicę pomiędzy położeniem sensora żuchwy (J) w osi Z sybilantów retrofleksyjnych w porównaniu do spółgłoski [t]. Ostatni element analizy dotyczył stopnia cofnięcia języka podczas artykulacji. Ustalono go, obliczając wartość różnicy w położeniu sensora tylnej części języka (TB) w osi X podczas realizacji sybilantów retrofleksyjnych i spółgłoski [t] (por. pozioma strzałka na rycina 7).



Rycina 7. Obrys artykulatorów pasywnych i różnica położenia sensorów czubka języka (TT) i żuchwy (J) w osi Z (górną – dół, pionowa strzałka) w realizacji spółgłoski [ʂ] (kolor czerwony) w wyrazie *zaszaleć* (mówca ZK_f, plik 066) oraz różnica położenia sensora tylnej części języka (TB) w osi X (przód – tył, pozioma strzałka) w realizacjach spółgłosek [ʂ] i [t] (kolor czarny) w wyrazie *latarka* (mówca ZK_f, plik 345).

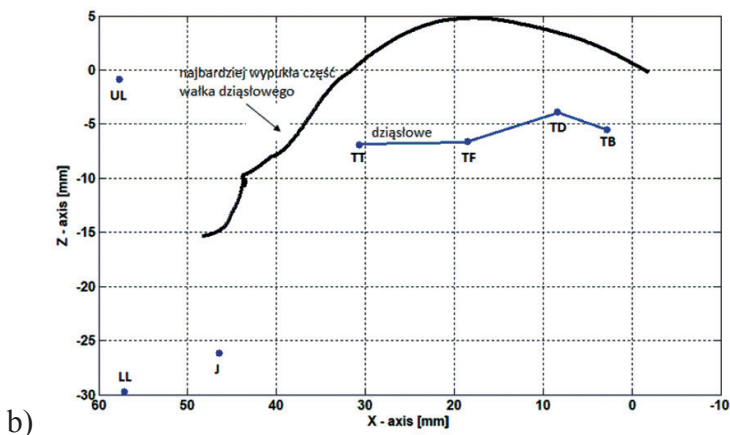
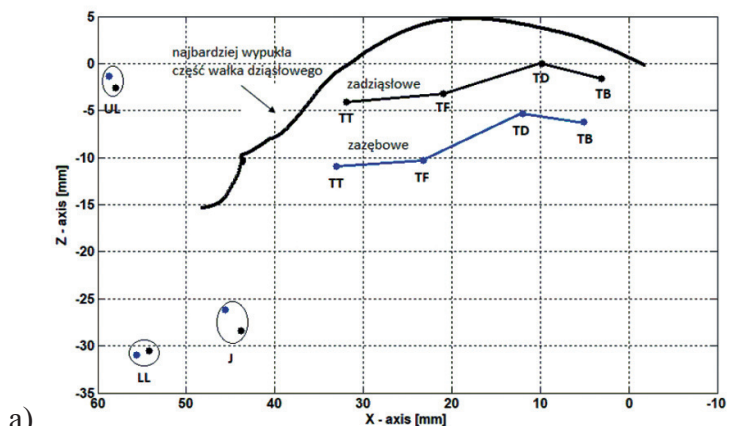
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem aplikacji *EMAviwer* (Mik, Lorenc 2015b).

4.5.1. MIEJSCE ARTYKULACJI

Na podstawie pomiaru, którego schemat zaprezentowano na rycinie 7 obliczono położenie czubka języka w osi Z podczas realizacji sybilantów retrofleksyjnych przez wszystkich badanych mówców. W dalszej kolejności określano poziome położenie artykulatora krytycznego – czubka języka – w relacji do najbardziej wypukłej części wałka dziąsłowego. Wyznaczano ją na podstawie oceny indywidualnych obrysów podniebienia każdego z mówców. Obrysy artykulatorów pasywnych (tylnej ściany górnych siekaczy, podniebienia twardego i częściowo podniebienia miękkiego) wykonywano w linii pośrodkowej w trak-

cie każdego badania artykulograficznego za pomocą jednego z sensorów. Położenie sesnsora przyklejonego do czubka języka (TT) w stosunku do najbardziej wypukłej części wálka dziąsłowego (oznaczonej na rycinie 8 strzałką) interpretowano w następujący sposób:

- a) artykulacja zazębowa: sensor TT w nuklearnej fazie gestu artykulacyjnego, w chwili osiągnięcia swej minimalnej prędkości (MinVEL), znajduje się poniżej punktu odniesienia (por. rycina 8a),



Rycina 8. Obrys artykulatorów pasywnych oraz położenie sensorów artykulografu w realizacjach a) zadziąsłowego zwarcia (kolor czarny) i zazębowej szczeliny (kolor niebieski) spółgłoski [t̪] w wyrazie *kaczany* (mówca JS_f, plik 408) oraz b) dziąsłowej spółgłoski [s] w wyrazie *Marzana* (mówca JS_f, plik 84) w chwili osiągnięcia minimalnej prędkości (MinVEL) przez sensor czubka języka (TT) w osi Z w nuklearnej fazie gestów artykulacyjnych.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem aplikacji *EMAviewer* (Mik, Lorenc 2015b).

- b) artykulacja dźwiękowa: sensor TT w nuklearnej fazie gestu artykulacyjnego, w chwili osiągnięcia swej minimalnej prędkości (MinVEL), znajduje się na wprost punktu odniesienia (por. rycina 8b),
- c) artykulacja zadźwiękowa: sensor TT w nuklearnej fazie gestu artykulacyjnego, w chwili osiągnięcia swej minimalnej prędkości (MinVEL), znajduje się powyżej punktu odniesienia (por. rycina 8a).

W tabelach 2 i 3 poniżej zestawiono wyniki analizy miejsca artykulacji szczelinowych i zwarto-szczelinowych sybilantów retrofleksyjnych.

Tabela 2. Miejsce artykulacji szczelinowych sybilantów retrofleksyjnych.

| Miejsce artykulacji | [s] | [z] |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
| zazębowe | 1,8 % (3/170) | 4,9 % (2/41) |
| dźwiękowe | 73,5% (125/170) | 87,8 % (36/41) |
| zadźwiękowe | 24,7 % (42/170) | 7,3 % (3/41) |

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Miejsce artykulacji zwarto-szczelinowych sybilantów retrofleksyjnych.

| Miejsce artykulacji | [ts̺] | [d͡z] |
|--|-----------------------|----------------------|
| zazębowe (zwarcie i szczelina) | 1,9% (3/161) | 0% (0/69) |
| dźwiękowe (zwarcie i szczelina) | 52,2% (84/161) | 33,3% (23/69) |
| zadźwiękowe (zwarcie i szczelina) | 4,3% (7/161) | 1,5% (1/69) |
| zadźwiękowe (zwarcie) dźwiękowe (szczelina) | 41,6% (67/161) | 65,2% (45/69) |

Źródło: opracowanie własne.

Łącznie przeanalizowano 441 realizacji sybilantów retrofleksyjnych, gdzie oceniano położenie czubka języka w relacji do obrysu artykulatorów pasywnych. Na 170 realizacji bezdźwięcznej szczelinowej spółgłoski [s] większość (125, co stanowi 73,5%) zinterpretowano jako artykulację dźwiękową, ponieważ sensor czubka języka (TT) w chwili osiągnięcia swej minimalnej prędkości (MinVEL) w nuklearnej fazie gestu artykulacyjnego znajdował się na wprost punktu odniesienia – najbardziej wypukłej części wałka dźwiękowego. Przykład takiej realizacji zilustrowano na rycinie 8b. Niespełna 25% przykładów zinterpretowano jako artykulację zadźwiękową. Jeśli chodzi o dźwięczną szczelinową spółgłoskę [z] przeważająca liczba przykładów (36 na 41 analizowanych) również została zinterpretowana jako artykulację dźwiękową (87,8%), a 7,3% jako zadźwiękową.

