

Krzysztof Dąbrowski  
Wiedeń

## Krótką historia przetworników elektroakustycznych w XIX wieku

### A short history of electro-acoustic converters on the 19<sup>th</sup> century

One of the most important parts of the telephone are electro-acoustic converters, that is – microphones and earphones. At the beginning of the development of telephone, in the 19<sup>th</sup> century, when there were no amplifiers available for the technology, providing sufficient volume of voice transmission was not as easy as at the beginning of 20<sup>th</sup> century, when the vacuum tube was invented. The article is concerned with the part that was played in this process by Polish inventors, Henryk Machalski and Julian Ochorowicz.

**Keywords:** carbon microphone, dynamic microphone, electromagnetic microphone, earphone, electro-acoustic converter, Henryk Machalski, Julian Ochorowicz

**Słowa kluczowe:** mikrofon węglowy, mikrofon dynamiczny, mikrofon elektromagnetyczny, słuchawka telefoniczna, Henryk Machalski, Julian Ochorowicz, przetwornik elektroakustyczny

Pierwsze konstrukcje mikrofonów wykorzystywały zjawisko zmiany (modulacji) oporności elektrycznej elementów włączonych do obwodu pod wpływem drgań membrany. Początkowo była to modulacja zero-jedynkowa polegająca na przerywaniu i zwieraniu obwodu elektrycznego, została ona następnie zastąpiona przez modulację analogową polegającą na mniej lub bardziej płynnych zmianach w ograniczonym zakresie oporności. W następnej kolejności powstały konstrukcje mikrofonów pracujących na zasadzie generowania siły elektromotorycznej indukcji w obwodzie, mikrofony pojemnościowe, mikrofony oparte na zjawisku piezoelektryczności<sup>1</sup> i (dominujące współcześnie) mikrofony

1 Piezoelektryczność jest zjawiskiem polegającym na zmianie wymiarów mechanicznych (a więc powstawaniu drgań mechanicznych) pod wpływem zmiennego pola elektrycznego oraz, w drugą stronę, na generacji pola elektrycznego pod wpływem nacisków mechanicznych. Pierwszy z przypadków znajduje zastosowanie w takich przetwornikach elektroakustycznych jak słuchawki, głośniki, brzęczyki, syreny oraz w filtrach na częstotliwości potocznie określane jako radiowe, a drugi w mikrofonach.

elektretowe. Pierwsze z nich można z kolei podzielić na mikrofony elektromagnetyczne posiadające membranę z materiału ferromagnetycznego i elektrodynamiczne z cewką umocowaną na membranie. Na podobne grupy pod względem wykorzystania zjawisk fizycznych dzielą się konstrukcje słuchawek, z tym że wśród nich nie występuje konstrukcja odpowiadająca mikrofonom węglowym. Słuchawki elektrodynamiczne rozpowszechniły się w okresie późniejszym niż przedstawiony w artykule.

W mikrofonie Philippa Reisa z 1861 r. drgania membrany powodowały przerywanie kontaktu elektrycznego między umieszczonym na niej paskiem platynowym i przymocowaną do podstawy, również platynową, elektrodą<sup>2</sup>. Powstające dzięki temu w obwodzie impulsy elektryczne przepływały przez cewkę słuchawki. Pole magnetyczne cewki powodowało z kolei magnetostrykcyjne drgania igły wykonanej z miękkiej magnetycznie stali – zwanej śpiewającą igłą – wytwarzającej w ten sposób fale dźwiękowe<sup>3</sup>. Zarówno mechanizm mikrofonu, jak i słuchawki były umieszczone na drewnianych obudowach rezonansowych. Słabą stroną mikrofonu Reisa było to, że praktycznie nie przekazywał on zmian natężenia dźwięku, a (powyżej progu czułości) jedynie częstotliwość docierającego tonu, która została zamieniana na częstotliwość impulsów elektrycznych powstających w wyniku przerywania i zamykania obwodu. Pozwalało to w pewnym stopniu na rozpoznawanie przez słuchacza utworów muzycznych, nie zapewniało jednak zrozumiałej reprodukcji głosu ludzkiego – do tego celu konieczny byłby kontakt o zmiennej oporności. Słuchanie muzyki za pomocą tego urządzenia (nazwanego już wówczas przez konstruktora telefonem<sup>4</sup>) nie było z pewnością ucztą dla ucha, ale technicznie możliwa była w ten sposób transmisja sygnałów telegraficznych – telegrafia akustyczna<sup>5</sup>. Wypadkowa sprawność energetyczna tego telefonu była niska. Udoskonalone w następnych latach aparaty Reisa dotarły również do Stanów Zjednoczonych, gdzie eksperymentował z nimi w 1875 r. Aleksander Graham Bell. Wcześniej, w 1865 r., zajmował się nimi w Wielkiej Brytanii także Dawid Hughes<sup>6</sup>. Na zasadzie przerywania obwodu elektrycznego pracował również mikrofon amerykańskiego konstruktora Elishy Graya z 1874 r., ale był on wyposażony w dodatkowy języczek drgający w rezonansie z odbieranym tonem lub w większą liczbę języczków. W słuchawce użyty był magnes o kształcie podkowy umieszczony na pudle rezonansowym. Zasada ta została wykorzystana przez Graya w jego telegrafii telefonicznej (akustycznej), pozwalającej na równoległe przesyłanie czterech lub więcej wiadomości.

Mikrofon węglowy został skonstruowany w 1877 r. przez Emila Berlinera i udoskonalony w roku następnym przez Davida Hughesa. Składał się on z trzech wałeczków węglowych umieszczonych na kształt litery H (Ryc. 1). Sztabka poprzeczna  $w_3$  miała zaostrome końce, które były włożone do wgłębień w elektrodach  $w_1$  i  $w_2$  (mogły to być zresztą brył-

2 Philip Reis (1834–1874) wykorzystał i ulepszył wcześniejszy pomysł francuskiego inspektora telegrafów Charlesa Bourseula z 1854 r.

