

Krótkotrwała pamięć wysokości dźwięku i jej znaczenie dla muzyki

Andrzej Rakowski

1. WPROWADZENIE

W ciągu ponad stuletniej historii badań nad pamięcią próbowano dociec, czy pamięć jest systemem jednolitym, czy też ma strukturę złożoną. James (1890) wyróżniał dwa rodzaje pamięci: pamięć pierwotną, odnoszącą się do teraźniejszości oraz pamięć wtórną, dotyczącą świadomości wydarzeń, które miały miejsce w przeszłości. W okresie dominacji psychologii behawiorystycznej nie przykładano zbyt dużej wagi do złożonych modeli pamięci, ponieważ zainteresowanie badaczy skupione było na prawach kojarzenia, które najlepiej uwidaczniają się na przykładzie zachowań zwierząt. Sytuacja ta uległa jednak zmianie wraz z odejściem behawioryzmu i rozwojem psychologii poznawczej. Człowiek nie był już uważany za biernego odbiorcę informacji lecz zakładano, że jego zachowanie związane jest w głównej mierze z procesami poznawczymi. Działanie w oparciu o procesy poznawcze oznaczało, że w strukturze pamięci musi istnieć odpowiedni magazyn krótkotrwałej, w którym dokonywane są operacje myślowe wykorzystujące materiał pamięciowy w sposób bezpośredni.

W teoriach dotyczących psychologii pamięci zaczęły pojawiać się różnorodne modele, których wspólną cechą było rozróżnienie pamięci krótkotrwałej i długotrwałej. Waugh i Norman (1965) przyjęli, że istnieje magazyn pamięci krótkotrwałej o ograniczonej pojemności, w którym informacje są nieustannie wypierane przez napływające nowe dane. Jak założono, proces wielokrotnego powtarzania informacji ulokowanej w pamięci krótkotrwałej może doprowadzić do zarejestrowania tej informacji w pamięci długotrwałej. Ponadto, liczni autorzy wykazali, że w strukturze pamięci istnieje magazyn rejestracji sensorycznej, w którym przez bardzo krótki czas przechowywany jest obraz sensoryczny zdarzenia w postaci odpowiadającej modalności zmysłowej. Informacje wchodzące do tego rejestru nie są poddawane kategoryzacji (Cowan, 1984).

Obszerna literatura na temat pamięci słuchowej odnosi się w przeważającej części do zapamiętywania materiału werbalnego, natomiast w znacznie mniejszym stopniu do pamięci czysto sensorycznych cech dźwięku, takich jak wysokość, głośność czy barwa. Jednakże, z punktu widzenia funkcjonowania muzyki, zapamiętywanie tych właśnie cech jest niewątpliwie najbardziej istotne. Szczególną rolę wydaje się przy tym odgrywać krótkotrwała pamięć wysokości dźwięku, której poświęcono niniejsze opracowanie.

2. WYSOKOŚĆ DŹWIĘKU W MUZYCE I JEJ ZAPAMIĘTYWANIE

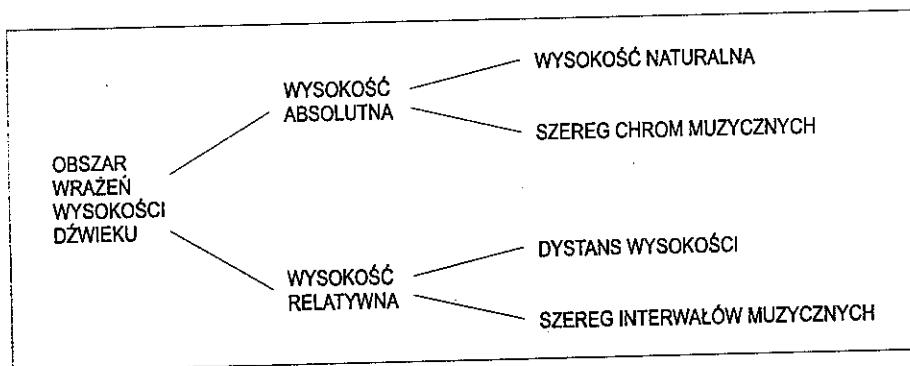
Zgodnie z definicją obowiązującą w terminologii akustycznej (ANSI, 1973), wysokość jest jednowymiarową cechą wrażenia słuchowego, która pozwala uporządkować dźwięki na skali od niskich do wysokich. Gdyby pojęcie wysokości nie wykraczało poza zakres określony tą definicją, trudno byłoby wyjaśnić rolę, jaką w muzyce pełni wysokość dźwięku oraz opisać bardzo złożoną strukturę wysokości, jako słownika kodu informacyjnego muzyki. Wysokość dźwięku zatraciła bowiem w historii rozwoju muzyki charakter cechy prostej i występuje w postaci szeregu oddzielnych wymiarów wrażeniowych (Rakowski, 1998; 1999).

Na wstępie należy wyróżnić dwa podstawowe pojęcia dotyczące odrębnych zjawisk percepcyjnych, tj. pojęcie **wysokości absolutnej**, czyli bezwzględnej (ang. *absolute pitch*¹) oraz pojęcie **wysokości relatywnej**, czyli względnej (ang. *relative pitch*). W ramach każdego z nich, wskutek zjawiska oktawowego podobieństwa dźwięków, ukształtowały się w obrębie muzyki po dwa wymiary wrażeniowe. W ramach wysokości bezwzględnej są to: nieskategoryzowana **wysokość naturalna** (ang. *tone height* lub *pitch height*; Révész, 1913; Lerdahl, 1988) oraz wysokość chromatyczna, czyli kategorialnie ustrukturowany wewnątrzoktawowy **szereg chrom muzycznych** (ang. *pitch chromas*; Révész, 1913; Bachem, 1950; Rakowski, 1993a). W ramach wysokości względnej występuje tu nieskategoryzowany **dystans wysokości** (ang. *noncategorical pitch distance*; Stevens i Volkman, 1940; Rakowski, 1989) oraz ściśle skategoryzowany, wewnątrzoktawowy **szereg interwałów muzycznych** sta-

¹ W języku angielskim *absolute pitch* oznacza również słuch absolutny.

nowiących muzyczny system interwałowy (Burns i Campbell, 1994; Rakowski, 1995, 1997).

Schematyczne relacje poszczególnych pojęć dotyczących wysokości dźwięku przedstawiono na Rys.1. Należy zwrócić uwagę, że wymiar wraźniowy „szereg chrom muzycznych”, czyli uporządkowany co do rosnącej wartości zbiór muzycznych wysokości dźwięku, oraz wymiar „szereg interwałów muzycznych”, czyli uporządkowany co do rosnących wartości zbiór interwałów, występują tu jako zbiory dyskretnych wartości w zakresie wewnątrzoktawowym. Zbiory te mają strukturę kategoriálną i powtarzają się cyklicznie w poszczególnych oktawach. W przeciwieństwie do nich, „wysokość naturalna” i „dystans wysokości” to wymiary wraźniowe o charakterze ciągłym, funkcjonujące w pełnym zakresie percepcji wrażeń wysokości dźwięku.



Rys. 1. Wymiary wraźniowe wysokości dźwięku w muzyce.

Poszczególne wymiary wraźniowe wysokości dźwięku podatne są w różnym stopniu na możliwość utrwalania w krótkotrwałej i długotrwałej pamięci słuchowej. Nieskategoryzowana wartość wysokości naturalnej może być przechowywana w magazynie pamięci krótkotrwałej z dużą dokładnością przez czas około 2–3 minut (Rakowski, 1978, 1993, 1994). Po tym okresie czasu możliwość dokładnego odtworzenia lub rozpoznania usłyszonej uprzednio wysokości radykalnie maleje.

Inaczej przedstawia się możliwość zapamiętywania skategoryzowanych chrom muzycznych. Osoby mające tzw. słuch absolutny przechowują wzorce (standardy) odpowiednich kategorii wysokościowych (chrom) w pamięci długotrwałej i w każdej chwili mogą za ich pomocą, nie posługując się wzorcem zewnętrznym, odtworzyć lub rozpoznać dowolną

wysokość dźwięku (Bachem, 1950; Tieplow, 1952). Osoby nie posiadające słuchu absolutnego, stanowiące znaczną większość populacji, możliwości takiej nie mają i mogą polegać jedynie na trwałym zapamiętywaniu wysokości naturalnej. O ile nie wykształcą sobie umiejętności korzystania pomocniczo z różnego rodzaju wzorców wysokości, np. drogą zawodowego kształcenia słuchu muzycznego, to możliwość długotrwałego zapamiętywania wysokości ogranicza się u nich do kilku szerokich, luźno sprecyzowanych kategorii, takich jak dźwięki niskie, średnie, wysokie, itp. (Miller, 1956; Rakowski, 1999).

Zjawiska opisane powyżej dotyczą zapamiętywania absolutnej wysokości dźwięku. Zapamiętywanie wysokości relatywnej ma charakter całkowicie odmienny. Po pierwsze, odmiennie niż w przypadku wysokości naturalnej, nie jest możliwe dokładne, krótkotrwałe zapamiętywanie nieskategoryzowanego dystansu wysokości (Attneave i Olson, 1971; Rakowski, 1999). Po drugie, również odmiennie niż w odniesieniu do kategorii wysokości absolutnej (chrom), możliwe jest zapamiętywanie dyskretnych kategorii wysokości relatywnej (interwałów muzycznych) w sposób długotrwały, co stanowi podstawę powszechnie występującego słuchu melodycznego.

