

UNIwersytet Muzyczny Fryderyka Chopina
Dziedzina sztuki, dyscyplina artystyczna: sztuki muzyczne

Andrzej Rewak

**Fonograficzna postać musicalu „Pora jeziora” Tomasza Szymusia
jako egzemplifikacja procesu kreacji nagrania
opartego na specyficznym i celowym doborze użytych mikrofonów**

Opis dzieła artystycznego

Praca doktorska
napisana pod kierunkiem
prof. dr. hab. Krzysztofa Kuraskiewicza

Warszawa 2023

Spis treści

Spis treści	2
Wstęp.....	4
1. Cel pracy.....	4
1.1. Opis musicalu „Pora jeziora. Warmińska opowieść wigilijna”	5
1.2. Opis studia nagrań.....	5
2. Wybór mikrofonów i jego wpływ na efekt końcowy dzieła.....	6
2.1. Mikrofony pojemnościowe.....	6
2.1.1. Mikrofony pojemnościowe firmy Neumann	7
2.1.2. Mikrofony pojemnościowe firmy AKG	9
2.1.3. Mikrofony pojemnościowe firmy Schoeps	11
2.1.4. Mikrofony pojemnościowe firmy Sony Professional.....	12
2.1.5. Mikrofony pojemnościowe firmy Microtech Gefell	13
2.2. Mikrofony dynamiczne	15
2.2.1. Mikrofony dynamiczne z ruchomą cewką	15
2.2.2 Mikrofony dynamiczne z ruchomą wstęgą.....	16
2.2.2.1. Zasada działania mikrofonów dynamicznych wstęgowych	16
2.2.2.2. Poziom sygnału wytwarzany przez dynamiczne mikrofony wstęgowe	18
2.2.2.3. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy RCA	18
2.2.2.4. Mikrofon dynamiczny wstęgowy firmy STC/Coles 4038.....	19
2.2.2.5. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy Beyerdynamic	20
2.2.2.6. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy Royer.....	20
2.2.2.7. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy AEA.....	21
2.2.2.8. Innowacyjne rozwiązania techniczne innych firm	21
3. Rejestracja grup instrumentów musicalu „Pora jeziora”	22
3.1. Opis parametrów technicznych sesji nagraniowej.....	22
3.2. Wybór mikrofonów użytych podczas rejestracji	22
3.3. Rejestracja sekcji rytmicznej.....	23
3.3.1. Bęben basowy – Beyerdynamic M320.....	23
3.3.2. Werbel – Beyerdynamic M130.....	24
3.3.3. Tom-tomy – Melodium RM6	25
3.3.4. Hi-hat – RCA77DX.....	25
3.3.5. Overheady – Beyerdynamic M160 – para stereofoniczna AB	27
3.3.6. Mikrofony ambientowe – AEA A440 – para stereofoniczna AB	27
3.3.7. Dodatkowy mikrofon ambientowy.....	27

3.3.8. Korekcja ustawienia mikrofonów.....	28
3.4. Rejestracja sekcji instrumentów smyczkowych.....	30
3.5. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych.....	31
3.6. Rejestracja sekcji dętych blaszanych.....	33
3.7. Rejestracja wokalistów.....	34
3.8. Rejestracja chóru.....	35
4. Zgranie musicalu „Pora jeziora”.....	37
4.1. Zgranie sekcji rytmicznej.....	38
4.2. Zgranie sekcji instrumentów smyczkowych.....	40
4.3. Zgranie sekcji instrumentów dętych drewnianych.....	41
4.4. Zgranie sekcji instrumentów dętych blaszanych.....	42
4.5. Zgranie wokali solowych.....	43
4.6. Zgranie chóru.....	44
4.7. Zgranie wszystkich sekcji dzieła.....	45
4.8. Mastering zgranego materiału.....	46
5. Test odsłuchowy.....	47
6. Wybór zestawu mikrofonowego jako środek kreacji brzmienia.....	52
6.1 Specyficzny dobór mikrofonów użytych podczas realizacji dzieła.....	52
6.2 Porównanie walorów brzmieniowych mikrofonów dynamicznych wstęgowych, dynamicznymi cewkowymi i pojemnościowymi.....	53
6.3 Zastosowanie mikrofonów dynamicznych wstęgowych do nagrań muzyki klasycznej.....	54
6.4 Subiektywne wrażenia autora podczas pracy z mikrofonami dynamicznymi wstęgowymi.....	54
7. Podsumowanie.....	55
Załącznik 1. Opis mikrofonów użytych w procesie rejestracji musicalu.....	56
Załącznik 2. Wyposażenie studia nagrań.....	64
Spis rysunków.....	65
Spis fotografii.....	67
Spis tabel.....	69
Bibliografia.....	70
Opis załączonych płyt CD Audio:.....	71

Wstęp

Mam do mikrofonów stosunek szczególny. Są dla mnie istotami żywymi. Rozpoczynają podróż, zmieniają świat dźwięków w medium, które budzi zupełnie nowe emocje, prowokuje do dyskusji, jest przedmiotem studiów uniwersyteckich.

Ich wybór może być doskonały, właściwy, bezpieczny, rutynowy, ryzykowny, nietrafiony, ale zawsze mój własny.

Są wśród nich te niegdyś najważniejsze, do lat pięćdziesiątych XX wieku dominujące w studiach fonograficznych... Najdelikatniejsze i najcichsze – mikrofony dynamiczne wstęgowe. Zapraszam je wszystkie. Te najstarsze i te błyszczące nowością.

Niniejsza dysertacja stanowi analizę przebiegu poszczególnych etapów procesu kreacji dzieła, które zostało stworzone przy pomocy wyłącznie mikrofonów dynamicznych wstęgowych. Opisuje, na podstawie kreacji fonograficznej postaci musicalu „Pora Jeziora”, jaki wpływ ma wybór tego rodzaju mikrofonów na możliwość osiągnięcia określonego celu estetycznego. Rozprawa uzupełniona jest informacjami na temat historii, budowy i zasady działania użytych rodzajów mikrofonów, a także testem odsłuchowym porównującym brzmienie nagrań dokonanych przy użyciu różnych rodzajów mikrofonów i ich ocenę przez grupę profesjonalnych słuchaczy. Pozwala ocenić możliwości użycia tego rodzaju mikrofonów do nagrań sekcji instrumentów orkiestry symfonicznej i głosów ludzkich.