3 Magnetostrykcja jest zjawiskiem polegającym na zmianie wymiarów mechanicznych (a więc powstawaniu drgań mechanicznych) pod wpływem zmiennego pola magnetycznego.

4 Według niektórych źródeł nazwę tę wprowadził w 1860 r. angielski fizyk Charles Wheatstone.

5 Telegrafia akustyczna, nad którą pracowało później kilku znanych wynalazców – Charles Bourseul, Thomas Edison, Elisha Gray, Aleksander Graham Bell – umożliwiała wielokrotne wykorzystanie linii telegraficznej do równoległej transmisji większej liczby wiadomości. Każdy z sygnałów telegraficznych był nadawany na innej częstotliwości dźwięku, a do ich rozdzielania po stronie odbiorczej służyły elementy rezonansowe, języczki, widełki kamertonowe itp.

6 David Edward Hughes (1831–1900) – brytyjsko-amerykański wynalazca w dziedzinach telegrafii i telefonii.

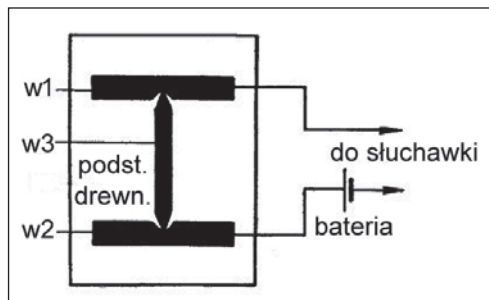
ki węgla o innych kształtach). Elementy stykały się ze sobą na tyle luźno, że oporność kontaktu między nimi ulegała zmianom w takt dźwięku docierającego do drewniej podstawy (zmian ciśnienia powietrza).

W konstrukcji mikrofonu Edisona z 1877 r. płytka węglowa znajdowała się między dwiema blachami metalowymi połączonymi z zaciskami baterii. Jedna z nich była membraną, dociskaną do sztabki węglowej pod wpływem fal dźwiękowych, co powodowało zmiany oporności elektrycznej mikrofonu. Czułość pierwszych mikrofonów opartych na większych elementach węglowych była jednak zbyt niska, aby mogły one znaleźć zastosowanie w praktyce. Istotnymi wadami były też kruchość stosowanych elementów węglowych i znaczny wpływ ich doboru na czułość mikrofonu, a więc znaczny rozrzut czułości pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami.

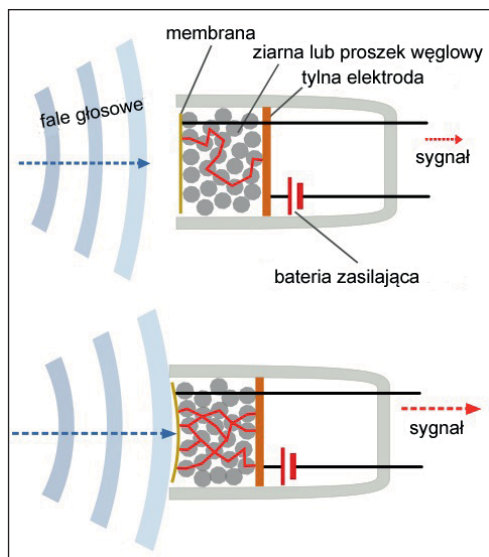
Na wynalazku Hughesa opierały się liczne odmiany węglowych mikrofonów wałeczkowych różniące się między sobą głównie liczbą, kształtem i rozmieszczeniem ruchomych bryłek węglowych składających się na element oporowy. Ulepszenia polegały na zwiększeniu liczby ruchomych elementów węglowych i na łączeniu ich równoległe, szeregowo lub w sposób kombinowany, co oprócz wzrostu czułości zwiększało również pewność działania mikrofonów.

W opatentowanym przez Edisona w 1878 r. mikrofonie węglowym pomiędzy stożkową elektrodą węglową umocowaną na membranie a stałą elektrodą węglową znajdował się pojemnik wypełniony ziarenkami węgla. Elektroda ruchoma naciskając na ziarenka w takt dźwięku, powodowała proporcjonalne zmiany jego oporności elektrycznej, a co za tym idzie wahania natężenia prądu płynącego w obwodzie. Ziaren węglowych zamiast sztabek węgla użył również w 1878 r. angielski konstruktor Henry Hunnings. Mikrofon Hunningsa został następnie ulepszony przez Bella. W 1878 r. uzyskiwano zasięgi telefoniczne rzędu kilkudziesięciu kilometrów.

Zastosowanie węgla w postaci ziarnistej, a następnie sproszkowanej pozwoliło na zmniejszenie rozrzutu czułości mikrofonów – czyli na zapewnienie jej większej powtarzalności.



Ryc. 1. Mikrofon węglowy Hughesa z 1878 r. Wałeczki węglowe w1, w2 i w3 są umieszczone na drewnianej podstawie. Źródło: bayern-online.com.



Ryc. 2. Zasada działania mikrofonu węglowego z ziarnistym lub sproszkowanym węglem. Źródło: Wikipedia.