3. KRÓTKOTRWAŁA PAMIĘĆ WYSOKOŚCI JAKO PAMIĘĆ OPERACYJNA

Wrażenie wysokości naturalnej stwarza możliwość rozpoznania zjawisk, jakie zachodzą w pamięci w warunkach, gdy działania pamięci nie wspomaga kodowanie semantyczne. Ponadto, siła śladu pamięciowego nieskategoryzowanej wysokości absolutnej może być w prosty sposób poddana ocenie ilościowej.

Powyższe stwierdzenie na temat kodowania semantycznego nie dotyczy posiadaczy słuchu absolutnego. Osoba ze słuchem absolutnym, dysponując utrwalonymi w pamięci długotrwałej standardami wysokości, może rozpoznać każdą wysokość w szerokim zakresie częstości słyszalnych, przyporządkować jej określoną kategorię chromy i następnie wyrazić swoją ocenę w postaci semantycznej.

Niniejsza praca poświęcona jest zjawiskom dotyczącym jedynie pamięci krótkotrwałej. Większość badań słuchowej pamięci krótkotrwałej odnosi się do czasów trwania rzędu sekund, a ponadto, wielu autorów

obserwowało zanikanie śladu pamięciowego w czasie rzędu ułamka sekundy (patrz: Cowan, 1984). Pomimo to, w literaturze nie zaprzecza się możliwości istnienia zjawiska pamięciowego trwającego dłużej, nawet do około 40 sekund, które niektórzy autorzy (Wickelgren, 1969) nazywają pamięcią pośrednią (ang. *intermediate-term memory*). Komentując eksperyment Deutsch (1970), odnoszący się do pamięci muzycznych kategorii wysokości w przedziale czasowym trwającym 8 sekund, Crowder (1993, s. 124) pisze co następuje: „Deutsch podkreśla, że pamięć krótkotrwała przybiera różne formy, lecz brak jest danych, które świadczyłyby, że pamięć wysokości pojedynczego dźwięku w czasie dłuższym niż kilka sekund, jeżeli jest to w ogóle możliwe u osób nie posiadających słuchu absolutnego, związana jest z innymi mechanizmami magazynowania.” Poniżej zostaną omówione dane świadczące, że istotnie, dokładną wysokość dźwięku można zapamiętać przez okres rzędu kilkudziesięciu sekund lub nawet kilku minut, i że fakt ten znalazł szerokie odzwierciedlenie w zjawiskach percepcji muzyki.

Czysto sensoryczny, nie zwerbalizowany ślad pamięciowy wysokości dźwięku stanowi podstawę do wszelkich operacji na wyższych poziomach przetwarzania informacji dotyczących wysokości absolutnej i relatywnej. Mechanizm ten funkcjonuje nie tylko w muzyce, lecz również w percepcji mowy i dźwięków środowiska naturalnego. Czas trwania omawianej pamięci nie jest długi i w zależności od dalszej informacji, jaka dociera do słuchacza, ślad pamięciowy może być podtrzymany lub zatarty. Ważną kwestią jest charakterystyka czasowa zaniku śladu pamięciowego. Hipoteza Wickelgrena (1969) o zaniku asymptotycznym z charakterystyką wykładniczą nie została w sposób przekonujący potwierdzona przez innych autorów. W wielu przypadkach zanik śladu pamięciowego wysokości przejawia się jako gwałtowna utrata reprezentacji wrażenia istniejącej w świadomości słuchacza (np. Rakowski, 1993). Zjawisko to wymaga bardziej gruntownych badań, gdyż może przedstawić w nowym świetle procesy fizjologiczne leżące u podstaw pamięci krótkotrwałej.

Pod pojęciem „krótkotrwała pamięć wysokości” rozumiemy stan, czy też proces, o czasie trwania odpowiadającym rzeczywistemu śladowi pamięciowemu wysokości absolutnej. W niniejszej pracy, pojęcie pamięci krótkotrwałej (ang. *short-term memory*, STM) rozumiane jest jako odpowiednik „pamięci operacyjnej” (ang. *working memory*; Waugh i Norman, 1965). Termin „pamięć operacyjna” podkreśla, że informacja docierająca ze świata zewnętrznego jest przetwarzana razem z informacją wydoby-

waną z pamięci długotrwałej i otrzymuje nową formę. We wczesnych pracach zakładano, że mająca ściśle ograniczoną pojemność pamięć krótkotrwała odpowiada zarówno za operacje poznawcze, jak i za krótkotrwałe magazynowanie napływającej informacji. Prace Baddeleya i jego współpracowników (Baddeley i Hitch, 1974; Baddeley i in., 1984; Baddeley, 1990, 1994) wykazały, że pamięć operacyjna ma strukturę złożoną i obejmuje wyspecjalizowane mechanizmy magazynowania oraz centralny mechanizm sterujący, zarządzający uwagą i przebiegiem niezbędnych czynności poznawczych. W tym przypadku celowo użyto terminu „pamięć operacyjna”, a nie „pamięć krótkotrwała”, żeby uwypuklić nową interpretację złożonego modelu pamięci.

W modelu Baddeleya (1990), pamięć operacyjna zawiera centralny mechanizm sterujący i dwa systemy podporządkowane: blok wizualno-przestrzenny, wyspecjalizowany w przechowywaniu informacji wizualnej oraz pętlę fonologiczną. Pętla fonologiczna jest elementem złożonym i obejmuje magazyn informacji fonologicznej oraz mechanizm sterowania artykulacyjnego w oparciu o mowę wewnętrzną. W późniejszych latach pojawiło się w literaturze kilka interesujących propozycji zastosowania modelu Baddeleya do zjawisk muzycznych. Pechman i Mohr (1992) badali procesy interferencyjne w krótkotrwałej pamięci wysokości, które można wyjaśnić na podstawie teorii pamięci operacyjnej. Berz (1995) przedstawił model muzycznej pamięci operacyjnej, uzupełniając o nowe elementy model pamięci mowy. Zaproponował on, by obok bloku wizualno-przestrzennego i pętli fonologicznej, centralny kontroler sterowania obejmował również pętle wielosensoryczne i wyspecjalizowaną sensoryczną pętlę muzyczną. Gardner (1993) zasugerował, że we wczesnym okresie rozwoju ludzkości podobieństwo między językiem werbalnym i muzycznym było większe niż obecnie. Na tej podstawie nie wyklucza się, że pętla muzyczna może być częściowo połączona z pętlą fonologiczną (Berz, 1995).

Pomimo że w literaturze znaleźć można więcej argumentów przemawiających za podobnym stanowiskiem (m.in. Lerdahl i Jackendoff, 1983), przetwarzanie muzyki i mowy wydają się być procesami odrębnymi. W niniejszej pracy przyjęto założenie, że jednym z istotnych elementów kompleksu pamięci krótkotrwałej (pamięci operacyjnej) jest krótkotrwała pamięć wysokości. Podstawą krótkotrwałej pamięci wysokości jest ślad pamięciowy wysokości absolutnej (bezwzględnej).

Pamięć wysokości dźwięku odgrywa istotną rolę nie tylko w muzyce, lecz również w innych formach działalności człowieka, na przykład w ko-

munikacji werbalnej. Jest zatem oczywiste, że poszczególne elementy modelu Baddeleya-Berza są ze sobą ściśle powiązane. W czasie działalności muzycznej, będąc częścią pętli pamięci muzycznej, krótkotrwała pamięć wysokości funkcjonuje w sposób przypominający pętlę fonologiczną w modelu Baddeleya. Jedną z ważnych funkcji krótkotrwałej pamięci wysokości jest natychmiastowe formowanie systemu kategorii wysokościowych w oparciu o wysokość absolutną wprowadzoną do rejestru sensorycznego lub istniejącą w wyobraźni, oraz o wydobyty z pamięci długotrwałej system relacji interwałowych.

W ciągu minionych dwudziestu lat opisano wiele innych funkcji krótkotrwałej pamięci wysokości, w większości związanych z percepcją muzyki (Krumhansl, 1979, 1990; Deutsch, 1982; Sloboda, 1985; Namba i in., 1985; Dowling i Harwood, 1986; Dowling, 1991). Omówienie tych publikacji wykracza poza zakres niniejszej pracy, która ukierunkowana jest na zjawiska związane ze śladem pamięciowym wysokości absolutnej, jego czasem trwania oraz podatnością na czynniki interferencyjne.

4. KRÓTKOTRWAŁA PAMIĘĆ WYSOKOŚCI PRZY BRAKU ZAKŁÓCEŃ

W literaturze znanych jest jedynie kilka eksperymentów, w których pozwolono słuchaczom w pełni ujawnić możliwości krótkotrwałej pamięci wysokości. Eksperymenty te dotyczyły w większości długich przedziałów obserwacji, bez wpływu zjawisk interferencyjnych. Niektóre z wcześniejszych prac uległy zapomnieniu. Wolfe (1886) badał dokładność, z jaką słuchacze byli w stanie porównywać wysokość dwóch dźwięków przedzielonych przerwą trwającą od 0–120 s. W jego eksperymencie dokładność pamięci nie uległa zmianie podczas pierwszych 5 s przerwy i przy dalszym wydłużaniu przerwy stopniowo się obniżała. Anderson (1914) stwierdził, że dokładność pamięci wysokości nie zmienia się w zakresie czasów przerwy między dźwiękami od 60 ms do 4 s. Koester (1945) przeprowadził eksperyment z udziałem czterech doświadczonych słuchaczy i stwierdził, że dokładność pamięci nie zmienia się, gdy czas przerwy między dwoma bodźcami wynosi od 0–1 s i tylko nieznacznie pogarsza się w zakresie przerw od 1–10 s. Większą utratę dokładności pamięci zaobserwował Koester w dodatkowym eksperymencie, przeprowadzonym z udziałem trzech słuchaczy, przy czasie przerwy wydłużonym do 47 s.