1. Cel pracy

Kreacja nagrania to sposób, w jaki twórca wykorzystuje elementy swojego warsztatu, aby pokazać wrażliwość, kreatywność i indywidualność. Jego zrozumienie jest niezbędne do prawidłowego odczytania intencji artysty – reżysera dźwięku.

Egzemplifikacja to wyjaśnianie za pomocą przykładów. W przypadku kreacji egzemplifikacja polega na zobrazowaniu konkretnego jej elementu, ułatwiającym zrozumienie czynności związanych z procesem twórczym.

Analizowanym środkiem kreacji jest wybór mikrofonów. Został on dokonany przed rozpoczęciem pracy. Podjęto decyzję, że wszystkie elementy dzieła zostaną stworzone poprzez wykorzystanie wyłącznie mikrofonów dynamicznych wstęgowych.

Równocześnie powstała realizacja tego samego nagrania dokonana przy zastosowaniu innego rodzaju mikrofonów. Użyto w niej wyłącznie mikrofonów pojemnościowych i dynamicznych cewkowych. Porównanie dokonanego wyboru mikrofonów i pytanie o wpływ pierwszego wyboru na artystyczny wyraz fonogramu jest celem tej pracy.

1.1. Opis musicalu „Pora jeziora. Warmińska opowieść wigilijna”

Musical „*Pora jeziora. Warmińska opowieść wigilijna*” jest widowiskiem, którego libretto oparto na lokalnych legendach Warmii. Spektakl w reżyserii Jerzego Jana Polońskiego *miał premierę 4 grudnia 2021 roku w Filharmonii Warmińsko-Mazurskiej*¹. Kompozytorem muzyki jest Tomasz Szymuś², autorem libretta Ałbena Grabowska³, a autorem tekstów piosenek Daniel Wyszogrodzki⁴. Całość obejmuje 14 piosenek i trzy utwory instrumentalne. Zespół wykonawczy składa się ze śpiewających aktorów-solistów, chóru, baletu oraz orkiestry symfonicznej. Musical jest wykonywany na scenie Filharmonii Warmińsko-Mazurskiej i gościnnie w innych miastach w Polsce.



Fot. 1. Musical „Pora Jeziora” (<https://filharmonia.olsztyn.pl>)

1.2. Opis studia nagrań

„Studio Andrzej Rewak” jest studiem nagrań muzycznych, zlokalizowanym na warszawskim Ursynowie. Dysponuje czterema niezależnymi pomieszczeniami, z których największe ma powierzchnię 59 m kw., wysokość 4,7 m kw. i reżyserką o powierzchni 22 m kw. Jest przygotowane do nagrań małych orkiestr kameralnych, zespołów jazzowych, chórów, zespołów rockowych i popowych. Opis wyposażenia studia znajduje się w Załączniku 2.

¹ Filharmonia Warmińsko-Mazurska w Olsztynie im. Feliksa Nowowiejskiego.

² Tomasz Szymuś – ur. w 1976 roku. Polski kompozytor, aranżer i muzyk, oraz wykładowca akademicki. Absolwent Wydziału Jazzu i Muzyki Rozrywkowej Akademii Muzycznej w Katowicach. Współpracuje z najwybitniejszymi polskimi wykonawcami muzyki rozrywkowej.

³ Ałbena Grabowska – ur. w 1971 roku. Polska pisarka, scenarzystka filmowa, a także lekarka neurologa i epileptolożka. Wydała ponad 20 książek.

⁴ Daniel Wyszogrodzki – ur. w 1960 roku. Polski autor, tłumacz i dziennikarz muzyczny. Jest wykładowcą akademickim. Współpracował między innymi z Teatrem Roma, Teatrem Muzycznym w Gdyni, Teatrem Rozrywkowym w Chorzowie, Teatrem Wielkim w Poznaniu, Operą Podlaską.

2. Wybór mikrofonów i jego wpływ na efekt końcowy dzieła

W praktyce studyjnej do nagrań muzycznych używane są głównie dwa typy mikrofonów. Są to mikrofony pojemnościowe i mikrofony dynamiczne cewkowe. Znacznie rzadziej spotykane są mikrofony dynamiczne wstęgowe.

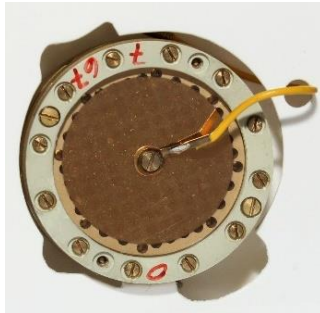
2.1. Mikrofony pojemnościowe

Jako pierwszy został skonstruowany mikrofon pojemnościowy. Opatentował go w 1916 roku E.C. Wentę⁵ dla firmy Western Electric. Nazwa sugeruje wykorzystanie elementu o zmiennej pojemności – pojemnościowej kapsuły mikrofonowej. Zmiana jej pojemności, zależna od drgań powietrza wywołanych dźwiękiem, jest źródłem sygnału elektrycznego.

W praktyce kapsuła mikrofonu jest kondensatorem złożonym z jednej strony z drgającą pod wpływem fali akustycznej membrany, a z drugiej z nieruchomej metalowej płytki z nawierconymi otworami.



Fot. 4. Edward Christopher „EC” Wente
(www.svconline.com)



Fot. 3. Kapsuła pojemnościowa z mylaru
(<https://repforums.prosoundweb.com>)



Fot. 2. Kapsuła pojemnościowa z folii tytanowej (<http://recordinghacks.com>)

Kapsuła jest spolaryzowana napięciem stałym. Wartość tego napięcia ma znaczenie dla brzmienia mikrofonu. Jego podwyższenie powoduje wzrost sygnału, ale i większą sztywność membrany. Dźwięk staje się twardszy. Obecnie większość kapsuł profesjonalnych mikrofonów pojemnościowych jest polaryzowana napięciem około 60V⁶. Ponieważ do zasilania mikrofonów używa się systemu fantom⁷ 48V, wewnątrz mikrofonu znajduje się przetwornica DC/DC podwyższająca napięcie do 60V.