W przypadku sybilantów zwarto-szczelinowych analizę miejsca artykulacji przeprowadzono osobno w segmencie zwarcia i szczeliny. Udało się dzięki temu ustalić liczbę realizacji, których artykulacja przebiegała w jednym miejscu – oko-

licy zązębowej, dźwiękowej lub zadźwiękowej lub w dwóch – najpierw w okolicy zadźwiękowej i następnie dźwiękowej. Jeżeli chodzi o bezdźwięczną spółgłoskę zwarto-szczelinową [t̪s̪], nieco ponad połowa ocenianych artykulacji – 52,2% (84 na 161 ocenianych) – realizowana była w okolicy dźwiękowej, zarówno w segmencie zwarcia, jak i szczeliny. W dalszej kolejności znalazły się artykulacje rozpoczynające się od zwarcia w okolicy zadźwiękowej, przechodzące dalej w szczelinę tworzoną na wprost wałka dźwiękowego. Łącznie odnotowano 67 takich realizacji na 161 ocenianych, co stanowi 41,6%. W przypadku dźwięcznej spółgłoski zwarto-szczelinowej [d̪z̪] przeważały artykulacje rozpoczynające się od zadźwiękowego zwarcia, przechodzące w dalszej kolejności w szczelinę tworzoną w okolicy dźwiękowej. Realizacje te stanowiły 65,2% wszystkich wymówień tej spółgłoski (45 na 69 ocenianych). Jedną trzecią (33,3%) artykulacji spółgłoski [d̪z̪] oceniono w całości jako dźwiękowe.

W odniesieniu do wszystkich sybilantów retrofleksyjnych odnotowano sporadyczne artykulacje zązębowe (wszystkie należały do tej samej kobiety – JS_f, por. rycina 8a). Nieliczny odsetek stanowiły również zadźwiękowe realizacje spółgłosek zwarto-szczelinowych odnotowane zarówno w segmencie zwarcia, jak i szczeliny.

4.5.2. WYSOKOŚĆ JAMY PODJĘZYKOWEJ

Dalsza część badania służyła określeniu odległości pomiędzy stopniem wzniesienia czubka języka i położeniem żuchwy w celu określenia wysokości jamy podjęzykowej podczas artykulacji sybilantów retrofleksyjnych. W tym celu wykonywano pomiar w chwili, w której sensor czubka języka (TT) najbardziej zwolnił (uzyskując minimalną prędkość w rdzennej fazie gestu artykulacyjnego) i był wzniesiony najwyżej w osi Z (górze – dół), jednocześnie ustalając położenie sensora żuchwy (J) dokładnie w tej samej chwili czasowej. Aby ustalić odległość pomiędzy sensorem czubka języka (TT) a sensorem żuchwy (J), w pierwszej kolejności obliczano ich średnie położenie w punkcie MinVEL we wszystkich

Tabela 4. Średnia wysokość jamy podjęzykowej [mm] (różnica pomiędzy położeniem sensora czubka języka TT i żuchwy J w osi Z) podczas artykulacji sybilantów retrofleksyjnych oraz spółgłoski zwarto-wybuchowej [t].

| Spółgłoska | TT (Z) – J (Z) |
|------------|----------------|
| [t] | 13,39 mm |
| [s̪] | 15,69 mm |
| [z̪] | 15,33 mm |
| [t̪s̪] | 18,49 mm |
| [d̪z̪] | 18,76 mm |

Źródło: opracowanie własne.

realizacjach każdego z mówców. Następnie od średniej pozycji sensora czubka języka odejmowano wartość średniego położenia sensora żuchwy w tym samym punkcie czasowym. Obliczona w ten sposób różnica stała się podstawą do określenia wysokości jamy podjęzykowej podczas realizacji sybilantów retrofleksyjnych.

Średnia wysokość jamy podjęzykowej tworzonej podczas artykulacji szczelinowych sybilantów retrofleksyjnych [ʂ] i [ʐ] jest o około 2 mm większa niż w przypadku spółgłoski zwarto-wybuchowej [t]. Wymowę zwarto-szczelinowych sybilantów retrofleksyjnych charakteryzuje jeszcze większa przestrzeń podjęzykowa (o kolejne 3 mm). Tutaj należy podkreślić, iż jej wysokość została obliczona w segmencie zwarcia, który – jak wynika z analizy miejsca artykulacji – często jest realizowany w okolicy zadziąsłowej.

Ocenie poddano również położenie sensora żuchwy (J) w osi Z (góra – dół) podczas realizacji sybilantów retrofleksyjnych oraz spółgłoski [t]. Średnią wartość położenia artykulatora sekundarnego (żuchwy) obliczano w rdzennej fazie gestu artykulacyjnego w momencie, gdy sensor czubka języka (TT) osiągał najwyższe położenie i zarazem najniższą prędkość (MinVEL). Przeprowadzona analiza pozwoliła określić stopień odwiedzenia żuchwy oraz istniejące w tym zakresie różnice podczas realizacji sybilantów retrofleksyjnych oraz spółgłoski [t] (por. tabela 5).