W pracy Harrisa (1952) po raz pierwszy przeprowadzono badania pamięci krótkotrwałej spełniające wymagania formalne eksperymentu psychoakustycznego, z udziałem grupy słuchaczy o dużej liczebności. W eksperymencie tym mierzono próg różnicy wysokości tonu o częstotliwości 1000 Hz, z zastosowaniem stałego i zmiennego bodźca odniesienia (standardu). W badaniach uczestniczyło 213 osób nie mających doświadczenia w eksperymentach psychoakustycznych. W wersji ze stałym standardem, częstość pierwszego bodźca w parze była we wszystkich prezentacjach jednakowa. Harris poddał tę wersję metody krytyce twierdząc, że standard wytwarza w pamięci słuchacza stałą kotwicę, w wyniku czego poprawia się próg różnicy wysokości dźwięków porównywanych w parze. Pomimo to, stały standard wydaje się być bardziej właściwy do badania niezakłóconej pamięci wysokości, niż standard „płynny”, zmieniający się w kolejnych prezentacjach pary bodźców. Przy standardzie płynnym występuje stała interferencja pomiędzy śladami pamięciowymi kolejnych, zmieniających się bodźców wzorcowych, co musi prowadzić do pogorszenia warunków funkcjonowania pamięci krótkotrwałej, przejawiającego się w podwyższeniu progów różnicy wysokości. Próg różnicy wysokości, zmierzony przez Harrisa przy użyciu stałego standardu, nie zmieniał się w zakresie czasów opóźnienia między bodźcami od 3 do 3,5 s i nieco się powiększał przy opóźnieniach dłuższych. Przy opóźnieniu 25 s zaobserwowano wzrost progu o około 70%. Eksperyment Harrisa (1952), dostarczając wyniki uzyskane od dużej populacji, potwierdził obserwacje znane z badań wcześniejszych.

W pracy Bachema (1954) porównano pamięć wysokości u pięciu słuchaczy mających słuch absolutny z pamięcią pięciu słuchaczy nie posiadających słuchu absolutnego. Wszyscy słuchacze mieli wykształcenie muzyczne. Zadaniem ich było stwierdzenie, czy dwa następujące po sobie bodźce, przedzielone przedziałem ciszy, były jednakowe, czy różne. Czas przerwy między bodźcami wynosił 1, 3, 15 i 60 s. W niektórych testach wprowadzano również dłuższe przerwy, trwające godzinę, jeden dzień i tydzień. Wyniki eksperymentu przedstawiono w formie „krzywych zapomnienia”, ukazujących procent błędów w ocenie wysokości dźwięku w funkcji czasu przerwy między bodźcami.

Bachem zaobserwował zbliżony procent błędów u osób ze słuchem absolutnym i nie posiadających słuchu absolutnego, w przypadku czasów przerwy do około 15 s. Gdy przerwa nie przekraczała minuty, osoby nie posiadające słuchu absolutnego utrzymywały jeszcze dużą dokładność w porównywaniu wysokości, natomiast przy dalszym wydłużaniu przer-

wy, procent błędów gwałtownie wzrastał. U posiadaczy słuchu absolutnego pamięć wysokości przy przerwach dłuższych niż 1 minuta była niewiele gorsza niż w przypadku przerw najkrótszych. Porównując wysokość bodźców rozdzielonych dłuższą przerwą, osoby ze słuchem absolutnym nie posługiwały się bowiem pamięcią krótkotrwałą, lecz zapamiętywały nazwę najbliższego dźwięku na muzycznej skali chrom wysokości. Wysokość ta, odtworzona z pamięci długotrwałej, służyła im następnie jako odniesienie do oceny wysokości drugiego bodźca w parze.

Rakowski (1972) powtórzył eksperyment Bachema (1954) w nieco zmienionej formie, z zastosowaniem procedury dostrajania. Po prezentacji standardu następowała przerwa, po której słuchacz dostrajał częstość drugiego bodźca w parze tak, by zrównać wysokości obu bodźców. Czas przerwy wynosił 0,5 s, 10 s, 1 min, 5 min oraz 30 min, zaś częstość tonu standardowego 110, 1000, 3000 i 7000 Hz. W eksperymencie badano trzech muzyków ze słuchem absolutnym i trzech nie posiadających słuchu absolutnego. Każdy ze słuchaczy wykonał po 20 nastrojeń na punkt pomiarowy. Miarą, na podstawie której wyznaczono krzywe zapominania wysokości, było odchylenie standardowe różnic między częstością standardu i częstością nastrojoną. Wyniki eksperymentu Rakowskiego (1972) są zbieżne z danymi uzyskanymi wcześniej przez Bachema (1954). W zakresie przerw do 1 minuty, wyniki uzyskane od słuchaczy nie posiadających słuchu absolutnego charakteryzowały się niewielką dyspersją nastrojeń. W zakresie od 1 do 5 min, osoby nie posiadające słuchu absolutnego traciły ślad pamięciowy wysokości i dyspersja zwiększała się o rząd wielkości. U osób ze słuchem absolutnym przebieg krzywych zapominania był odmienny: dyspersja nieco zwiększała się w zakresie przerw od 10 do 60 s a przy dalszym wydłużaniu przerwy utrzymywała się na tym samym poziomie, nawet gdy przerwę wydłużono do 30 min.

Pamięć wysokości przy długich przerwach między bodźcami badano również w eksperymentach przeprowadzonych przez Budohoską i jej współpracowników w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. Nenckiego w Warszawie. W jednym z eksperymentów (Budohoska i in., 1973) prezentowano tony o częstości od 700 do 2000 Hz. W grupie odsluchowej uczestniczyło 10 młodych osób nie mających przygotowania muzycznego. TONY prezentowano w parach – drugi ton w parze mógł być taki sam jak pierwszy lub różnić się poziomem częstości o jeden lub dwa półtony. Słuchacz udzielał odpowiedzi na pytanie, czy drugi ton w parze był wyższy, niższy, czy jednakowy pod względem wysokości z tonem pierwszym.

Przerwy między bodźcami w parze wynosiły 10, 20, 40, 80, 160 i 320 s. W eksperymencie zaobserwowano niewielki wzrost procentowy błędów w zakresie przerw od 10 do 40 s, zaś przy wydłużaniu przerwy powyżej 40 s, wzrost liczby błędów był bardzo znaczny, lecz ich liczba nie dochodziła do poziomu ocen przypadkowych.

W innym eksperymencie, Budohoska i Jarymowicz (1977) potwierdzili wyniki porównywania wysokości opisane we wcześniejszych pracach. Jedna z grup słuchaczy porównywała wysokości dźwięków oddzielonych przedziałem ciszy o różnym czasie trwania. Stwierdzono, że pamięć wysokości praktycznie nie zmieniała się w zakresie przerw od 10 do 40 s, zaś powyżej 40 s – znacznie się pogarszała. Inna grupa słuchaczy poddana była w środku przedziału przerwy niewielkiemu wstrząsowi elektrycznemu, trwającemu 50 ms. Wartość napięcia elektrycznego była ustawiana indywidualnie, w zależności od czułości słuchacza na wstrząs. W grupie, która otrzymywała wstrząs, stwierdzono lepsze wyniki dyskryminacji wysokości niż w grupie nie poddanej wstrząsom, jednakże kształt krzywej błędów był w obu grupach podobny.

W roku 1978 przeprowadzono eksperyment z zastosowaniem stałego standardu i procedury dostrajania (Rakowski, 1978, patrz również Rakowski i Morawska-Büngeler, 1987). W badaniach uczestniczyły dwie osoby z wyższym wykształceniem muzycznym, z których jedna miała słuch absolutny. Zadaniem słuchacza było dostrojenie, możliwie najdokładniej, wysokości tonu generatora do wysokości standardu, którym był ton o częstotliwości 440 Hz, odpowiadający wysokości a^1 w skali muzycznej. Procedura eksperymentu była następująca: najpierw prezentowano standard, po czym następowała przerwa i pojawiał się ton, którego częstotliwość regulowana była przez słuchacza. Przerwy między bodźcami wynosiły: 1; 5; 10 i 30 s oraz 1; 2,5; 5; 10 i 30 min. Ponadto, słuchacz dostrajał ton bez standardu, na ogół po około 24 godzinach od czasu ostatniej prezentacji standardu. Każdy ze słuchaczy dokonał 20 nastrojeń na punkt pomiarowy. Miarą dokładności strojenia, jaką posłużono się do wyznaczenia krzywych zapomnienia, było odchylenie standardowe różnic między częstotliwością nastrojoną i częstotliwością standardu. U osoby ze słuchem absolutnym zaobserwowano następującą zależność między czasem przerwy i dokładnością nastrojeń: przy bardzo krótkich przerwach słuchacz dostrajał wysokość z bardzo dużą dokładnością (odchylenie standardowe nastrojeń wynosiło około 7 centów), po 10 sekundach strojenie było mniej dokładne, po 30 sekundach wzrastało do 12 centów, natomiast dalsze,

wielominutowe wydłużanie przerwy nie zwiększało już dyspersji nastrojeń. W przypadku strojenia bez standardu, odchylenie nastrojeń wynosiło u tego słuchacza około 18 centów, co jest wynikiem typowym w strojeniu wysokości skali muzycznej z pamięci u osób z tzw. dobrym słuchem absolutnym (Rakowski, 1991).