⁵ Patent nr U.S. 1,333,744 „Telephone Transmitter” zgłoszony 20 grudnia 1916 roku.

⁶ W kapsułach pomiarowych stosuje się napięcie polaryzacji 200V. Membrany tych kapsuł wykonane są z metalu, przeważnie niklu. Niektóre mikrofony studyjne wykorzystują takie kapsuły.

⁷ Mikrofony pojemnościowe wymagają dostarczenia napięcia stałego potrzebnego do polaryzacji kapsuły mikrofonowej i zasilania umieszczonych wewnątrz obudowy mikrofonu układów elektronicznych.

Od lat siedemdziesiątych XX wieku powszechnie stosuje się system fantom 48V polegający na podaniu napięcia zasilania tym samym przewodem, którym przesyłany jest sygnał audio. Napięcie 48V dołączone jest przez rezystory 6,8 k Ω do pinów numer 2 i 3 gniazda XLR wejścia wzmacniacza mikrofonowego. Maksymalny prąd dostarczany przez system fantom 48V nie przekracza 10 miliamperów, co jest wystarczające do zasilania mikrofonów tranzystorowych.

W mikrofonie pojemnościowym elementem drgającym jest membrana. Wykonuje się ją z folii z PCV lub mylaru⁸, pokrytej cienką warstwą złota. Może być również w całości wykonana z metalu, na przykład z tytanu lub niklu. Membrana ma bardzo małą masę, co jest istotne dla precyzyjnego odwzorowania transjentów.

Kapsuła pojemnościowa zapewnia liniową charakterystykę częstotliwościową sięgającą znacznie powyżej pasma akustycznego. Nie ulega zniszczeniu pod wpływem bardzo dużego poziomu dźwięku czy podmuchów powietrza. Możliwa jest budowa kapsuł o różnych charakterystykach kierunkowych.

2.1.1. Mikrofony pojemnościowe firmy Neumann

Firma Neumann odegrała kluczową rolę w rozwoju mikrofonów pojemnościowych. Została założona przez Georga Neumanna w 1928 roku. Po kilkunastu miesiącach działalności opracowała mikrofon Telefunken CMV3, znany jako „Neumann bottle”. Jego jakość jest porównywalna z najlepszymi obecnie produkowanymi konstrukcjami. W 1932 roku powstała kardiodalna kapsuła pojemnościowa M7. Kapsuła ta jest produkowana do dzisiaj.



Fot. 7. Georg Neumann
(www.neumann.com)



Fot. 6. Mikrofon pojemnościowy
Telefunken CMV3
(www.neumann.com)



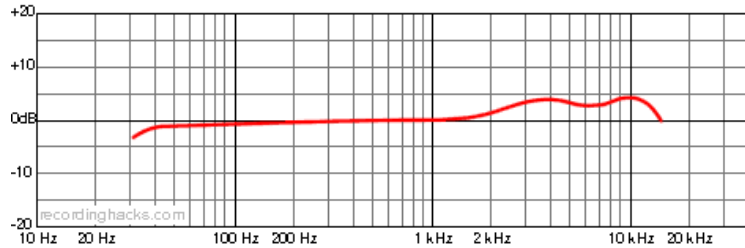
Fot. 5. Kapsuła pojemnościowa Neumann
M7 (www.drefahaudio.com)

⁸ Początkowo do wykonania membrany mikrofonu pojemnościowego używano folii wykonanej z PCV, którą pokrywano bardzo cienką warstwą złota. Od połowy lat sześćdziesiątych zaczęto używać trwalszej folii z mylaru.

W 1949 roku rozpoczęto produkcję mikrofonu U47⁹. Jest on uważany za jedną z najwybitniejszych konstrukcji szerokomembranowego¹⁰ mikrofonu pojemnościowego produkowanego seryjnie.



Fot. 8. Neumann U47 wyprodukowany dla firmy Telefunken (www.recordinghacks.com)

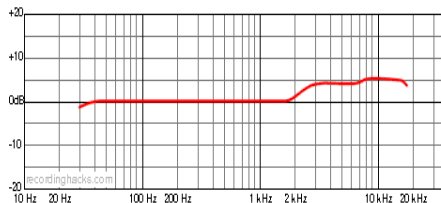


Rys. 1. Charakterystyka częstotliwościowa (kardioidalna) mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com)

W latach 1951–1971 Neumann produkował małowmembranowy¹¹ mikrofon lampowy M50, przeznaczony do nagrań muzyki poważnej. Aby skompensować utratę wysokich częstotliwości podczas pracy w dużej odległości od źródła dźwięku, skonstruowano filtr akustyczny w postaci plastikowego pierścienia umieszczonego wokół kapsuły. Mikrofon M50 uważany jest za najdoskonalsze narzędzie do nagrywania muzyki poważnej¹².



Fot. 10. Mikrofon Neumann M50 (www.recordinghacks.com)



Rys. 2. Charakterystyka częstotliwościowa (kardioidalna) mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com)



Fot. 9. Mikrofon Neumann M50 wewnątrz (www.recordinghacks.com)

⁹ U47 – mikrofon produkowany w latach 1949–1965. Do 1950 roku pod nazwą Telefunken, a następnie Neumann. Początkowo używano kapsuły M7, a od 1958 roku kapsuły KK47. W mikrofonie zastosowano metalową lampę elektronową Telefunken VF14.

¹⁰ Mikrofon pojemnościowy szerokomembranowy to taki, którego membrana ma średnicę większą od 1 cala.

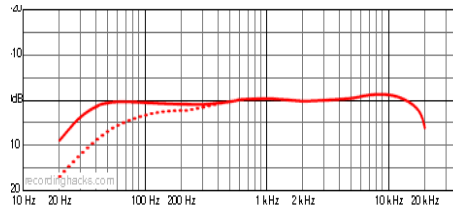
¹¹ Kapsuła pojemnościowa jest określana jako małowmembranowa, jeżeli średnica membrany jest mniejsza od jednego cala. Mikrofon z taką kapsułą określa się jako małowmembranowy.