W mikrofonie konstrukcji Henryka Machalskiego za tubką dźwiękową umieszczona była membrana z cienkiej blachy (z dowolnego metalu)<sup>7</sup>. Na środku membrany umocowana była elastyczna rurka gumowa (pojemniczek) zawierająca drobno sproszkowany grafit<sup>8</sup>. W górnej części rurki znajdował się metalowy korek o specjalnym kształcie, wciśnięty tak, aby rurka go obejmowała. Korek ten kontaktował elektrycznie ze sproszkowanym grafitem. Nacisk korka-elektrody na proszek był regulowany za pomocą śruby. Zapewniało to uzyskanie optymalnej konsystencji proszku dla danych warunków pracy. Prąd z baterii doprowadzony był z jednej strony do membrany poprzez sprężynkę kontaktującą z nią, a z drugiej – do opisanego metalowego korka. Drgania membrany pod wpływem fal dźwiękowych przenosiły się na proszek grafitowy powodując zmiany jego oporności elektrycznej – identycznie jak w każdym mikrofonie węglowym. Identycznie też mikrofon Machalskiego mógł być połączony ze słuchawkami elektromagnetycznymi. Mikrofon Machalskiego był wystawiony w 1883 r. na Międzynarodowych Targach Elektryczności w Wiedniu i spotkał się tam z uznaniem. Napięcie zasilania mikrofonu zależało od odległości między aparatami telefonicznymi. Jak podano w sprawozdaniu z targów dla odległości nie przekraczającej 10 km każdy z aparatów musiał posiadać 6 ogniw Leclanchego – co oznaczało, że napięcie zasilania wynosiło 9 V. Przy dostatecznym natężeniu prądu mikrofon Machalskiego zapewniał głośną i wyraźną transmisję mowy i, na dodatek, bez zniekształcania barwy dźwięku. Sprawozdanie z targów wiedeńskich donosiło o użyciu mikrofonu z dobrym skutkiem w rozmowie telefonicznej na trasie Lwów-Suczawa (375 km). Warunkiem tego miało być według autora sprawozdania<sup>9</sup> zapewnienie wystarczającego natężenia prądu w linii, ale nie podano w nim dalszych szczegółów technicznych związanych z tą łącznością. Być może chodziło tu o jakiś eksperyment przeprowadzony w szczególnych warunkach i mający zasadniczo udowodnić tylko możliwość uzyskania tak dalekich zasięgów (pozostałe informacje dotyczące mikrofonu Machalskiego mówią o wykorzystaniu go na krótszych dystansach)<sup>10</sup>.

- 7 Henryk Machalski (1835–1919) był w latach 1856–1870 zatrudniony jako inżynier kolejowy na linii Kraków-Wiedeń, a w latach 1870–1893 – na linii Lwów-Czerniowce-Jassy. W 1872 r. opatentował sposób (układ) równoległego łączenia akumulatorów zapewniający ich równomierne wyładowanie.
- 8 Grafit jest alotropową odmianą węgla, a więc mikrofon Machalskiego należy zaliczyć do mikrofonów węglowych. Grafit naturalny ma strukturę warstwową (z występującymi w nich sześciokątnymi układami cyklicznymi), natomiast grafit techniczny jest zlepkiem niewielkich monokryształów.
- 9 *Bericht über die internationale elektrische Ausstellung Wien 1883. Unter Mitwirkung hervorragender Fachmänner herausgegeben vom Niederösterreichischen Gewerbe-Vereine*, red. F. Klein, Wiedeń 1885.
- 10 Suczawa leży na odcinku na linii kolejowej z Czerniowców do Jassy, nie można więc całkowicie wykluczyć pomyłki lub błędnego zrozumienia informacji. Mogło w niej chodzić o sam fakt istnienia kolejowej łączności telefonicznej z wykorzystaniem mikrofonu Machalskiego również i na tym odcinku, nie musiało to jednak oznaczać bezpośredniej rozmowy na całej długości trasy. W łącznościach kolejowych ważniejsze było przekazywanie informacji o pociągach i sytuacji na trasie między kolejnymi stacjami, mogło więc chodzić o łączność etapową. Jeżeli jednak sprawozdanie *Bericht über die internationale elektrische Ausstellung Wien 1883* informuje prawidłowo o rozmowie przeprowadzonej na całej trasie to kluczowa dla wyjaśnienia wątpliwości technicznych może być informacja o konieczności zapewnienia dostatecznego natężenia prądu. W pętlach prądowych oporność linii i spadek napięcia na niej nie odgrywają roli pod warunkiem, że napięcie zasilające jest dostatecznie wysokie dla zapewnienia takiego natężenia prądu. Zgodnie z *Enzyklopädie des Eisenbahnwesens*, red. V. von Röhl, Wiedeń 1912–1921, na kolejowych liniach telegraficznych i telefonicznych instalowano w tym czasie najczęściej przewody żelazne o średnicach 4–5 mm, co przy oporności właściwej żelaza  $0,1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  daje wypadkowo dla linii dwuprzewodowej oporność  $160 \Omega$  dla odcinka 10 km i około  $6 \text{ k}\Omega$  dla odcinka 375 km. Przyjmując dowolnie, ale w oparciu o parametry późniejszych przetworników, oporność mikrofonu  $100 \Omega$  i słuchawki  $150 \Omega$ , otrzymujemy natężenie prądu w obwodzie około 20–22 mA. Dla zapewnienia takiego natężenia prądu na trasie 375 km konieczne byłoby napięcie zasilania 130–140 V, a więc uzyskiwane w wyniku szeregowego

W sprawozdaniu podkreślono również, że mikrofon ten rzadko wymagał regulacji, miał prostą i solidną konstrukcję i dzięki temu dobrze nadawał się do użytku na telefonicznych liniach kolejowych, nie wymagając przeszkolenia personelu. Mikrofony Machalskiego znalazły zastosowanie na linii Lwów-Czerniowce.

Mikrofon Machalskiego został opatentowany w 1879 r. (austriacki wniosek patentowy ma numer 1628), z tym że zgłoszenia patentowego na teren Rosji dokonał w Petersburgu brat Henryka, Maurycy, i czasami to on jest brany za autora wynalazku. Mikrofon ten był też prezentowany na Międzynarodowej Wystawie Elektryczności w Paryżu w 1881 r. i otrzymał tam srebrny medal. W 1881 r. Machalski transmitował za jego pomocą koncert z Żółkwi do Lwowa (na odległość około 30 km)<sup>11</sup>.