Wyniki słuchacza nie posiadającego słuchu absolutnego miały inny przebieg. Przy przerwach nie przekraczających 2,5 min. stwierdzono dużą dokładność strojenia (odchylenie standardowe około 8 centów), zbliżoną do wyniku osoby ze słuchem absolutnym. Przy przerwach dłuższych zaobserwowano natomiast znaczny wzrost dyspersji nastrojeń, do 30 centów przy przerwie 5-minutowej i ponad 100 centów przy dłuższych przerwach. Wydaje się oczywiste, że nawet w optymalnych warunkach (doświadczony słuchacz, brak czynników zakłócających, standard o wysokości należącej do skali muzycznej) krótkotrwała pamięć wysokości bezwzględnej u osoby nie dysponującej słuchem absolutnym może utrzymywać się nie dłużej niż przez kilka minut. Mimo to, na podstawie niniejszego przeglądu trudno byłoby wnioskować, że ślad pamięciowy wysokości zacierza się „bardzo szybko w funkcji czasu” (Broadbent, 1963). Taki pogląd pojawia się często u różnych autorów, zaś Cowen (1984) opisując pamięć krótkotrwałą stwierdza, że „krótki” i „długi” rejestr pamięciowy odnoszą się do czasu przechowywania informacji rzędu kilkuset milisekund i kilku sekund.

5. WPŁYW CZYNNIKÓW ZAKŁÓCAJĄCYCH (DYSTRAKTORÓW)

Systematyczne badania krótkotrwałej pamięci wysokości rozpoczęto w połowie lat sześćdziesiątych. Impulsem do podjęcia tej tematyki były dwa wydarzenia, a właściwie serie wydarzeń. Po pierwsze, wykrycie pamięci ikonicznej w percepcji wzrokowej (Sperling, 1960) oraz pamięci echoicznej w percepcji słuchowej. Pamięć echoiczną wykryli Crowder i Morton (1969), nazywając ją przedkategorialnym magazynem słuchowym (ang. *Precategorical Acoustic Storage*, PAS). Istnienie pamięci echoicznej potwierdzono następnie w innych eksperymentach (Darwin i in., 1972; Crowder, 1982). Watkins i Todres (1980) wskazali natomiast na pewne nieścisłości w interpretacji funkcjonowania tej pamięci.

Drugim czynnikiem, który wywarł wpływ na współczesne badania pamięci wysokości, był wzrost zainteresowania krótkotrwałymi zjawis-

kami słuchowymi w językoznawstwie i w badaniach percepcji mowy (Crowder, 1993). Elementy metodyki badań stosowane w tych dziedzinach – swobodne odtwarzanie (ang. *free recall*) i szczegółową obserwację zjawisk interferencyjnych, zaczęto stosować w badaniach pamięci wysokości. Podobnie jak w eksperymentach dotyczących mowy, czasy obserwacji funkcjonowania pamięci nie przekraczały kilku sekund. W badaniach mowy przedział taki był wymagany, aby informacja sensoryczna została zarejestrowana w bardziej trwałej, zwerbalizowanej formie.

W badaniach krótkotrwałej pamięci wysokości nie zawsze zdawano sobie sprawę z istotnej różnicy, jaka istnieje pomiędzy magazynowaniem informacji w postaci semantycznej, a magazynowaniem jej w postaci czysto sensorycznej, takiej na przykład jak absolutna wysokość dźwięku. Pomimo pewnych nieścisłości w założeniach badań, wyniki uzyskane z zastosowaniem starannie dobranych procedur eksperymentalnych okazały się jednak bardzo cenne i przedstawiły w nowym świetle pamięć i percepcję wysokości. Szczególnie istotne znaczenie miały eksperymenty z dystraktorem (bodźcem zakłócającym), prezentowanym pomiędzy bodźcem standardowym i porównawczym. Badania prowadzono z zastosowaniem różnych dystraktorów i różnych czasów opóźnień między bodźcem standardowym i dystraktorem. Wyniki porównywano następnie z danymi uzyskanymi w warunkach bez czynników interferujących.

Jedną z pierwszych tego rodzaju prac, w których zastosowano nowoczesną metodykę i dokonano starannego opisu matematycznego wyników, był eksperyment Wickelgrena (1966). Słuchacze uczestniczący w badaniach porównywali wysokości dwóch tonów przedzielonych dystraktorem – tonem ciągłym o czasie trwania 2, 4 lub 8 s. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że ślad pamięciowy zanika wykładniczo w funkcji czasu. W jednej z kolejnych publikacji Wickelgren (1969) opisał dwa eksperymenty z bardziej rozbudowaną analizą statystyczną wyników. W obu eksperymentach słuchacze porównywali wysokości dwóch tonów. Częstość standardu zmieniała się w zakresie od 400 do 490 Hz, zaś drugi bodziec w parze miał częstość identyczną jak standard, albo większą lub mniejszą o 10 Hz. Porównywane tony przedzielone były tonem zakłócającym o częstości 930 Hz. W pierwszym eksperymencie czas trwania przedziału między bodźcami wynosił 1, 2, 4, 6, 12, 24, 49, 90 i 180 s, zaś w drugim 250, 500 i 750 ms, oraz 1, 2, 4 i 8 s. Miarą dokładności pamięci wysokości był wskaźnik detekcji d' , określający próg różnicy wysokości w danych warunkach operacyjnych. W podsumowaniu wyników eksperymentu autor stwier-

dza: „...śląd pamięciowy wysokości składa się z silnego śladu zmagazynowanego w pamięci krótkotrwałej, zanikającego wykładniczo do zera przy stałej czasowej od 3 do 9 s, oraz śladu słabszego, zmagazynowanego w pamięci pośredniej, zanikającego wykładniczo do zera przy stałej czasowej 40 s lub większej [...]. Niewykluczone, że stała czasowa jest w tym przypadku rzędu minut, a nawet godzin...” (Wickelgren, 1969, s. 33–34).

Wyniki ukazujące szybki zanik śladu pamięciowego wysokości w pamięci krótkotrwałej publikowane były również w pracach innych autorów. Massaro (1970), wprowadzając przedziały wypełnione sygnałem zakłócającym o czasie trwania 1, 2 i 4 s zaobserwował, że wskaźnik detekcji d' maleje wykładniczo w funkcji czasu. W tej samej pracy stwierdził również, że d' maleje znacznie wolniej, jeżeli bodźce są przedzielone ciszą, a nie tonem zakłócającym. Podobne wyniki uzyskali w warunkach bez dystraktora Aiken i Lau (1966), dla przerw 0,95; 4,5 oraz 8,9 s stwierdzając, że niezależnie od czasu przerwy, wskaźnik detekcji (w tym przypadku wskaźnik detekcji różnicy) d' pozostaje praktycznie niezmienny. Wyniki tego eksperymentu są zbieżne z wynikami uzyskanymi wcześniej przez Harrisa (1952) klasyczną metodą pomiaru progów różnicy.

W roku 1970 ukazały się dwie bardzo istotne prace na temat wpływu bodźców zakłócających na krótkotrwałą pamięć wysokości. W pracy Elliot (1970), bodźce o czasie trwania 300 ms przedzielone były przerwą trwającą 8 sekund. Częstość standardu zmieniano w zakresie od 250 do 1500 Hz. Drugi bodziec miał częstość identyczną jak standard, bądź różniącą się o ± 6 lub ± 12 Hz w dolnym zakresie częstości standardu, oraz o ± 8 lub ± 16 Hz w zakresie górnym. Pomiedzy bodźcami była cisza lub prezentowano trwający 400 ms ton zakłócający o częstości dobranej z pasma krytycznego, w którym znajdował się standard, lub z sąsiedniego pasma. Dystraktor umieszczony był w przedziale przerwy i rozpoczynał się 50 ms po zakończeniu prezentacji standardu lub kończył 50 ms przed włączeniem bodźca porównawczego.

W warunkach bez interferencji, wyniki były zbieżne z danymi literaturowymi dla krótkich przerw między bodźcami i potwierdziły, że zanik śladu pamięciowego jest powolny. W przypadku stosowania dystraktora stwierdzono natomiast, że próg różnicowy jest zawsze wyższy niż w warunkach bez zakłóceń. Najistotniejsze znaczenie w tym eksperymencie ma obserwacja, że dystraktor powoduje większe osłabienie śladu pamięciowego wysokości gdy jest umieszczony tuż za standardem, niż gdy pojawia się przed bodźcem porównawczym.

Począwszy od roku 1970, Deutsch opublikowała serię prac na temat krótkotrwałej pamięci wysokości, które następnie podsumowała w dwóch publikacjach (Deutsch, 1975, 1982). Szczególnie owocny okazał się eksperyment mający na celu zbadanie hipotez Posnera (1967) oraz Crowdera i Mortona (1969) zakładających, że informacja zmagazynowana w pamięci krótkotrwałej może być wyparta poprzez nową, napływającą informację. Deutsch dokonała weryfikacji tej hipotezy stosując w badaniach dwa rodzaje informacji – sensoryczną i semantyczną. Słuchacze porównywali wysokości dwóch tonów przedzielonych 5-sekundową przerwą. W przedziale przerwy prezentowano sześć tonów lub sześć wypowiedzianych jednocyfrowych liczb. Słuchacz miał za zadanie stwierdzić, czy tony w parze są jednakowe, czy różne. Otrzymywał dodatkowo jedną z następujących instrukcji: a) nie brać pod uwagę dźwięków pojawiających się w przerwie między bodźcami, b) nie brać pod uwagę liczb, c) odtworzyć z pamięci sześć liczb w prawidłowej kolejności, d) odtworzyć sześć liczb jak w punkcie „c” wiedząc, że bodziec standardowy i porównawczy są jednakowe. W eksperymencie stwierdzono, że krótkotrwała pamięć wysokości ulegała zakłóceniu tylko w przypadku, gdy dystraktorem były tony o różnej wysokości. Gdy dystraktorem były liczby, zakłócenie pamięci było niewielkie, nawet w przypadku, gdy słuchacz musiał odtworzyć kolejność tych liczb. Z eksperymentu wynika, że w pamięci istnieje wyspecjalizowany rejestr sensoryczny zdolny do przechowywania wysokości dźwięku, nawet bez współdziałania uwagi słuchacza (Deutsch, 1970; 1975).