¹² W londyńskim studio A w kompleksie Abbey Road, znajduje się 11 sztuk mikrofonów Neumann M50. Używa się ich jako obowiązkowy zestaw mikrofonowy podczas nagrywania orkiestry symfonicznej.

Do 1975 roku wszystkie części mikrofonów były produkowane ręcznie. Rygorystyczne normy jakości firmy Neumann powodowały niezwykle duży procent odrzutów. Dla mikrofonów M50 dochodziły one nawet do 80%. W kolejnych latach wprowadzano do produkcji między innymi: M49, U67¹³, U47-FET, U87¹⁴ oraz wiele innych konstrukcji. Niektóre z nich są wytwarzane do dzisiaj.



Fot. 11. Mikrofon pojemnościowy Neumann U67 (www.recordinghacks.com)



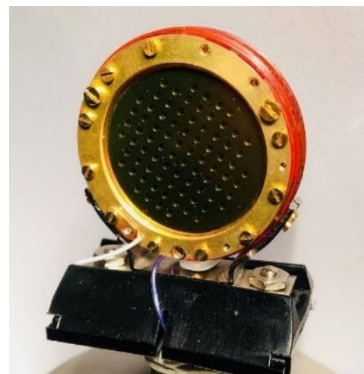
Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U67 (kardioidalna). Fragment wykropkowany pokazuje charakterystykę z włączonym filtrem górnoprzepustowym (www.recordinghacks.com)

2.1.2. Mikrofony pojemnościowe firmy AKG

W 1954 roku została opatentowana kapsuła CK12 opracowana przez Konrada Wolfa dla firmy AKG z Wiednia. Była to najbardziej zaawansowana technicznie i najdroższa w produkcji kapsuła pojemnościowa. Skonstruowane z jej użyciem mikrofony AKG C12, Telefunken ELA M250 i M251¹⁵ uważane są za konstrukcje doskonałe. Zwłaszcza Telefunken ELA M251 osiąga najwyższe ceny sprzedaży wśród mikrofonów pojemnościowych.



Fot. 13. Mikrofon pojemnościowy AKG C12 (www.racknrollaudio.com)

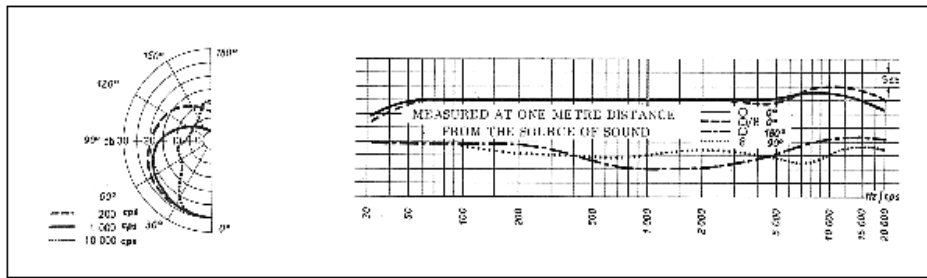


Fot. 12. Kapsuła pojemnościowa AKG CK12 (www.austrian.audio)

¹³ U67 był następcą U47. Produkowany od 1960 roku. Wykorzystywał lampę Telefunken AC701 lub EF806S. W 2018 roku firma Neumann rozpoczęła ponownie produkcję tego mikrofonu pod nazwą U67 set.

¹⁴ Neumann U87 jest produkowany nieprzerwanie od 1967 roku do dzisiaj. Jest prawdopodobnie najbardziej rozpoznawalnym mikrofonem studyjnym na świecie. Zewnętrznie identyczny jak U67, jest jednak mikrofonem tranzystorowym wykorzystującym tranzystor FET zamiast lampy elektronowej.

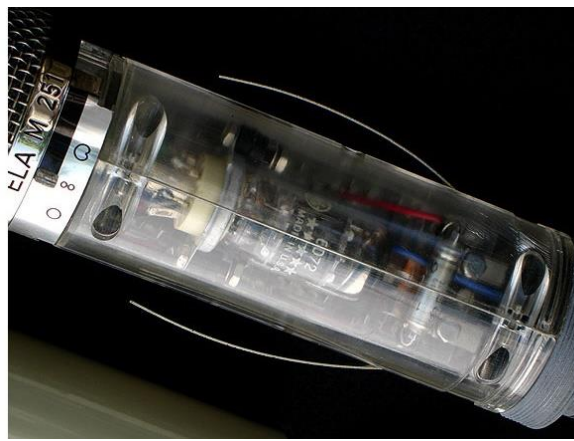
¹⁵ Mikrofony ELA M250/251 były produkowane od 1957 roku przez firmę AKG dla Telefunkena. Nie posiadały kondensatora separującego kapsułę mikrofonową od siatki lampy elektronowej w wyniku zmiany sposobu zasilania kapsuły. Wykorzystywały lampę Telefunken AC701 lub RCA 6072.



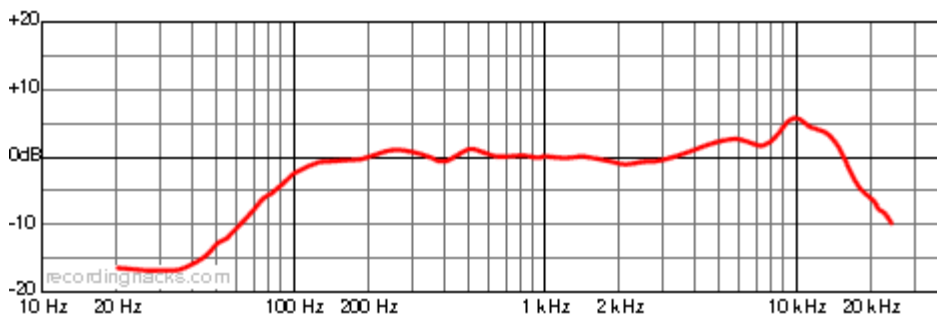
Rys. 4. Charakterystyka kierunkowa i częstotliwościowa mikrofonu AKG C12 dla różnych charakterystyk kierunkowych (www.coutant.org)