W tym samym sprawozdaniu z wiedeńskich targów<sup>12</sup> został przedstawiony („dziwny”, jak go nazwano w tekście) mikrofon Ochorowicza wykorzystujący opiłki żelazne. W mikrofonie tym pomiędzy membraną a biegunami magnesu znajdowały się opiłki żelazne układające się wzdłuż linii pola magnetycznego i tworzące ścieżki przewodzące prąd elektryczny. Membrana i magnes były połączone z biegunami baterii zasilającej. Ruch membrany pod wpływem fal dźwiękowych powodował zmiany położenia opiłków, a co za tym idzie wahania oporności ścieżek przewodzących. Mikrofon był, jak podano w sprawozdaniu, wystawiony na stoisku firmy Branville. Wśród innych prezentowanych rozwiązań wystawiany był także system Adera.

Z kolei z opisu termomikrofonu Ochorowicza zamieszczonego w lipcowym numerze „Przeglądu Technicznego” z 1885 r. wynika, że reagował on jednocześnie na ściskanie i wstrząsanie materiału węglowego, w odróżnieniu od konstrukcji wcześniejszych reagujących albo tylko na wstrząsanie luźno stykających się ze sobą elementów węglowych (konstrukcje Hughesa, Adera itd.), albo tylko na ściskanie granulek lub proszku węglowego (przykładowo w mikrofonie Machalskiego). Rozgrzewanie się materiału węglowego w dotychczasowych konstrukcjach mikrofonów pod wpływem przepływającego prądu elektrycznego powodowało konieczność regulacji docisku w celu utrzymania oporności w pożądanym zakresie. W termomikrofonie Ochorowicza miało ono powodować wzrost czułości i rozszerzenie zakresu temperatur, w których ponowna regulacja nie była konieczna. Średnia oporność elektryczna termomikrofonu wynosiła wg „Przeglądu Technicznego” 200  $\Omega$ , a przepływał przez niego prąd 18–20 mA. Oporność termomikrofonu miała wrastać przy wzroście temperatury, odwrotnie niż w przypadku pozostałych konstrukcji, gdzie następował jej spadek. Autor sprawozdania nie dysponował niestety żadnymi dalszymi informacjami na temat

połączenia jedenastu akumulatorów ołowianych. Ujemny wpływ wywierają wprawdzie upływności między przewodami linii, ale w przypadku linii napowietrznej występują one jedynie w miejscach podwieszenia przewodów oraz w instalacjach, z którymi jest połączona, a więc na stosunkowo nieznacznej części jej długości. Przy dostatecznym natężeniu prądu w linii wpływ prądów zakłócających, których źródłem są sprzężenia pojemnościowe, staje się pomijalnie mały, również sprzężenia indukcyjne nie wywierają negatywnego wpływu. Wpływ zakresu zmian oporności mikrofonu  $\Delta R$  na amplitudę prądu w linii maleje wprawdzie proporcjonalnie do wzrostu impedancji w obwodzie, ale maksymalna wartość  $\Delta R$  jest związana m.in. z mechaniczną konstrukcją mikrofonu (średnicą i amplitudą drgań membrany, grubością warstwy grafitu itp.) i może być – przynajmniej w pewnych granicach – dobrana przez konstruktora odpowiednio do zastosowań. Przeprowadzenia łączności głosowej na trasie o tej długości przy użyciu mikrofonu Machalskiego nie można więc chyba całkowicie wykluczyć.

11 Pierwsza telefoniczna transmisja koncertowa odbyła się w 1880 r. na trasie Zurych-Bazylea (ok. 80–85 km).

12 *Bericht über die internationale elektrische Ausstellung Wien 1883.*

termomikrofonu, poza tym że w Paryżu przeprowadzane były próby łączności telefonicznej z jego wykorzystaniem na odległość 18 km. Ochorowicz pracował również nad udoskonaleniami mikrofonu węglowego.

Konstrukcja mikrofonów węglowych (wkładek mikrofonowych) stosowanych w technice telefonicznej do lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia pochodzi z ostatnich lat XIX w. Zastosowano w nich sproszkowany antracyt. Jakość dźwięku mikrofonów węglowych była gorsza, aniżeli dla później opracowanych mikrofonów pracujących na innych zasadach fizycznych, ale ich zaletą była znaczna siła sygnału – zależna od napięcia źródła prądu. Zaleta ta była istotna zwłaszcza w czasach, kiedy nie istniały wzmacniacze elektroniczne. Przyspieszyło to w znaczący sposób rozwój telefonii w jej pionierskich latach.

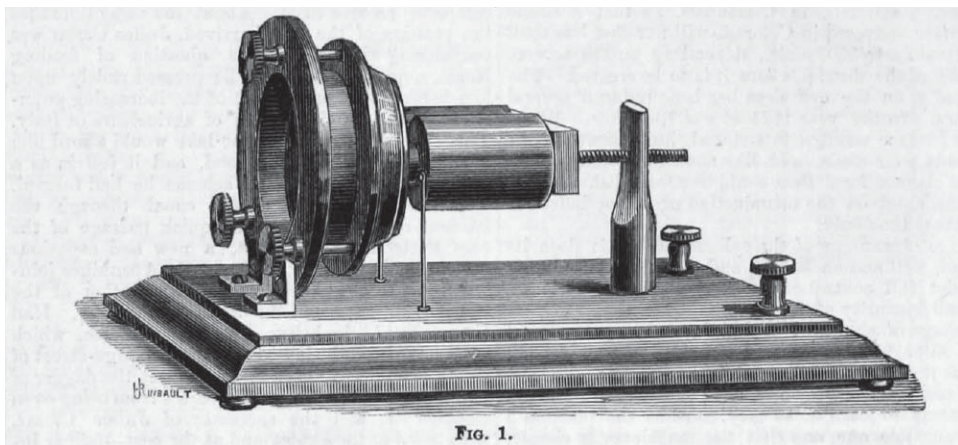
Drugą, równolegle stosowaną od czasów Bella, zasadą pracy mikrofonów i praktycznie od początku rozwoju telefonii zasadą pracy słuchawek jest technika elektromagnetyczna. W mikrofonie drgania membrany – umieszczonej w polu magnetycznym magnesu lub elektromagnesu – pod wpływem docierających do niej dźwięków powodują zmiany rozkładu linii sił pola magnetycznego i indukowanie prądu w znajdującej się w nim cewce. Cewka ta może być umieszczona na biegunach magnesu stałego, może być połączona mechanicznie z membraną (i poruszać się wraz z nią w polu magnetycznym czy pracować na zasadzie elektrodynamicznej) albo też może stanowić część elektromagnesu będącego źródłem pola magnetycznego.