Wyniki uzyskane przez Deutsch (1970) ukazują bardzo dobrą separację procesów jednoczesnych w pamięci krótkotrwałej i można je przytoczyć jako pierwszą świadomą próbę sformułowania nowoczesnego modelu pamięci operacyjnej. Ten kierunek zaowocował następnie w dalszych pracach (Baddeley i Hitch, 1974; Baddeley, 1992).

Wyniki eksperymentu Deutsch (1970) zostały potwierdzone w badaniach przeprowadzonych podobną metodą przez innych autorów. Ally i McWhirter (1975) przeprowadzili eksperyment, w którym słuchacze oceniali podobieństwo tonów rozdzielonych przerwą trwającą do 8 s. Częstość standardu wybierano spośród stopni skali równomiernie temperowanej, w przedziale od 1096 do 2068 Hz. Bodziec porównawczy miał częstość identyczną jak standard lub różnił się od standardu o półton. W eksperymencie zastosowano trzy rodzaje dystraktorów: a) sześć tonów w zakresie oktawy od 1096 do 2068 Hz, z wyłączeniem częstości stan-

dardu, b) sześć tonów z innych oktaw, z wyłączeniem transpozycji oktawowych standardu, c) wypowiedane liczby, które słuchacz miał następnie odtworzyć z pamięci, d) proste zadanie myślowe wykonywane w ciszy – na przykład słuchacz musiał zdecydować, czy określone stwierdzenie jest prawdziwe, czy fałszywe. Wyniki wykazały, że dystraktor w postaci tonów, niezależnie od tego czy był prezentowany w tej samej co standard, czy w innej oktawie, powodował znacznie większe zakłócenia pamięci niż materiał werbalny. Podobne wyniki uzyskano również w przypadkach, gdy słuchacz otrzymywał instrukcje, żeby odtworzyć z pamięci kolejność liczb. Ten fakt należy podkreślić tym bardziej, że w warunkach gdy dystraktorem były tony, słuchacz nie musiał w ogóle zwracać na nie uwagi.

Eksperyment powyższy stanowi bezpośrednie potwierdzenie wyników opublikowanych przez Deutsch (1970). Zadanie umysłowe wykonywane w ciszy miało mniejszy wpływ nie tylko niż tony, lecz było również słabszym dystraktorem niż wypowiedane liczby. Autorzy wysunęli hipotezę, że określenie, czy dane stwierdzenie jest prawdą czy fałszem wymaga użycia pamięci długotrwałej, która może być mniej podatna na działanie czynników interferencyjnych niż pamięć krótkotrwała. Autorzy stwierdzili dalej, że zjawisko to będzie wymagać dalszych, szczegółowych badań. Badania takie zostały podjęte zarówno w odniesieniu do ogólnej charakterystyki pamięci operacyjnej (patrz Baddeley, 1992), jak i do specyficznej formy pamięci wysokości (Pechmann i Mohr, 1992; Rakowski, 1993, 1994).

Jedno z przypuszczeń wynikających z eksperymentu Ally i McWhirter (1975) okazało się nie w pełni prawdziwe. Nie stwierdzili oni bowiem, żeby rejestr wysokościowy dystraktora miał istotny wpływ jako czynnik zakłócający. Wpływ tonu zakłócającego okazał się według nich niezależny od tego, w jakiej oktawie ów ton był prezentowany. Wpływ rejestru wysokościowego analizowano jednak również w pracach innych autorów, przy czym Deutsch (1972) wykazała, że największy wpływ zakłócający na pamięć wysokości mają dźwięki nie mające tej samej wysokości muzycznej co standard, ale jednocześnie zbliżone do niego na skali wysokości absolutnej. Innym wnioskiem z pracy Deutsch (1972) jest stwierdzenie, że wpływ dystrakcyjny jest większy w przypadku, gdy sygnał zakłócający jest prezentowany bliżej standardu, a nie tuż przed bodźcem porównawczym. Ta obserwacja potwierdziła wyniki uzyskane przez Elliot (1970) i jest spójna z wynikami badań zjawiska hamowania retroaktywnego (Massaro, 1970, 1975).

Wśród wielu eksperymentów, jakie przeprowadzono z zastosowaniem paradygmatu Deutsch, praca Krumhansl (1979) reprezentuje obszar pośredni pomiędzy badaniem czynników na niższym i wyższym poziomie aktywności nerwowej, tj. czynników psychoakustycznych i muzycznych. Autorka zastosowała dwa rodzaje bodźców zakłócających: dystraktor tonalny, należący do wspólnej tonacji z bodźcem standardowym i porównawczym oraz dystraktor atonalny, nie mający pokrewieństwa tonalnego z bodźcami. Wyniki wykazały, że wpływ tonu zakłócającego jest większy, gdy należy on do wspólnej tonacji z porównywanymi bodźcami.

Pechmann i Mohr (1992) zastosowali procedurę Deutsch (1970) w eksperymencie ukierunkowanym bezpośrednio na badanie pamięci operacyjnej. Jednym z celów badań było sprawdzenie, czy rozdział rejestru wysokości od innych rejestrów semantycznych i wizualnych w pamięci krótkotrwałej zależy od stopnia wyszkolenia muzycznego słuchacza. W głównym eksperymencie Pechmann i Mohr zbadali 14 słuchaczy amatorsko uprawiających muzykę oraz 13 osób nie mających praktyki muzycznej. Wszyscy słuchacze byli studentami i żaden z nich nie miał słuchu absolutnego. W ramach badań przeprowadzono testy bez czynników zakłócających oraz z dystraktorem. Zastosowano dystraktory w postaci zestawu tonów, sześciu jednosylabowych wyrazów wypowiedzianych przez mężczyznę oraz dystraktor wzrokowy w postaci sześciu częściowo wypełnionych form geometrycznych, prezentowanych na ekranie komputera.

Wyniki uzyskane od słuchaczy mających praktykę muzyczną pokrywały się z obserwacjami opisanymi w pracy Deutsch (1970). Wśród zastosowanych dystraktorów, jedynie bodziec dźwiękowy zakłócał pamięć wysokości tonu standardowego, natomiast bodźce semantyczne i wzrokowe nie miały wpływu na pamięć wysokości. Wyniki uzyskane od słuchaczy bez praktyki muzycznej były odmienne. Pogorszenie pamięci wysokości występowało bowiem nie tylko w obecności dystraktora akustycznego, lecz również w przypadku dystraktorów semantycznych i wizualnych. Różnica wyników uzyskanych od muzyków i od osób bez praktyki muzycznej nasuwa pytanie, czy muzycy powinni brać udział jako słuchacze w eksperymentach psychoakustycznych i czy wyniki uzyskane od słuchaczy z przygotowaniem muzycznym mogą stanowić w psychoakustyce podstawę do uogólnień? Jak się wydaje, można dać na te pytania odpowiedź twierdzącą. W ramach szkolenia muzycznego prowadzi się między innymi intensywne kształcenie słuchu w celu wyrobienia u muzyka umiejętności efektywnego słuchania. Kształcenie słuchu nie wpływa

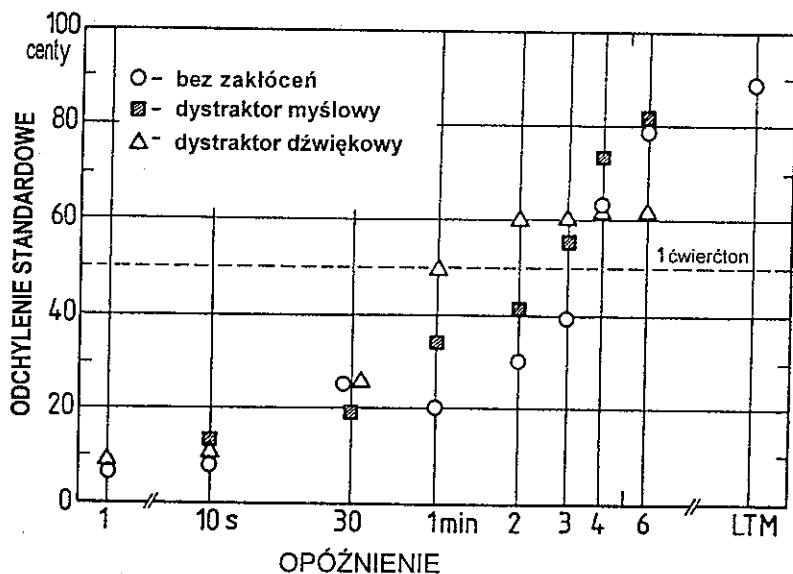
na fizjologię słyszenia, lecz zmniejsza wpływ czynników przypadkowych na ocenę dźwięków, w wyniku czego zmniejsza się dyspersja wyników ocen słuchowych. Można to uznać za obniżenie poziomu szumu maskującego informację użyteczną.