Fot. 15. Mikrofon pojemnościowy Telefunken ELA M251 (www.coutant.org)



Fot. 14. Mikrofon pojemnościowy Telefunken ELA M251 wewnątrz (www.coutant.org)



Rys. 5. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Telefunken ELA M251 (www.recordinghacks.com)

2.1.3. Mikrofony pojemnościowe firmy Schoeps

W 1948 roku została założona firma Schoeps¹⁶. Początkowo produkowała mikrofony lampowe z kapsułą dookólną. W 1964 roku opracowała pierwszy na świecie mikrofon pojemnościowy produkowany seryjnie, który był zasilany w systemie fantom 48V zamiast użycia dodatkowego zasilacza. Był to beztransformatorowy mikrofon tranzystorowy CMT20.

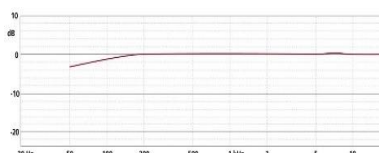


Fot. 16. Historyczne mikrofony pojemnościowe firmy Schoeps; od lewej: prototyp, CMV50/2, CMV51/3, M201, CM51, M221, CM60, CMT20, CMT3/4/5 (www.schoeps.com)

Obecnie firma ma bardzo silną pozycję na rynku mikrofonów do nagrań muzyki poważnej. Seria Colette pozwala do jednego typu beztransformatorowego przedwzmacniacza CMC dołączyć jedną z kilkunastu typów kapsuł pojemnościowych o różnych charakterystykach kierunkowych i częstotliwościowych.



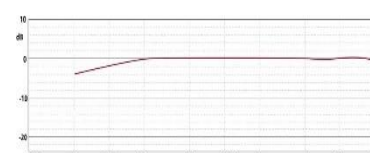
Fot. 17. System Colette firmy Schoeps (www.schoeps.com)



Rys. 8. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK4 (www.schoeps.com)



Rys. 7. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK2 (www.schoeps.com)



Rys. 6. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK41 (www.schoeps.com)

¹⁶ Schall-Technik Dr.-Ing. Karl Schoeps została założona w marcu 1948 roku w Durlach, obecnie dzielnicy miasta Karlsruhe.

2.1.4. Mikrofony pojemnościowe firmy Sony Professional

W 1957 roku firma Sony Corporation wyprodukowała pierwszy profesjonalny mikrofon pojemnościowy. Był to mikrofon lampowy wykorzystujący lampę 6AU6. Rok później powstała konstrukcja tranzystorowa C38, która pod nazwą C38B jest produkowana do dzisiaj. Jest to flagowy mikrofon pojemnościowy firmy Sony.

W 1992 roku powstał lampowy mikrofon C800G. Była to niezwykła konstrukcja zawierająca układ chłodzenia wykorzystujący moduł Peltiera¹⁷. Umożliwił on odprowadzanie ciepła wydzielanego przez lampę 6AU6A na zewnątrz obudowy mikrofonu i utrzymanie niskiej temperatury wewnątrz. Zaletami takiego rozwiązania były niższe szумы układu elektronicznego i poprawna praca niepodgrzewanej przez lampę kapsuły.



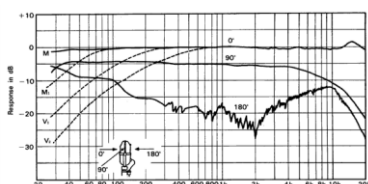
Fot. 20. Mikrofon pojemnościowy Sony C37A (www.sony.net)



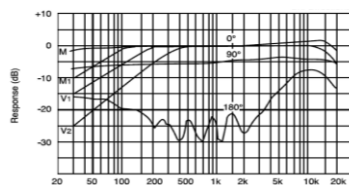
Fot. 19. Mikrofon pojemnościowy Sony C38B (www.sony.net)



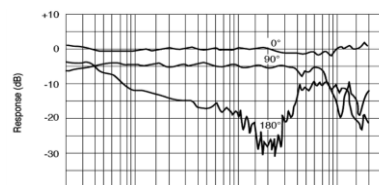
Fot. 18. Mikrofon pojemnościowy Sony C800G (www.sony.net)



Rys. 11. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C37A (www.sony.net)



Rys. 10. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C38B (www.sony.net)



Rys. 9. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C800G (www.sony.net)

¹⁷ Moduł Peltiera – półprzewodnikowy element elektroniczny umożliwiający kontrolę temperatury poprzez chłodzenie. Charakteryzuje się możliwością dokładnej kontroli temperatury, małymi wymiarami i dużą żywotnością.

2.1.5. Mikrofony pojemnościowe firmy Microtech Gefell

Produkcja mikrofonów w Gefell rozpoczęła się w wyniku działań wojennych II wojny światowej. W 1943 roku berlińska siedziba firmy Neumann została zbombardowana przez alianckie lotnictwo, co spowodowało znaczne zniszczenia.

W rezultacie postanowiono przenieść produkcję do opuszczonej fabryki tekstyliów w małej miejscowości Gefell w Turynii. Po zakończeniu II wojny światowej miejscowość ta została włączona do Niemieckiej Republiki Demokratycznej, a fabrykę wkrótce znacjonalizowano.

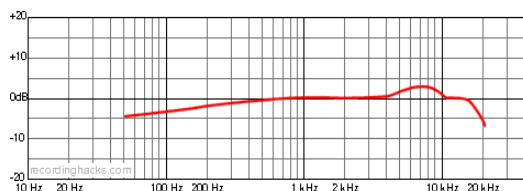
W 1948 roku Georg Neumann podjął decyzję o wznowieniu produkcji mikrofonów w dawnej lokalizacji w Berlinie Zachodnim¹⁸, jednak przez cały czas współpracował ze swoim zakładem w Gefell. Po zaostrzeniu się konfliktów politycznych w Europie i wybudowaniu muru berlińskiego w 1961 roku kontakty zostały zawieszono. W 1972 roku nastąpiła zmiana nazwy na VEB Mikrofontechnik Gefell.