W słuchawce z kolei prąd zmieniający się w takt sygnału dźwiękowego odebranego przez mikrofon powoduje zmiany siły magnetycznej przyciągającej membranę, co przetwarza się na jej drgania będące źródłem fal dźwiękowych w powietrzu. Również i w tym przypadku cewka umieszczona jest na magnesie stałym albo połączona mechanicznie z membraną. W przeciwieństwie do układów z mikrofonami węglowymi w konstrukcjach zawierających magnesy stałe niepotrzebne było źródło zasilania prądem stałym (bateria). Było ono jednak potrzebne w rozwiązaniach zawierających wyłącznie elektromagnesy.

Do najważniejszych różnic konstrukcyjnych dynamicznych słuchawek i mikrofonów należą kształt i wielkość magnesu, wymiary membrany, sposób umieszczenia cewki i konstrukcja elementów rezonansowych.

W mikrofonie Bella z 1876 r. (Ryc. 3) został użyty poziomo leżący elektromagnes oraz pionowa membrana, w środku której znajdował się kawałek miękkiego (magnetycznie) żelaza. Mikrofon nie posiadał jeszcze żadnego elementu rezonansowego, w późniejszych konstrukcjach została dodana tuba rezonansowa. Częstotliwość i natężenie zmiennego prądu płynącego w obwodzie zależały od przebiegu sygnału dźwiękowego. W historii mikrofonów dynamicznych nie występowały rozwiązania reagujące tylko na częstotliwość sygnału i nie rozróżniające zmian natężenia dźwięku, jak to było w konstrukcjach mikrofonów kontaktowych poprzedzających powstanie mikrofonu węglowego.

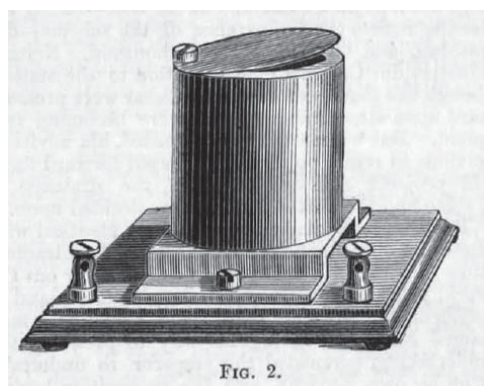
Słuchawka składała się ze stojącego pionowo elektromagnesu sztabkowego umieszczonego w rurze wykonanej z miękkiego magnetycznie żelaza zamykającej w swoim wnętrzu pole magnetyczne. U szczytu rury przymocowana była do niej w jednym punkcie okrągła membrana o grubości kartki papieru wykonana z żelaza. Drgała ona pod wpływem zmian pola magnetycznego zawartego w rurze wywołanych (dochodzącymi z mikrofonu)



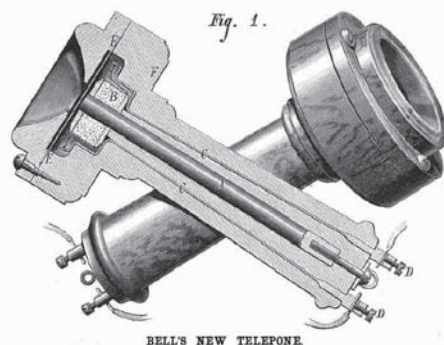
zmiennymi prądami płynącymi w cewce elektromagnesu. Rura żelazna stanowiła jednocześnie rezonator akustyczny.

W udoskonalonym rozwiązaniu z 1877 r. mikrofono-słuchawka miała drewnianą obudowę i mogła być trzymana w ręku (Ryc. 4). Wewnątrz niej znajdował się magnes sztabkowy z cewką nawiniętą na końcu bliższym żelaznej okrągłej membrany.

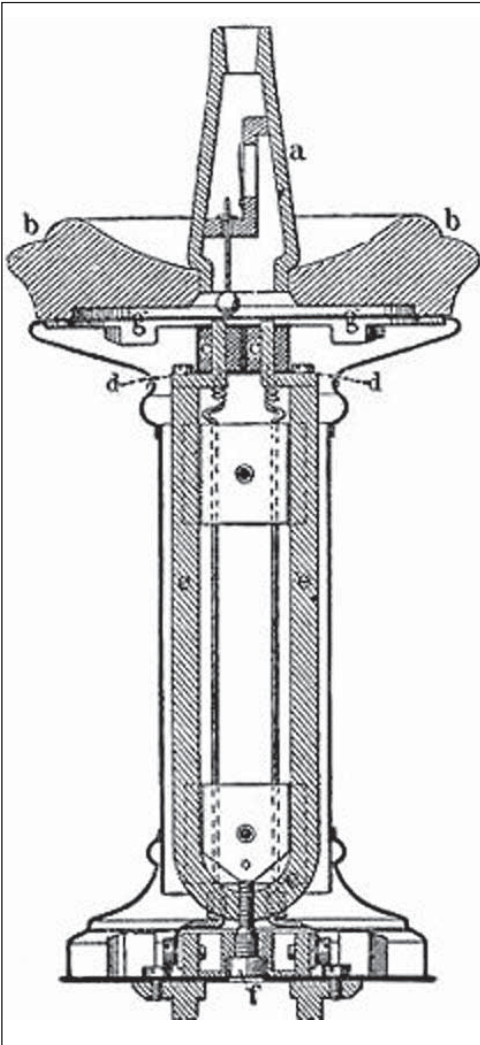
W telefonie udoskonalonym przez Wernera Siemens'a z 1877 r. zamiast magnesu sztabkowego stosowany był magnes w kształcie podkowy, na którego biegunach zakończonych nakładkami z miękkiego magnetycznie żelaza była umieszczona cewka indukcyjna (Ryc. 5). Membranę stanowiła okrągła blaszka żelazna. Urządzenie było używane na przemian jako mikrofon i słuchawka. Zastąpienie magnesu sztabkowego przez podkowiasty daje zwiększenie siły przyciągania membrany, a co za tym idzie – wzrost siły głosu. W następnych konstrukcjach cewka była przymocowana do lekkiej niemagnetycznej membrany. W 1878 r. Bell udoskonalił swoją wcześniejszą konstrukcję w podobny sposób. Seryjną produkcję telefonów tego rodzaju rozpoczęło założone w 1879 r. przedsiębiorstwo *Bell Telephone Co.*