Powyższy wniosek jest szczególnie ważny w odniesieniu do eksperymentów Rakowskiego (1993, 1994), w których uczestniczyli słuchacze mający nie tylko dobry słuch muzyczny, ale również doskonałe umiejętności intonowania wysokości dźwięku głosem. W badaniach wzięły udział cztery osoby – dwaj mężczyźni i dwie kobiety – nie mające słuchu absolutnego. Zadaniem osoby badanej było powtórzenie głosem wysokości podanego dźwięku wzorcowego. Zbiór dźwięków wzorcowych obejmował pięć wysokości: *fis*, *g*, *gis*, *a*, *ais* w oktawie małej dla mężczyzn i te same dźwięki w oktawie razkresłej dla kobiet. Badania przeprowadzono w wyciszonym pomieszczeniu. Słuchacze mieli za zadanie wysłuchać dźwięku wzorcowego i po ewentualnych kilku próbach, powtórzyć ten dźwięk głosem na wysokości zgodnej ze wzorcem w zakresie ± 2 centów. Po upływie określonego czasu opóźnienia, mieli zaśpiewać ten sam dźwięk jeszcze raz, starając się aby był on identycznej wysokości jak poprzedni. Następnie mierzono różnicę w centach pomiędzy poziomami częstotliwości dwóch wykonań dźwięku przedzielonych danym opóźnieniem. Pomiarów wykonano w kolejności losowej przy czasie opóźnienia 10 i 30 s oraz 1, 2, 3, 4 i 6 min. Dla każdego ze słuchaczy uzyskano po 12 wyników na każdy z 35 punktów pomiarowych (5 częstotliwości standardowych \times 7 opóźnień). Poziomą częstotliwość śpiewanych dźwięków mierzono z dokładnością do jednego centa.

Eksperyment składał się z trzech części różniących się warunkami, jakim był poddany słuchacz w czasie opóźnienia. Część I przeprowadzono w warunkach koncentracji uwagi na zapamiętanej wysokości wzorca. Słuchaczy zachęcano, by w przerwie pomiędzy dźwiękami powtarzali w myśli dźwięk wzorcowy, jednak nie wolno im było go nucić. Część II dotyczyła wpływu dystraktora tonalnego. Słuchaczowi przez cały czas opóźnienia podawano sygnał wznoszącej się „bez końca” gamy chromatycznej (Shepard, 1964). Część III przeprowadzono w warunkach zakłócania myślowego. W tej części badań słuchacz był zobowiązany szeptem liczyć trójkami wstecz w szybkim tempie, poczynając od zadanej liczby trzycyfrowej. Wyniki eksperymentu przedstawiono na Rys. 2. Symbole na wykresie oznaczają średnie wartości odchyłeń standardowych dla grupy słuchaczy, przy określonych wartościach czasu opóźnienia. Odchylenie standardowe

w punkcie oznaczonym jako LTM (pamięć długotrwała) odnosi się do pomiarów wykonanych bez prezentacji bodźca standardowego.

Wyniki przedstawione są na wykresie w postaci krzywych zapominania, wyznaczonych oddzielnie w każdej z trzech części eksperymentu. Jeżeli za kryterium utrzymywania absolutnej wysokości dźwięku w pamięci uznać nieprzekraczanie przez odchylenie standardowe wartości ćwierćtonu, to w części I eksperymentu warunek ten spełniają wyniki uzyskane przy opóźnieniu nie większym niż 3 minuty. Dokładność strojenia, jaką uzyskano w części I, jest zgodna z wynikami wcześniejszych badań, w których słuchacze mieli za zadanie dostrajać wysokość tonu z generatora do zapamiętanego wzorca wysokości (Rakowski i Morawska-Büngeler, 1987).



Rys. 2. Krzywe zapominania wysokości dźwięku, uśrednione wyniki dla grupy czterech słuchaczy (wg Rakowskiego, 1994).

W części II, z dystraktorem akustycznym, duża dokładność intonacji utrzymywała się w zakresie opóźnień do 30 sekund. Zastosowany dystraktor dźwiękowy w postaci wznoszącej się gamy chromatycznej miał mniejszy wpływ zakłócający, niż się spodziewano. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga przeprowadzenia dalszych prób z różnymi dźwiękami zakłócającymi.

Najbardziej interesujący wynik uzyskano w części III, w warunkach zakłócenia myślowego. W tym przypadku słuchacze nie mogli powtarzać w myśli wysokości standardu, ponieważ byli zajęci innym zadaniem, w którym musieli szybko i dokładnie liczyć wstecz trójkami. Słuchacze nie spodziewali się, że w takich warunkach można zapamiętać dokładnie wysokość i, jak później stwierdzili, było dla nich zaskoczeniem, gdy po upływie 1–2 minut znów „usłyszeli” w myśli wysokość standardu. Wynik tej części eksperymentu świadczy, że w krótkotrwałej pamięci wysokości istnieje gałąź sensoryczna trwająca około 2 minut.

6. WYTWARZANIE KLAS WYSOKOŚCI MUZYCZNEJ W SŁUCHOWEJ PAMIĘCI KRÓTKOTRWAŁEJ

Jak wcześniej wspomniano, absolutna wysokość dźwięku przejawia się w muzyce w postaci dwóch odrębnych wymiarów – szeregu chrom, czyli wysokości muzycznych oraz nieskategoryzowanej wysokości naturalnej. Zapamiętywanie bezwzględnych wysokości chrom jest jednakże możliwe jedynie u niewielkiej części populacji – u posiadaczy słuchu absolutnego. Jakie zatem znaczenie praktyczne ma powyższa koncepcja wymiarów wysokości? Odpowiedź na to pytanie może być kluczem do zrozumienia szeregu zjawisk dotyczących percepcji wysokości w muzyce.

Podstawowym faktem, jaki należy tu uwzględnić, jest istnienie i specyfika krótkotrwałej pamięci wysokości. Sensoryczna gałąź wysokości w pamięci krótkotrwałej nie jest „buforem”, jak twierdzono w modelach stworzonych w latach siedemdziesiątych (np. Atkinson i Shiffrin, 1971), ani „krótkotrwałym” (300 ms), czy „długotrwałym” (2–4 s) rejestrem, jak proponował Cowan (1984). Krótkotrwała pamięć wysokości jest zjawiskiem trwającym nie milisekundy czy pojedyncze sekundy, lecz minuty.

Ślad pamięciowy wysokości absolutnej może być wytworzony w pamięci krótkotrwałej przez dowolny dźwięk o wystarczającej sile wrażenia wysokości; może też powstać w wyobraźni jako dźwięk oderwany lub fragment przypomnianej melodii, niekoniecznie w tonacji oryginalnej. Ów nowo powstały ślad pamięciowy pełni w magazynie pamięci krótkotrwałej rolę standardu wysokości absolutnej. W chwili jego powstania, w magazynie tym pojawia się również przechowywany stale w pamięci długotrwałej system relacji interwałowych i wiążąc się z nowym standardem wytwarza w relacji do niego określony zbiór wysokości muzycznych,

mających charakter dyskretnej kategorii (klas wysokości). U większości osób wychowanych w sferze kultury zachodniej, zbiorem tym jest skala diatoniczna powiązana tonalnie i wzbogacona odchyleniami chromatycznymi. Podobny system kategorii lub klas wysokości (Deutsch, 1970) utrzymałby się w pamięci nie dłużej niż przez kilkadziesiąt sekund, gdyby nie został poddany ponownej aktywacji. System muzycznych klas wysokości utrwała się, gdyż po jego wytworzeniu następują zwykle różne formy działalności muzycznej, w których powtarza się określone dźwięki i ich sekwencje. Nie warto rozważać tu sytuacji najbardziej oczywistej, tzn. gry na instrumencie muzycznym lub śpiewu z akompaniamentem instrumentalnym, natomiast do interesujących wniosków prowadzi obserwacja intonacji w chórze podczas wykonywania utworów a capella.

Na początku występu dyrygent podaje wysokość pierwszego dźwięku w poszczególnych głosach i każdy z chórzystów powtarza ten dźwięk w myśli. Opóźnienie rozpoczęcia wykonania utworu o minutę lub dwie od momentu podania wysokości nie jest dla chóru problemem, jakkolwiek odroczenie o pięć minut mogłoby już stworzyć poważne trudności. Ten oczywisty fakt może potwierdzić każdy dyrygent chóru i jest to dobra ilustracja zjawiska nazywanego pamięcią krótkotrwałą lub pamięcią operacyjną wysokości. Podczas oczekiwania na rozpoczęcie utworu chórzyci wykorzystują dwa obszary pamięci operacyjnej: magazyn sensoryczny, który uaktywnił się w wyniku działania bodźca zewnętrznego oraz skupienie uwagi i proces poznawczy, dzięki czemu ślad pamięciowy jest nieustannie odświeżany przez powtarzanie dźwięku w kontekście początkowej frazy utworu.

Gdy chór zacznie już śpiewać, nie ma trudności z odtwarzaniem wysokości muzycznych oznaczonych przez kompozytora w partyturze. Natomiast podczas wykonywania utworu często można zobserwować interesujące zjawisko polegające na stopniowym zmienianiu stroju, zwykle obniżaniu. Czasem zdarza się, że strój chóru opada nawet o pół tonu w stosunku do standardu podanego przez dyrygenta. Niewielkie odchylenia stroju można zaobserwować nawet u najlepszych, profesjonalnych chórów. Tendencja do odchylenia stroju wynika z tego, iż standardy wysokości zarejestrowane w pamięci krótkotrwałej, a nie długotrwałej, są niestabilne i podlegają fluktuacjom. Bezpośrednie przyczyny mogą być różnorodne: muzyczne (trudne transpozycje), fizjologiczne (długotrwały wysiłek podczas śpiewania) lub akustyczne (złe brzmienie pogłosu). Większość słuchaczy, jak również chórzystów wykonujących

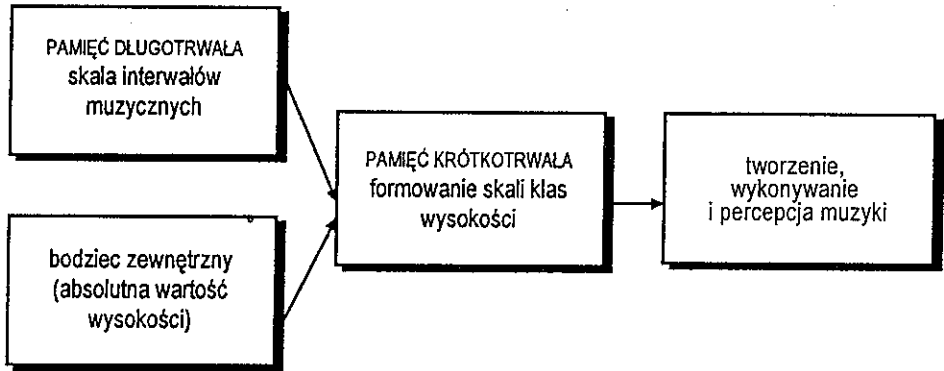
utwór, nie zauważa odchylenia stroju. Osoby posiadające słuch absolutny mogą natomiast mieć trudności w wykonaniu bądź odbiorze utworu, ponieważ do kontrolowania wysokości w pamięci operacyjnej używają własnych, wewnętrznych standardów wysokości. Przy większych odchyleniach stroju, chórzysta ze słuchem absolutnym stara się dostroić do chóru, co udaje mu się jedynie z wielkim trudem. Gdy chórzysta usiłuje mimo wszystko pozostać we właściwej tonacji, może się to skończyć muzyczną katastrofą.