Do 1989 roku wyprodukowano wiele doskonałych mikrofonów opartych na technologii opracowanej przez Georga Neumanna. Były to CMV4, CMV5, CMV563, UM57.

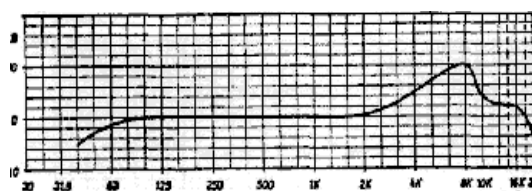
Po zjednoczeniu Niemiec w 1989 roku firma zmieniła nazwę na Microtech Gefell. Opracowano nowe konstrukcje oparte na kapsule M7, takie jak M930, UM92.1S, M990, UM900, a także mikrofony małomembranowe: M221, M300, M310, M320 i inne.



Fot. 21. Historyczne mikrofony z Gefell; od lewej: mikrofon pojemnościowy CMV 563 z dookólną kapsułą M55, z kardioidalną kapsułą M 75, z kardioidalną kapsułą M 7, mikrofon UM 57 (www.microtechgefell.com)



Rys. 13. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Gefell UM75 (www.recordinghacks.com)

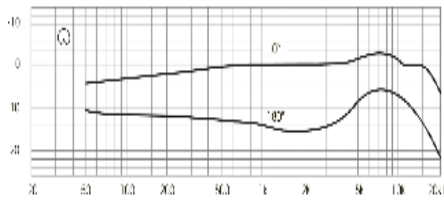


Rys. 12. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu CMV563 (www.microtechgefell.com)

¹⁸ Zachodnia część Berlina w latach 1948–1990 była enklawą należącą do Republiki Federalnej Niemiec.



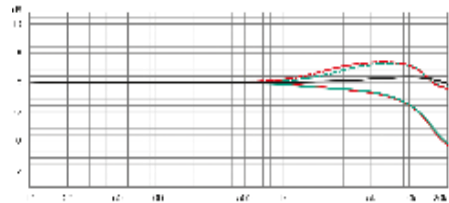
Fot. 23. Mikrofon pojemnościowy UMT70S (www.microtechgefell.com)



Rys. 15. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu UMT70S (www.microtechgefell.com)



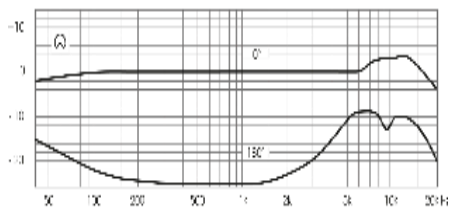
Fot. 22. Mikrofon pojemnościowy M221 (www.microtechgefell.com)



Rys. 14. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M221 bez i z pierścieniami korekcji częstotliwości (www.microtechgefell.com)



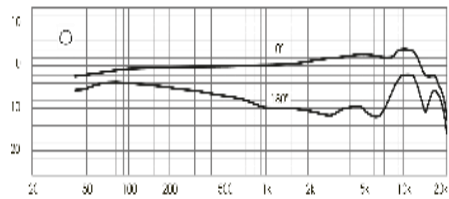
Fot. 25. Mikrofon pojemnościowy Gefell M930 (www.microtechgefell.com)



Rys. 17. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M930 (www.microtechgefell.com)



Fot. 24. Mikrofon pojemnościowy UM900 (www.microtechgefell.com)



Rys. 16. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu UM900 (www.microtechgefell.com)

2.2. Mikrofony dynamiczne

Mikrofony dynamiczne przetwarzają falę dźwiękową na sygnał elektryczny wykorzystując zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Nie wymagają zewnętrznego zasilania. Elementem drgającym jest membrana zespolona z cewką lub wstęgą. Określenie mikrofon dynamiczny często odnosi się tylko do pierwszej z wymienionych grup, a mikrofony dynamiczne z drgającą wstęgą są nazywane mikrofonami wstęgowymi. W niniejszej pracy będą używane precyzyjne określenia: mikrofon dynamiczny cewkowy i mikrofon dynamiczny wstęgowy.

2.2.1. Mikrofony dynamiczne z ruchomą cewką

W polu magnetycznym wytwarzanym przez magnes stały umieszczona jest cewka zespolona z plastikową membraną. Membrana przenosi drgania pobudzanego falą dźwiękową powietrza na cewkę, a jej ruch w polu magnetycznym indukuje prąd elektryczny. Częstotliwość i napięcie wytwarzanego prądu odpowiadają częstotliwości i poziomowi głośności dźwięku pobudzającego membranę.

Układ drgający złożony z membrany i cewki ma względnie dużą masę. Większa membrana¹⁹ może być zespolona z większą cewką, co powoduje, że wzrasta indukowany sygnał audio. Oznacza to jednak powiększenie masy układu drgającego i gorsze odwzorowanie transjentów, a także ograniczenie pasma przenoszonych wysokich częstotliwości.

Osiągnięcie liniowej charakterystyki częstotliwościowej tego rodzaju mikrofonu jest trudne ze względu na występujące zjawiska rezonansowe²⁰. We współczesnych studyjnych mikrofonach dynamicznych cewkowych liniowość charakterystyki uzyskuje się za pomocą akustycznych i elektronicznych filtrów umieszczonych wewnątrz mikrofonu.

Mikrofony dynamiczne cewkowe umożliwiają użyteczną pracę jedynie w bliskiej odległości od źródła dźwięku, nieprzekraczającej kilkudziesięciu centymetrów. Niski koszt produkcji, bardzo duża odporność na wysoki poziom głośności dźwięku, duża wytrzymałość w ciężkich warunkach użytkowania i dobra separacja mikrofonizowanego instrumentu od otaczających źródeł dźwięku powoduje, że są powszechnie używane.