Tabela 5. Różnica w stopniu odwiedzenia żuchwy [mm] podczas artykulacji sybilantów retrofleksyjnych i spółgłoski [t].

| J (Z) retrofleks – J (Z) [t] | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Spółgłoska | J (Z) retrofleks > J (Z) [t] | J (Z) retrofleks < J (Z) [t] |
| [ʂ] | 0,42 mm (8 mówców) | 1,78 mm (12 mówców) |
| [ʐ] | 1,01 mm (4 mówców) | 1,25 mm (14 mówców) |
| [ʂ̥] | 1,11 mm (10 mówców) | 1,29 mm (10 mówców) |
| [ʐ̥] | 1,11 mm (8 mówców) | 1,47 mm (11 mówców) |

Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy danych, większość badanych osób realizuje sybilanty retrofleksyjne ze średnim mniejszym stopniem odwiedzenia żuchwy (prawa kolumna tabeli) niż w przypadku realizacji spółgłoski [t]. Różnica ta waha się między 1,29 mm dla spółgłoski [ʂ̥] i 1,78 mm dla [ʂ]⁷. Część osób podczas artykulacji sybilantów retrofleksyjnych nieco bardziej odwołuje żuchwę niż przy [t], różnice te są mniejsze niż wyżej wymienione i mieszczą się w granicach 0,42 mm dla [ʂ] i 1,11 mm dla [ʂ̥] i [ʐ̥].

⁷ Dla porównania – realizacja polskiej spółgłoski bocznej [l] wiąże się z większym obniżeniem żuchwy niż w wypadku artykulacji [t]. Średni zakres różnicy jest znaczny i dla wszystkich badanych mówców wynosi 5,75 mm (więcej na ten temat w monografii A. Lorenc 2016a, 225–232).

4.5.3. STOPIEŃ COFNIĘCIA TYLNEJ CZĘŚCI JĘZYKA

Następna część badania dotyczyła oceny stopnia cofnięcia masy języka. W tym celu we wszystkich realizacjach sybilantów retrofleksyjnych obliczono wartość położenia sensora TB w osi X (przód – tył) w momencie osiągnięcia minimalnej prędkości (MinVEL) przez artykulator prymarny – czubek języka (sensor TT). W przypadku retrofleksyjnych sybilantów szczelinowych pomiar wykonywano w segmencie szczeliny, zaś w przypadku zwarto-szczelinowych pod uwagę brano segment zwarcia. Aby przeprowadzić odpowiednie porównania analogiczne pomiary, zrealizowano w odniesieniu do bezdźwięcznej zwarto-wybuchowej spółgłoski [t]. Na tej podstawie oceniano stopień cofnięcia języka podczas realizacji ocenianych spółgłosek oraz różnice w tym zakresie. W tabeli poniżej przedstawiono średnią wartość różnicy w położeniu tylnej części języka podczas artykulacji sybilantów retrofleksyjnych w porównaniu ze spółgłoską [t] (por. tabela 6).

Tabela 6. Różnica cofnięcia tylnej części języka [mm] pomiędzy sybilantami retrofleksyjnymi a spółgłoską [t].

| Spółgłoska | TB (X) retrofleks > TB (X) [t] |
|------------|--------------------------------|
| [ɕ] | 7,92 mm |
| [ʐ] | 7,47 mm |
| [tɕ] | 6,06 mm |
| [dʐ] | 5,74 mm |

Źródło: opracowanie własne.

Artykulację sybilantów retrofleksyjnych cechuje cofnięcie tylnej części języka towarzyszące artykulacji prymarnej tworzonej w przedniej części jamy ustnej (w okolicy zadyśłowej, dziąsłowej lub sporadycznie zązębowej, por. tabela). W przypadku sybilantów szczelinowych jest ono średnio o ponad 7 milimetrów większe w porównaniu ze spółgłoską zwarto-wybuchową [t]. Ciekawe są wyniki porównań sybilantów zwarto-szczelinowych z tą samą spółgłoską, ponieważ we wszystkich przypadkach pod uwagę brano ten sam segment artykulacyjny – zwarcie. Tutaj również okazało się, iż w przypadku retrofleksyjnych sybilantów zwarto-szczelinowych zwarcie tworzonemu w przedniej części toru głosowego towarzyszy jednocześnie cofnięcie tylnej części masy języka, większe średnio o 5,74 mm dla [dʐ] i o 6,06 mm dla [tɕ] niż dla zwarto-wybuchowej spółgłoski [t].