Powyższy przykład ilustruje jedną z kontrowersji, jakie istnieją między ustalonym systemem absolutnych wysokości, czyli chrom, i rzeczywistymi kategoriami wysokościowymi, czyli klasami wysokości muzycznych, jakimi posługują się muzycy w praktyce wykonawczej. Podobna, a nawet jeszcze trudniejsza sytuacja powstaje gdy skłoni się śpiewaka ze słuchem absolutnym do występu z akompaniamentem fortepianu nastrojonego o ćwierć tonu niżej, lub gdy musi on transponować utwór do innej tonacji. Tego rodzaju przykłady świadczą, że fakt posiadania przez muzyka słuchu absolutnego jest nie tylko powodem do dumy, lecz może być również czynnikiem utrudniającym wykonywanie lub percepcję muzyki.

Jak widać na przykładzie chóru *a capella* kończącego wykonanie utworu w tonacji innej niż początkowa, czego większość słuchaczy nie zauważa, system chrom muzycznych nie jest nienaruszalnym atrybutem muzyki zachodniego kręgu kulturowego. Atrybutem takim jest natomiast system relacji interwałowych utrwalony w długotrwałej pamięci twórców, wykonawców i słuchaczy muzyki. System ów, stanowiąc abstrakcję z punktu widzenia akustyki, jest jednak wyposażony w potencjalną możliwość natychmiastowej realizacji w postaci konkretnego zbioru wysokości dźwięku, a raczej w postaci wielu różniących się od siebie zbiorów wysokości. Niezmiennikiem wszystkich tych zbiorów jest powiązanie ich identycznymi relacjami interwałowymi, zaś ich potencjalna liczba zależy między innymi od czułości różnicowej słuchu wysokościowego.

Konkretyzacja systemu interwałowego w postaci określonego zbioru wysokości następuje w momencie pojawienia się w krótkotrwałej pamięci słuchacza wzorca absolutnej wysokości dźwięku, który ma zapoczątkować daną aktywność muzyczną. Wzorzec ten może być podany z zewnątrz, może stanowić standard przechowywany w pamięci długotrwałej lub też może zostać wytworzony w wyobraźni słuchowej. Z chwilą pojawienia się wzorca i usytuowania go w określonym punkcie łańcucha zależności tonalnych systemu interwałowego, w krótkotrwałej pamięci

wysokości rozwija się i stabilizuje (na czas egzystencji sensorycznej gałęzi pamięci wysokościowej) wewnątrzoktawowy system klas wysokości muzycznych (Rys. 3). Jest on odpowiednikiem systemu chrom, tyle że zakotwiczonym nie w długotrwałej, lecz w krótkotrwałej pamięci wysokości. Klasy wysokości muzycznych mają charakter wyraźnie ukształtowanych kategorii percepcyjnych i stanowią podstawowy materiał wszelkich operacji muzycznych w obszarze wysokości dźwięku (Rakowski, 1997a, 1998).



Rys. 3. Model tworzenia się i funkcjonowania klas wysokości muzycznej.

Stwierdzenie, że mechanizm formowania kategorii wysokościowych w pamięci operacyjnej przejawia się tylko przy percepcji muzyki, byłoby dużym uproszczeniem. Jako przykład rozważmy eksperyment przeprowadzony przez Massaro (1970), dotyczący rozpoznawania wysokości w warunkach maskowania wstecznego. Massaro podawał słuchaczom dwa tony o czasie trwania 20 ms i częstotliwości 770 oraz 870 Hz. Dystans wysokości tonów był nieco większy niż dwa półtony temperowane. Słuchacze nauczyli się identyfikować tony jako „niski” i „wysoki”, po czym, w warunkach „bez maskowania”, identyfikacja była bardzo dobra². W warunkach „z maskowaniem”, po dźwiękach „wysokim” i „niskim”, prezentowano w różnych przedziałach czasowych (0–500 ms) krótki ton zakłócający o częstotliwości 820 Hz. W eksperymencie zaobserwowano, że identyfikacja pogarszała się znacznie w przypadku, gdy przerwa między zidentyfikowanym sygnałem i dystraktorem była krótsza niż 250 ms. Autor założył, że maskowanie wsteczne przez dystraktor wpływa na identyfikację

² Należy zaznaczyć, że mamy tu do czynienia z tzw. maskowaniem informacyjnym, a nie natężeniowym.

wysokości tylko wtedy, gdy obróbka percepcyjna sygnału nie została jeszcze w pełni zakończona, z czego wynikało, że czas obróbki percepcyjnej bodźców słuchowych wynosił około 250 ms.

Eksperyment powyższy jest jednym z wielu przykładów wykorzystania pamięci krótkotrwałej jako magazynu śladów pamięciowych wysokości dźwięku i użycia tych śladów do przeprowadzania krótkotrwałych operacji myślowych. Podczas identyfikowania sygnałów, procesy myślowe słuchaczy w eksperymencie Massaro przebiegały w sposób podobny do funkcjonowania kategorii wysokościowych w muzyce. Sygnały zostały zakodowane w gałęzi sensorycznej pamięci operacyjnej jako „niski” i „wysoki” i utrzymywały się w niej dzięki odświeżaniu śladu pamięciowego podczas sesji odsłuchowej. Gdyby w sesji eksperymentalnej wystąpiła dłuższa przerwa, porównawcze kategorie (klasy) wysokości zniknęłyby z pamięci operacyjnej i słuchacze nie mieliby możliwości identyfikowania prezentowanych bodźców. Podstawowa różnica między systemem kategorii wysokościowych w muzyce i systemem dwóch kategorii stworzonych *ad hoc* w eksperymencie polega na tym, że system kategorii muzycznych działa w oparciu o interwały skali muzycznej, zmagazynowane w pamięci długotrwałej.

Przykład eksperymentu Massaro wykazuje, że do celów praktycznych można stworzyć system ulokowany w pamięci krótkotrwałej (operacyjnej) i nie mający oparcia w pamięci długotrwałej. W eksperymencie Massaro posłużono się dwoma elementami. Kwestią otwartą pozostaje maksymalna liczba elementów, jakie można zastosować w systemach podobnego typu, funkcjonujących w oparciu o pamięć krótkotrwałą.

7. WNIOSKI

Celem niniejszej pracy było omówienie eksperymentów dotyczących krótkotrwałej pamięci wysokości, jakie przeprowadzono z zastosowaniem różnorodnych metod. Omówienie bieżących tendencji w badaniu pamięci wysokości wymagało sięgnięcia do ich źródeł, a także stwierdzenia, w jakim stopniu wyniki uzyskiwane z zastosowaniem nowoczesnej metody są zbieżne z wynikami prac wcześniejszych. Porównanie wczesnych eksperymentów z pracami opublikowanymi w ciągu ostatnich kilku lat ujawniło dużą zbieżność wyników. Jednym z przykładów jest czas trwania śladu pamięciowego nieskategoryzowanej wysokości. W warunkach bez

czynników interferujących, ślad pamięciowy utrzymuje się u słuchaczy niedoświadczonych przez okres około 1 minuty (Bachem, 1954; Budohoska i in., 1973; Budohoska i Jarymowicz, 1977). U słuchaczy z bardzo dużym doświadczeniem, mających przygotowanie muzyczne i potrafiących skutecznie stosować metodę powtarzania wysokości w myśli, czas ten jest dłuższy i wynosi blisko 3 minuty (Rakowski, 1972; Rakowski i Morawska-Büngeler, 1987; Rakowski, 1994).

Najbardziej pouczające okazały się jednak badania, w których stosowano bodźce zakłócające (dystraktory). W badaniach tych stwierdzono, że ślad pamięciowy wysokości można łatwo zakłócić za pomocą dystraktora o wysokości zbliżonej do standardu, następującego bezpośrednio po prezentacji bodźca (Elliot, 1970; Massaro, 1970, 1972; Deutsch, 1972; Krumhansl, 1979). Na szczególną uwagę zasługują również eksperymenty wykazujące, że w pamięci operacyjnej istnieją dwa odrębne mechanizmy, z których jeden pozwala zmagazynować na krótki czas wrażenie precyzyjnie określonej wysokości naturalnej dźwięku, a drugi umożliwia w tym samym czasie dokonywanie pewnych operacji myślowych (Deutsch, 1970; Pechmann i Mohr, 1992; Rakowski, 1994). Eksperymenty te mogą stać się podstawą do opracowania bardziej szczegółowego modelu pamięci operacyjnej.

W niniejszej pracy uściślono pojęcia dotyczące funkcjonowania pamięci wysokości w muzyce, oraz dokonano szczegółowego opisu współzależności, jakie istnieją pomiędzy krótkotrwałą pamięcią nieskategoryzowanej wysokości naturalnej oraz długotrwałą pamięcią interwałów muzycznych.