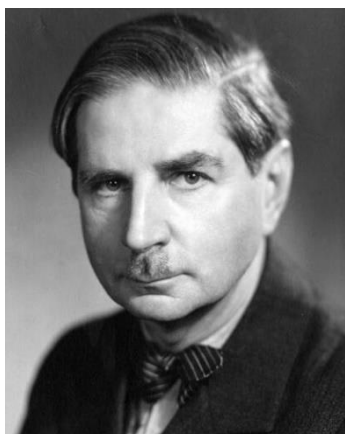
Najważniejsze firmy produkujące mikrofony dynamiczne cewkowe to Shure, Beyerdynamic, Sennheiser, AKG i Audio-Technica.

¹⁹ Większość mikrofonów dynamicznych cewkowych używa membran o wymiarach od 12 do 18 mm, jednak spotyka się membrany o średnicy dochodzącej do 38 mm. Dla zachowania niskiej masy większa membrana wymusza zmniejszenie jej grubości i zastosowanie droższych materiałów.

²⁰ Firma AKG od 1966 roku produkuje mikrofony dwuprzetwornikowe. Pierwszym był AKG D202E. Jeden przetwornik odpowiadał za pasmo częstotliwości do 500 Hz, drugi – powyżej. Inne firmy wykorzystujące takie rozwiązanie to Sony i AudioTechnica.

2.2.2 Mikrofony dynamiczne z ruchomą wstęgą²¹

Mikrofon dynamiczny wstęgowy został opatentowany przez niemieckiego fizyka dr. Waltera Schottky'ego 21 grudnia 1924 roku. Patent²² wykorzystywał wcześniejszy wynalazek opracowany przez Schottky'ego razem z dr. Erwinem Gerlachem w 1920 roku, opisujący przetwornik wstęgowy.



Fot. 27. Dr Walter Schottky
(www.spie.org)



Fot. 26. Dr Erwin Gerlach
(www.link.springer.com)

2.2.2.1. Zasada działania mikrofonów dynamicznych wstęgowych

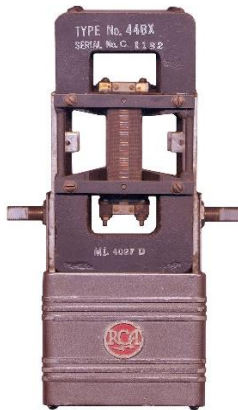
W polu magnetycznym wytwarzanym przez magnes stały umieszczona jest cienka przewodząca folia, nazywana wstęgą. Ruch wstęgi pod wpływem pobudzonego falą dźwiękową drgającego powietrza indukuje w niej prąd. Wstęgę wykonuje się przeważnie z czystego aluminium. Ma ona grubość od 1,8 do 4 mikronów. Dodatkowo jest pofałdowana poprzecznie (korugowana) dla ułatwienia swobodnych drgań²³.

Mikrofon dynamiczny wstęgowy ma naturalnie ósemkową charakterystykę kierunkową. Inne rodzaje charakterystyk uzyskuje się poprzez zastosowanie labiryntu akustycznego.

²¹ Mikrofony te są nazywane mikrofonami dynamicznymi wstęgowymi, lub mikrofonami wstęgowymi.

²² German Patent 434855C dla firmy Siemens & Halske (S&H) w Berlinie.

²³ W niektórych konstrukcjach mikrofonów poprzeczna korugacja wstęgi jest łączona z korugacją wzdłużną, stosowaną w celu zwiększenia odporności na uszkodzenia. Taką konstrukcję stosuje na przykład firma Beyerdynamic.



Fot. 30. Mikrofon RCA 44BX (www.coutant.org)



Fot. 29. Maszynka do ręcznej korugacji wstęgi mikrofonu (www.aearibbonmics.com)



Fot. 28. Mikrofon RCA 77DX (www.coutant.org)

Wstęga ma bardzo niską oporność, często poniżej 1 oma. Aby osiągnąć typową dla mikrofonów wartość impedancji wyjściowej około 200 omów, używa się transformatora o przekładni od kilkunastu do kilkudziesięciu razy²⁴. Jego jakość ma duże znaczenie dla brzmienia.

Układ drgający ma bardzo małą masę w porównaniu z układem z drgającą cewką. Odwzorowanie transjentów jest więc doskonalsze. Lepsza jest liniowość charakterystyki częstotliwościowej i szerokość przenoszonego pasma. Mikrofon umożliwia pracę w dowolnej odległości od źródła dźwięku, podobnie jak mikrofony pojemnościowe.

Bardzo mała grubość elementu drgającego powoduje również ograniczenia. Mikrofon musi być dobrze zabezpieczony przed nawet najłżejszymi podmuchami powietrza. Dmuchięcie z bliskiej odległości przez wokalistę lub instrument dęty spowoduje zerwanie wstęgi i konieczność jej wymiany przez odpowiednio wyposażonego serwisanta.

Podobne uszkodzenie może powstać na skutek przeciągu, szybkiego zamknięcia drzwi w małym pomieszczeniu, skoku membrany głośnika wzmacniacza gitarowego podczas włożenia wtyczki Jack do gniazda wejściowego lub wyłączenia zasilania.

Odporność mikrofonu dynamicznego wstęgowego na podmuchy powietrza można zwiększać. Odbywa się to jednak kosztem jakości dźwięku. Na przykład zwiększanie grubości wstęgi powoduje zwiększenie jej masy. Oznacza to pogorszenie odwzorowania transjentów i liniowości charakterystyki częstotliwościowej.

W obudowie mikrofonu wstęgowego zawsze jest umieszczony filtr przeciwwietrzny. Przeważnie jest to gęsta metalowa siatka lub perforowana blacha pokryta od wewnątrz cienką akustyczną tkaniną. Zwiększenie ochrony przeciwwietrznej przez dodanie dodatkowych warstw tkaniny powoduje zmianę barwy i utratę wysokich częstotliwości charakterystyki częstotliwościowej.

²⁴ Przekładnia impedancji transformatora jest kwadratem jego przełożenia zwojowego.