Ryc. 3. Pierwsza konstrukcja telefonu Bella z 1876 r.: 1 – mikrofon, 2 – słuchawka. Źródło: „Engineering”, 1876.



Ryc. 4. Aparat telefoniczny Bella z 1877 r.: A – magnes sztabkowy, B – cewka, C – wyprowadzenia cewki, D – zaciski do połączenia z linią telefoniczną, – membrana z blach żelaznej, F – drewniana obudowa. Źródło: „Scientific American”, 1877.



Ryc. 5. Konstrukcja mikrofono-słuchawki Siemens: a – gwizdek przywoławczy, b – ustnik, c – cewka indukcyjna, d – bieguny magnesu, e – magnes w kształcie podkowy, f – śruba do regulacji odległości między magnesem a membraną, g – membrana żelazna. Źródło: bayern-online.com.

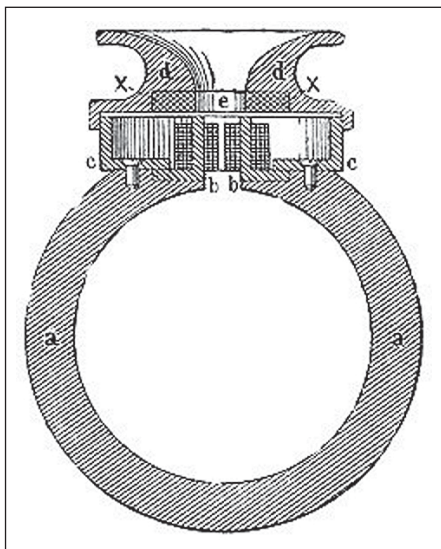
W słuchawce opracowanej przez francuskiego konstruktora Clémenta Adera<sup>13</sup> magnes miał kształt cylindra z podłużną szczeliną, po której obu stronach znajdowały się bieguny magnetyczne (Ryc. 6). Identycznie jak w poprzednich konstrukcjach cewka indukcyjna była umieszczona na jego biegunach. Konstrukcja zapewniała większą ruchliwość membrany, a przez to większą sprawność przetwarzania sygnałów elektrycznych na fale dźwiękowe i poprawę jakości dźwięku. Mikrofon węglowy wzorowany na konstrukcji Hughesa składał się z 10 wałeczków węglowych luźno umocowanych między poprzecznymi elektrodami (Ryc. 7). Były one połączone szeregowo w dwóch grupach składających się z 5 równoległych elementów. Mikrofon Adera zyskał sobie w tym czasie znaczną popularność w Europie, mimo stosunkowo niskiej sprawności.

Konstrukcja Adera została wykorzystana w uruchomionym w 1881 r. teatrofonie<sup>14</sup>. Teatrofon był systemem pozwalającym na odpłatne słuchanie przedstawień z opery i teatrów paryskich, a jego zasięg wynosił początkowo 2 do 3 kilometrów.

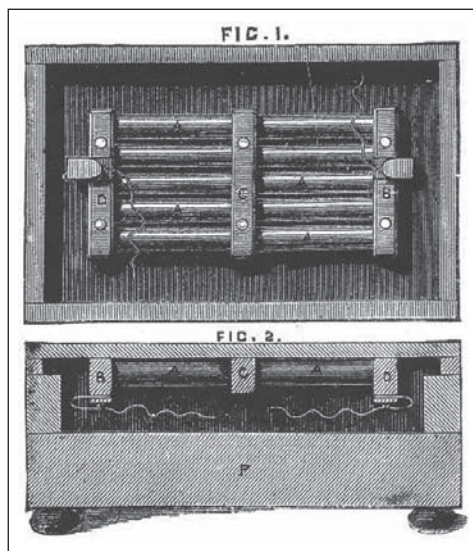
Wzrost siły głosu w czasach kiedy nie istniały jeszcze wzmacniacze elektroniczne można było uzyskać poprzez zwiększenie średnicy membran, stosowanie pudeł rezonansowych i tub akustycznych.