WNIOSKI

Przeprowadzona analiza danych artykulograficznych pozwala wymienić następujące cechy artykulacyjne polskich sybilantów retrofleksyjnych obecne w większości realizacji:

- apikalność,
- (za)dziąsłowość,
- obecność jamy podjęzykowej,
- cofnięcie masy języka.

Wszystkie wyżej wymienione cechy zaliczane są do cech wspólnych, charakterystycznych dla artykulacji retrofleksyjnych (Hamann 2003, 2004). Artykulację polskich sybilantów retrofleksyjnych cechuje ponadto wysoka pozycja żuchwy, prowadząca w efekcie do znacznego zbliżenia dolnych i górnych siekaczy i tym samym utworzenia przeszkody, na którą kierowany jest strumień powietrza dający efekt silnego szumu (por. też: Toda, Maeda, Honda 2010).

BIBLIOGRAFIA

- Best C.T., Kroos C., Bundgaard-Nielsen R.L., Baker B., Harvey M., Tiede M., Goldstein L., 2014, *Articulatory basis of the apical/laminal distinction: tongue tip/body coordination in the Wubuy 4-way coronal stop contrast*, [w:] *Proceedings of the 10th International Seminar on Speech Production (ISSP)*, red. S. Fuchs, M. Grice, A. Hermes, L. Lancia, D. Mücke, 2014, 5–8 May, Cologne, Germany, s. 33–36.
- Browman C.P., Goldstein L., 1992, *Articulatory Phonology: an overview*, „Phonetica”, 49, s. 155–180.
- Bukmaier, V., Harrington, J., 2016, *The articulatory and acoustic characteristics of Polish sibilants and their consequences for diachronic change*, „Journal of International Phonetic Association”, 46(3), s. 311–329.
- Catford, J.C., 1977, *Fundamental problems in phonetics*. Edinburgh.
- Dart A., 1988, *Acoustic correlates of apical and laminal articulations*, „UCLA Working Papers in Phonetics” 79, s. 1–155.
- Dogil G., 1990, *Hissing and hushing fricatives: a comment on non-anterior spirants in Polish*, Bielefeld.
- Hall T.A., 1997, *The phonology of coronals*, Amsterdam.
- Hamann, S., 2004, *Retroflex fricatives in Slavic languages*, „Journal of International Phonetic Association”, 34(1), s. 53–67.
- Hamann, S., 2003., *The Phonetics and Phonology of Retroflexes*. Utrecht.
- IPA (International Phonetic Association), 1999, *Handbook of the International Phonetic Association. A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*, Cambridge.
- Jassem W., 2003, *Illustration of the IPA: Polish*. „Journal of International Phonetic Association”, 33(1), s. 103–107.
- Jassem W., 1995, *The acoustics parameters of Polish voiceless fricatives: an analysis of variance*, „Phonetica” 52, s. 251–258.
- Jassem W., Łobacz P., 1995, *Multidimensional scaling and its applications in a perceptual analysis of Polish consonants*, „Journal of Quantitative Linguistics” 2, s. 105–124.