Praca została wykonana z wykorzystaniem środków przyznanych przez Komitet Badań Naukowych w ramach projektu badawczego Nr 1 P107 022 07.

BIBLIOGRAFIA

- Aiken, E. G., Lau, A. W. (1966). Memory for the pitch of a tone. *Perception and Psychophysics* 3, 121-130.
- Ally, G. A., McWhirter, R. M. (1975). Interference in a pitch discrimination task. *Journal of Auditory Research* 15, 146-150.
- American National Standard Institute (1973). *Psychoacoustical terminology*. S3.20. New York: ANSI
- Anderson, D. A. (1914). The duration of tones, the time interval, the direction of sound, darkness and quiet, and the order of stimuli in pitch discrimination. *Psychology Monographs* 69.

- Atkinson, R. C., Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American* **225**(2), 82-90.
- Attneave, F., Olson, R. K. (1971). Pitch as a medium: A new approach to psychophysiological scaling. *American Journal of Psychology* **84**, 147-166.
- Bachem, A. (1950). Tone height and tone chroma as two different pitch qualities. *Acta Psychologica* **7**, 80-88.
- Bachem, A. (1954). Time factors in relative and absolute pitch discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America* **26**, 751-753.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human Memory: Theory and Practice*. Boston, Allyn & Bacon.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science* **255**, 556-559.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J. (1974). Working memory. W: G. Bower (red.) *The Psychology of Learning and Motivation*, t. 8, 47-89, Academic Press, New York.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* **36**, 233-252.
- Berz, W. L. (1995). Working memory in music: A theoretical model. *Music Perception* **12**, 353-364.
- Broadbent, D. E. (1963). Flow of information within the organism. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* **2**, 34-39.
- Budohoska, W., Czachowska, B., Jarymowicz, J., Szymański, L. (1973). Immediate and short-term memory: Recall of simple auditory stimuli. *Acta Psychologica* **37**, 341-349.
- Budohoska, W., Jarymowicz, J. (1977). The dynamics of auditory memory under tension-including conditions. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* **37**, 57-62.
- Burns, E. M., Campbell, S. L. (1994). Frequency and frequency-ratio resolution by possessors of absolute and relative pitch: Examples of categorical perception. *Journal of the Acoustical Society of America* **96**, 2704-2719.
- Cofer, C. N. (1975). A historical perspective. W: C. N. Cofer (red.) *The Structures of Human Memory*, W. H. Freeman, San Francisco.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin* **96**, 341-370.
- Crowder, R. G. (1982). Decay of auditory memory in vowel discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* **8**, 153-162.
- Crowder, R. G. (1993). Auditory memory. W: S. McAdams, E. Bigand (red.) *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human Audition*, University Press, Oxford.
- Crowder, R. G., Morton, J. (1969). Precategorical acoustic storage (PAS). *Perception and Psychophysics* **5**, 365-373.
- Darwin, C. J., Turvey, M. T., Crowder, G. (1972). An auditory analogue of the Sperling partial report procedure: Evidence for brief auditory storage. *Cognitive Psychology* **3**, 255-267.
- Deutsch, D. (1970). Tones and numbers: Specificity of interference in short-term memory. *Science* **168**, 1604-1605.

- Deutsch, D. (1972). Mapping of interactions in the pitch memory store. *Science* **175**, 1020–1022.
- Deutsch, D. (1975). The organization of short-term memory for a single acoustic attribute. W: D. Deutsch, J. A. Deutsch (red.) *Short Term Memory*, Academic Press, New York, 107–151.
- Deutsch, D. (1982). The processing of pitch combinations. W: D. Deutsch (red.) *The Psychology of Music*, Academic Press, New York, 271–316.
- Dowling, J. W., Harwood, D. L. (1986). *Music Cognition*. Academic Press, New York.
- Dowling, J. W. (1991). Tonal strength and melody recognition after long and short delays. *Perception and Psychophysics* **50**, 305–313.
- Elliot, L. L. (1970). Pitch memory for short tones. *Perception and Psychophysics* **8**, 379–384.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Book Inc., New York.
- Harris, J. D. (1952). The decline of pitch discrimination with time. *Journal of Experimental Psychology* **49**, 96–99.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. Wyd. współczesne: Dover, New York.
- Klatzky, R. L. (1975). *Human Memory: Structures and Processes*. W. H. Freeman, San Francisco.
- Koester, T. (1945). The time error and sensitivity in pitch and loudness discrimination as a function of time interval and stimulus level. *Archives of Psychology* **297**.
- Krumhansl, C. L. (1979). The psychological representation of musical pitch in a tonal context. *Cognitive Psychology* **11**, 346–374.
- Krumhansl, C. L. (1990). *Cognitive Foundations of Musical Pitch*. Oxford University Press, New York.
- Lerdahl, F. (1988). Cognitive constraints on compositional systems. W: J. Sloboda (red.) *Generative Processes in Music*, Oxford University Press, New York-London-Oxford, 231–259.
- Lerdahl, F., Jackendoff, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press, Cambridge.
- Massaro, D. W. (1970). Retroactive interference in short-term recognition memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology* **83**, 32–39.
- Massaro, D. W. (1972). Perceptual images, processing time, and perceptual units in auditory perception. *Psychological Review* **79**, 124–145.
- Massaro, D. W. (1975). Backward recognition masking. *Journal of the Acoustical Society of America* **58**, 1059–1065.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits in our capacity for processing information. *Psychological Review* **63**, 81–97.
- Namba, S., Kuwano, S., Nakajima, Y., Yagi, M. (1985). On the judgement of musical intervals. W: *The Studies in the Humanities and Social Sciences* **33**, College of General Education, Osaka University, Osaka, 1–21.

- Pechmann, T., Mohr, G. (1992). Interference in memory for tonal pitch: Implications for a working-memory model. *Memory and Cognition* **20**, 314–320.
- Posner, M. I. (1967). Short-term memory systems in human information processing. W: A. F. Sanders (red.) *Attention and Performance*, t. I, North Holland Publ., Amsterdam, 267–284.
- Rakowski, A. (1972). Direct comparison of absolute and relative pitch. *Proceedings of the Symposium on Hearing Theory*, Eindhoven, 105–108.
- Rakowski, A. (1978). Investigations of absolute pitch. *Proceedings of the Research Symposium on the Psychology and Acoustics of Music*, University of Kansas, Lawrence, 45–57.
- Rakowski, A. (1989). Memory for pitch in music. *Proceedings of the First International Conference on Music Perception and Cognition*, Kyoto, 137–140.
- Rakowski, A. (1991). Badania słuchu absolutnego. W: J. Ranachowski (red.) *Problemy Współczesnej Akustyki*, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa, 297–318.
- Rakowski, A. (1993). Short-term memory for pitch investigated with vocal matchings. *Archives of Acoustics* **18**, 351–357.
- Rakowski, A. (1993a). Categorical perception in natural language and in music. *Archives of Acoustics* **18**, 515–523.
- Rakowski, A. (1994). Investigating short-term auditory memory with the method of vocal pitch control. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustic Conference – SMAC '93*, A. Friberg, J. Iwarsson, E. Jansson, J. Sundberg (red.) Royal Swedish Academy of Music, Stockholm, 53–57.
- Rakowski, A. (1995). Categorical perception in natural language and in music. W: M. Jabłoński, J. Stęszewski (red.) *Interdisciplinary Studies in Musicology*, t. 2, PTPN, Poznań, 19–31.
- Rakowski, A. (1997). Wysokość i skala wysokości dźwięku w muzyce. *Prace XLIV Otwartego Seminarium z Akustyki OSA'97*, Gdynia-Jastrzębia Góra.
- Rakowski, A. (1997a). The phonological system of musical language in the domain of pitch. W: M. Jabłoński, J. Stęszewski (red.) *Interdisciplinary Studies in Musicology*, t. 3, PTPN, Poznań, 211–221.
- Rakowski, A. (1998). Wysokość jako materiał fonologiczny języka muzycznego. *Muzyka* **43**, 7–24.
- Rakowski, A. (1999). Perceptual dimensions of pitch and their appearance in the psychological system of music. *Musicae Scientiae* **4**, 23–39.
- Rakowski, A., Morawska-Büngeler, M. (1987). In search for the criteria of absolute pitch. *Archives of Acoustics* **12**, 75–87.
- Révész, G. (1913). *Zur Grundlegung der Tonpsychologie*. Vert, Leipzig.
- Shepard, R. N. (1964). Circularity in judgments of relative pitch. *Journal of the Acoustical Society of America* **36**, 2346–2353.
- Sloboda, J. A. (1985). *Musical Mind: The Cognitive Psychology of Music*. Oxford University Press, London.

- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs* **74**, 498.
- Stevens, S. S., Volkman, J. (1940). The relation of pitch to frequency: A revised scale. *American Journal of Psychology* **53**, 329-353.
- Tiepłow, B. (1952). *Psychologia zdolności muzycznych*. Nasza Księgarnia, Warszawa.
- Watkins, J. M., Todres, A. K. (1980). Suffix effects manifest and concealed: Further evidence for a 20-second echo. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* **19**, 46-53.
- Waugh, N. C., Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review* **72**, 89-104.
- Wickelgren, W. A. (1966). Consolidation and retroactive interference in short-term memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology* **72**, 250-259.
- Wickelgren, W. A. (1969). Associative strength theory of recognition memory for pitch. *Journal of Mathematical Psychology* **6**, 13-61.
- Wolfe, H. K. (1886). Untersuchungen über das Tongedächtniss. *Philosophische Studien* **3**, 534-571.