- 13 Clément Ader (1841–1925) był francuskim wynalazcą, konstruktorem słuchawek i mikrofonów telefonicznych, pomysłodawcą teatrofonu oraz pionierem lotnictwa. Wprowadził do języka francuskiego słowo *avion* („samolot”).
- 14 Dźwięk był transmitowany stereofonicznie – słuchawki lewa i prawa były połączone odpowiednio z mikrofonami znajdującymi się po lewej i prawej stronie sceny. Teatrofon został zaprezentowany na Międzynarodowej Wystawie Elektrycznej w Paryżu w 1881 r. Podobny system uruchomiono w Berlinie rok później, a potem w kilku innych miastach niemieckich. W czasie Międzynarodowej Wystawy Elektrycznej w Wiedniu w 1883 r. transmitowane były przedstawienia z opery wiedeńskiej. W 1890 r. powstała we Francji spółka *Compagnie du Théâtrophone*. W końcu XIX w. i na początku XX w. teatrofon rozpowszechnił się w wielu krajach europejskich pod różnymi nazwami (Electrophone, Araldo Telefonico, Telefon Hírmondó) i ostatecznie został wyparty dopiero przez radiofonie i film dźwiękowy. Stopniowo oprócz transmisji operowych, koncertowych i teatralnych program – w różnym zakresie w poszczególnych krajach – wzbogacał się o wiadomości, notowania giełdowe, lekturę książek, lekcje języków obcych, transmisje nabożeństw, sygnały czasu, kąciki porad, reklamy itp.





Ryc. 6. Mikrofono-słuchawka Adera: a – magnes podkowiasty w kształcie cylindra, b – cewki indukcyjne, c – obudowa cewek, d – muszla, e – membrana metalowa. Źródło: bayern-online.com.

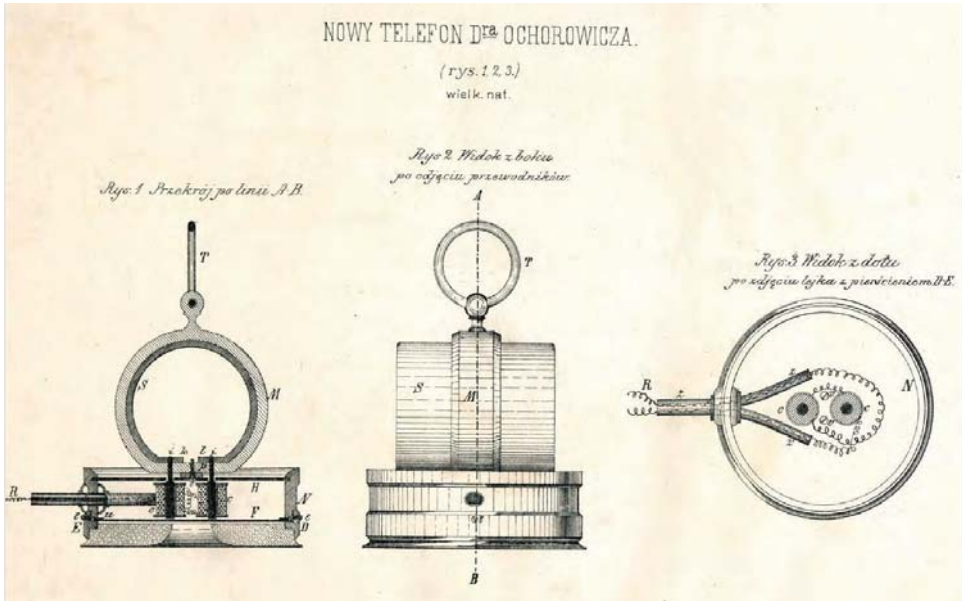


Ryc. 7. Mikrofon Adera zawierał 10 wałeczków węglowych połączonych równolegle w grupy po pięć. Grupy te były połączone ze sobą szeregowo.

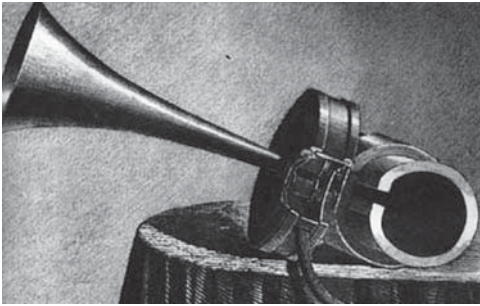
Julian Ochorowicz<sup>15</sup> w swojej konstrukcji telefonu z 1885 r. zastosował silny magnes podkowiasty o kształcie cylindra z podłużną szczeliną, której brzegi stanowiły bieguny magnesu, a więc podobnie jak w rozwiązaniu Adera (Ryc. 8 i 9). Bieguny magnesu były zakończone elementami z miękkiego magnetycznie żelaza. Na nich umieszczone były cewki nawinięte przewodem miedzianym. Oporności uzwojeń wynosiły 30  $\Omega$ , a cewki były połączone szeregowo, ale w przeciwfazie. Cewki były osłonięte mosiężną obudową, której dolną i górną ściankę stanowiły blaszki żelazne o grubościach 1 i 0,3 mm pełniące rolę membran. W odróżnieniu od dotychczasowych konstrukcji Ochorowicz zastosował dwie membrany. Cieńsza z nich znajdowała się od strony wykonanej z kuczuku muszli. Dzięki zastosowaniu zespołu dwumembranowego Ochorowicz uzyskał znaczący wzrost siły głosu. Dodatkowo dźwięk był wzmacniany przez obudowę rezonansową i rezonans wnętrza walca-magnesu. Urządzenie pracowało zarówno jako mikrofon, jak i jako słuchawka, nazywane w opisie odpowiednio *przesyłaczem* i *odbieraczem*. W opisie podano, że w obwód mikrofonu było włączonych 10 ogniw Callauda<sup>16</sup>, natomiast cewka była z niego wyłączana-

15 Julian Ochorowicz (1850–1917), ps. Julian Mohort, pionier psychologii doświadczalnej i klinicznej w Polsce, pionier hipnozy i parapsychologii, filozof, literat i publicysta. W dziedzinie techniki zasłużył się konstrukcją głośnomówiącego telefonu i sformułowaniem teoretycznych zasad działania telewizji (1878 r.). W Paryżu przebywał w latach 1882–1892. Aparaty systemu Ochorowicza produkowano we Francji na skalę handlową, a w Warszawie produkowała je z części importowanych z Francji firma Abakanowicz i Ska. Ochorowicz był również konstruktorem przyrządów do pomiaru bardzo słabych prądów. Posługiwał się nimi we własnych badaniach i doświadczeniach.