- Keating P., 1991, *Coronal places of articulation*, [w:] *The special status of coronals: internal and external evidence*, red. C. Paradis, J.F. Prunet, San Diego, s. 29–48.
- Król D., Lorenc A., Świąciński, 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 (ICASSP) 2015, 19–24 April, Brisbane, s. 5147–5151.
- Ladefoged P., Maddieson I., 1996, *The Sounds of the World's Languages*, Oxford.
- Laver J., 1994, *Principles of phonetics*, Cambridge.
- Lee, S. Beckman M.E., Jackson M., 1994, *Jaw target for strident fricatives*. International Conference on Spoken Language Processing, Yokohama, s. 37–40.
- Lorenc A., 2016a, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, Warszawa.
- Lorenc A., 2016b, *Kryteria diagnostyczne normy wymawianiowej*, [w:] *Logopedia artystyczna*, red. B. Kamińska, S. Milewski, Gdańsk, s. 107–143.
- Lorenc A., Żygis M., Mik Ł., Pape D., 2018, *Articulatory variation in Polish palatalized retroflexes*, Lisboa.
- Lorenc A., Król D., Świąciński R., 2015, *Assessment of Sound Laterality with the Use of a Multi-Channel Recorder*. 18th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS) 2015, 10–15 August, Glasgow, Scotland. Dostępny w internecie: <<http://www.icphs2015.info/pdfs/Papers/ICPHS0895.pdf>>.
- Lorenc A., Świąciński R., 2014, *Application of phonetics in speech therapy: a case of abnormally convex tongue setting in Polish*, [w:] *Recent Developments in Applied Phonetics*, red. J. Szpyra-Kozłowska, E. Guz, P. Steinbrich, R. Świąciński, Lublin, s. 287–324.
- Łobacz P., 1998, *Sybilantność*, [w:] *Scripta manent. Publikacja Wydziałowa z okazji 10-lecia istnienia Wydziału Neofilologii UAM, (1988–1998)*, red. S. Puppel, s. 135–154.
- Łobacz P. 1995. *O percepcyjnej klasyfikacji polskich spółgłosek raz jeszcze*, [w:] *Eufonia i Logos*, red. J. Pogonowski, Poznań, s. 171–183.
- Maddieson I., 1984, *Patterns of Sounds*. Cambridge.
- Maddieson I., Precoda K., 1992, *UPSID and phoneme, user manual*, Los Angeles.
- Mik Ł., Lorenc A., Pape D., Żygis M., 2018a, *Articulatory and acoustic variation in the realization of Polish retroflexes*, Lisboa.
- Mik Ł., Lorenc A., Król D., Wielgat R., Świąciński R., Jędryka R., 2018b, *Fusing the electromagnetic articulograph, high-speed video cameras and a 16-channel microphone array for speech analysis*. „Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences”, vol. 66, no. 3, s. 257–266.
- Mik Ł., Lorenc A., 2015a, phoneEMAtool [program komputerowy].
- Mik Ł., Lorenc A., 2015b, EMAtviewer [program komputerowy].
- Mooshammer, C., Hoole P., Geumann A., 2007, *Jaw and order*, „Language and Speech” vol. 50, no. 2, s. 145–176.
- Pape D., Żygis M., 2016, *The puzzle of two major spectral peaks in Polish sibilants: Acoustic Analysis and Articulatory Synthesis*, Ithaca.
- Rochoń M., Pompino-Marschall B., 1999, *The articulation of secondarily palatalized coronals in Polish*, Proceedings of 14th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS) 1999, San Francisco, s. 1897–1900.
- Rubach J., 1984, *Cyclic and lexical phonology. The structure of Polish*, Dordrecht.
- Shaddle C.H., 1991, *The effect of geometry on source mechanisms of fricative consonants*, „Journal of Phonetics” 19, s. 409–424.
- Trochymiuk A., Świąciński R., 2009, *Artykulograficzne badanie wymowy grzbietowej. Studium przypadku*, „Logopedia”, t. 38, s. 173–201.

- Żygiś M., 2004, *Dlaczego polskie sybilanty ś i ź są retrofleksami?*, „Logopedia”, t. 33, s. 119–132.
- Żygiś M., Pape D., L. Jesus L., 2012, *(Non)retroflex Slavic affricates and their motivation. Evidence from Czech and Polish*. „Journal of International Phonetic Association” 42, s. 281–329.
- Żygiś M., Hamann, S., 2003, *Perceptual and acoustic cues of Polish coronal fricatives*, „Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences” (ICPhS), 3–9 August, Barcelona, s. 395–398.
- Toda M., Maeda S., Honda K., 2010, *Formant-cavity affiliation in sibilant fricatives*, [w:] *Turbulent sounds: An interdisciplinary guide*, red. S. Fuchs, M. Toda, M. Żygiś, Berlin, s. 343–371.
- Wierzchowska B., 1980, *Fonetyka i fonologia języka polskiego*, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk.

Źródła internetowe

http1: <https://www.internationalphoneticassociation.org/content/full-ipa-chart>

http2: <http://www.articulograph.de>