16 Cynkowo-miedziowe ogniwo Callauda miało siłę elektromotoryczną ok. 1,10 V. Elektrody były zanurzone w dwóch różnych elektrolitach: roztworze siarczynu miedzi i zakwaszonej wodzie. Konstrukcja ogniwa jest zbliżona do ogniwa Daniella. Miedź stanowiła elektrodę dodatnią, a cynk – ujemną.



Ryc. 8. Mikrofon Juliana Ochowicza. Na biegunach k, l magnesu S znajdują się końcówki i wykonane z miękkiego żelaza, a na nie były nałożone cewki c. Obudowa N, w której są zamknięte cewki posiada po dwóch stronach membrany H i F. Na pierścieniu DE służącym do umocowania membrany F umieszczona jest kauczukowa muszla słuchawki. Źródło: „Przegląd Techniczny”, 1885.



Ryc. 9. Zdjęcie telefonu Ochowicza. Źródło: Internet.

na. Mogłoby to oznaczać, że mikrofon pracował na zasadzie przetwornika pojemnościowego<sup>17</sup>. Opis działania mikrofonu w „Przeglądzie Technicznym” z 1885 r. nie jest niestety konsekwentny, gdyż w jego dalszej części podano, że mikrofon pracuje na zasadzie elektrodynamicznej z wykorzystaniem cewek, co wydaje się bardziej prawdopodobne.

Oryginalność rozwiązania Ochowicza polegała na silnym i lekkim magnesie, na zastosowaniu dwóch membran

oraz na ruchomości rezonatora N zawieszono na magnesie S tylko na środku membrany H. Ze względu na rezonanse własne konstrukcji barwa przenoszonego dźwięku (zwana w opisie „barwnością”) ulegała zmianom. Czulość mikrofonu Ochowicza pozwalała, wg Hołowińskiego, na mówienie do niego nawet z odległości kilku metrów. Mikrofony Ochowicza były użyte doświadczalnie do transmisji przedstawień operowych w Paryżu, a aparaty Ochowicza pozwalały na zbiorowe słuchanie tych transmisji.

<sup>17</sup> Zasada pracy przetwornika pojemnościowego została odkryta w 1877 r. i eksperymentalnie wypróbowana przez Amosa Emersona Dolbeara (1837–1910) – prof. fizyki i astronomii z Bostonu – w 1881 r. Dojrzałe do praktycznego użycia konstrukcje mikrofonów pojemnościowych powstały około 40 lat później.

Z opisu zamieszczonego w numerze lipcowym „Przeglądu Technicznego” z 1885 r. wynika, że telefon Ochorowicza działał równie dobrze jak siemensowski, ale był od niego lżejszy. Zgodnie z opisem mikrofon nie wymagał skomplikowanych regulacji i mógł pracować niezawodnie przez dłuższy czas.

W 1885 r. Ochorowicz uzyskał francuski patent na *Un système téléphonique reproduisant la parole à voix haute* (System telefoniczny głośno odtwarzający mowę). Aparaty systemu Ochorowicza znalazły zastosowanie we Francji (gdzie były używane do 1905 r.), w Belgii, Rosji i w Polsce na terenie zaboru rosyjskiego.

## Bibliografia

bayern-online.com [dostęp 25.05.2019].

*Bell's Articulating Telephone*, „Engineering”, 22 XII 1876, s. 518.

*Bericht über die internationale elektrische Ausstellung Wien 1883. Unter Mitwirkung hervorragender Fachmänner herausgegeben vom Niederösterreichischen Gewerbe-Verein*, red. F. Klein, Wiedeń 1885.

*Enzyklopädie des Eisenbahnwesens*, red. V. von Röhl, Wiedeń 1912–1921.

*Erfindung des Telefons*, de.wikipedia.org/wiki/Erfindung\_des\_Telefons [dostęp 25.05.2019].

Hołowiński A., *Nowy telefon dr J. Ochorowicza*, „Przegląd Techniczny” t. 22, lipiec 1885, s. 19.

Hutt H., *Von Wunsche Fernzusprechen bis zur Fernsprechzentrale. Das Telephon*, t. 1, 1989.

Wajdowicz R., *Julian Ochorowicz jako prekursor telewizji i wynalazca w dziedzinie telefonii*, Wrocław 1964, rec. W. Jewsienicki, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” t. 10, 1965, nr 3, s. 412–417.

Wajdowicz R., *Maszyny mówiące*, Warszawa 1966.

Wajdowicz R., *Polskie osiągnięcia techniczne z dziedziny utrwalania i odtwarzania dźwięku do roku 1939*, Wrocław 1962.

Wajdowicz R., *Zarys rozwoju techniki dźwiękowej do początków powstania kinematografii*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” t. 4, 1959, nr 3, s. 495–520.

Walczewska M., *Zapomniany lwowski wynalazca*, cracovia-leopolis.pl [dostęp 25.05.2019].  
*The new Bell telephone*, „Scientific American” t. 37, nr 14, s. 207, 212.

**Krzysztof Dąbrowski** jest absolwentem kierunku Radiotechnika i Telewizja na Politechnice Warszawskiej. Mieszka i pracuje w Austrii. Jego głównymi dziedzinami zainteresowań są krótkofalarstwo i historia polskiej techniki. Jest autorem wielu publikacji technicznych dla polskich krótkofalowców oraz publikacji i odczytów na tematy historii polskiej techniki. Jest członkiem Austriackiego Związku Krótkofalowców i Stowarzyszenia Polskich Inżynierów i Techników w Austrii.

e-mail: krzysztof.dabrowski@aon.at

Data zgłoszenia artykułu: 17 sierpnia 2018

Data przyjęcia do druku: 25 maja 2019