2.2.2.2. Poziom sygnału wytwarzany przez dynamiczne mikrofony wstępowe²⁵

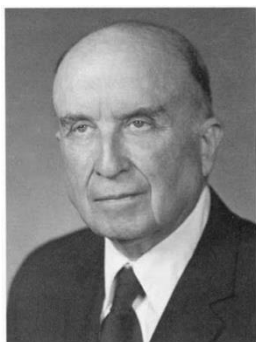
Pasywny mikrofon dynamiczny wstępowy wytwarza sygnał o kilkadziesiąt decybeli niższy od sygnału z mikrofonu pojemnościowego²⁶. W studiach przeznaczonych do nagrań dużych zespołów orkiestrowych długość przewodów między mikrofonem a przedwzmacniaczem mikrofonowym często wynosi kilkaset metrów. Podczas tak długiej drogi, a także przejścia przez złącza i krosownice bardzo mały sygnał mikrofonowy jest narażony na zakłócenia, które degradują jego jakość. Aby temu zapobiec, należy przyjąć za obowiązującą praktykę umieszczania przedwzmacniacza mikrofonowego bezpośrednio przy mikrofonie.

Inną możliwością jest zastosowanie przedwzmacniacza sygnału wewnątrz obudowy mikrofonu²⁷. Przeważnie jest to tranzystorowy przedwzmacniacz zasilany w systemie fantom 48 V, który wzmacnia sygnał o kilkanaście decybeli, bez możliwości regulacji stopnia wzmocnienia. Mikrofony o takiej konstrukcji nazywane są mikrofonami dynamicznymi wstęgowymi aktywnymi.

W konstrukcjach mikrofonów aktywnych firmy AEA²⁸ sygnał wzmacniany jest o 12 dB.

Istnieją też aktywne mikrofony dynamiczne wstępowe zawierające wewnątrz obudowy lampowy wzmacniacz sygnału. Ze względu na wymagania dotyczące mocy zasilania w systemie fantom 48 V w przypadku takich mikrofonów konieczne jest użycie zewnętrznego zasilacza. Przykładem takiej konstrukcji jest mikrofon Royer R122V.

2.2.2.3. Mikrofony dynamiczne wstępowe firmy RCA



Fot. 31. Dr Harry F. Olson
(www.nasonline.org)

W połowie lat dwudziestych dr Harry F. Olson z firmy RCA rozpoczął pracę nad skonstruowaniem mikrofonu wstęgowego, który nadawałby się do wykorzystania w studiach radiowych. W rezultacie powstał mikrofon RCA PB-31 Photophone, który wszedł do produkcji w 1931 roku. Radio City Music Hall w Nowym Yorku zaczęło wykorzystywać go od 1932 roku.

Najdoskonalszymi konstrukcjami mikrofonów wstęgowych firmy były RCA44 oraz RCA77, również skonstruowane i opatentowane przez H.F. Olsona. Pierwszy z nich pojawił się w 1932 roku i był rozwijany do wersji BX, produkowanej do roku 1957. Drugi został opracowany w 1929 roku, ale publicznie pokazany dopiero w roku 1932. Początkowo był znacznie droższy i większy od RCA44.

Był pierwszym mikrofonem wstęgowym z regulowaną charakterystyką

²⁵ Czułość pasywnego mikrofonu dynamicznego wstęgowego wynosi od 0,5 do 6 mV/Pa, aktywnego mikrofonu dynamicznego wstęgowego 8–32 mV/Pa. Mikrofony dynamiczne cewkowe mają czułość 1–6 mV/Pa.

²⁶ Czułość popularnych mikrofonów studyjnych: Royer R121 – 4,5 mV/Pa, aktywny Royer R122 – 15,8 mV/Pa, Neumann U87Ai – 28 mV/Pa (dla charakterystyki kardioidalnej), Shure SM57 – 1,6 mV/Pa.

²⁷ Pierwszym seryjnie produkowanym aktywnym mikrofonem dynamicznym wstęgowym był Royer R122 produkowany od 2002 roku.

²⁸ Firma AEA używa niskoszumnego wzmacniacza tranzystorowego zaprojektowanego przez Freda Forssella z firmy Forssell Technologies.

kierunkową. Tylna strona wstęgi została przesłonięta regulowanym labiryntem akustycznym umożliwiającym uzyskanie charakterystyki ósemkowej, kardoidalnej i dookólnej.

Okres świetności mikrofonów wstęgowych RCA przypadła na czas między powstaniem mikrofonu RCA44 a rozpoczęciem produkcji mikrofonu pojemnościowego Telefunken U47, a więc na lata 1932–1949.



Fot. 34. Frank Sinatra przed mikrofonem RCA 44BX (www.audiohertz.com)



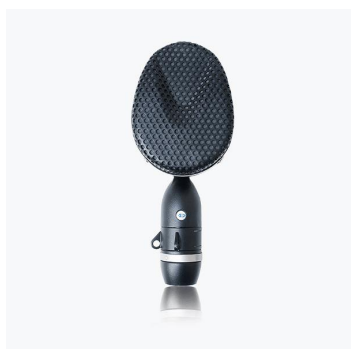
Fot. 33. Elvis Presley przed mikrofonem RCA44BX (<http://www.fluffyjackets.co.uk>)



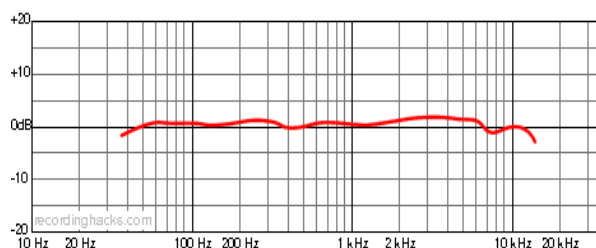
Fot. 32. Chat Baker przed mikrofonem RCA44BX (www.playout.tvnewscheck.com)

2.2.2.4. Mikrofon dynamiczny wstęgowy firmy STC/Coles 4038

W 1952 roku w Wielkiej Brytanii rozpoczęto produkcję mikrofonu dynamicznego wstęgowego STC4038 skonstruowanego przez brytyjskich inżynierów z BBC. Początkowo był wykorzystywany jako mikrofon lektorski, jednak bardzo szybko zaczęto używać go do nagrań muzycznych. Jest on produkowany do chwili obecnej, od 1972 roku jako Coles 4038. Przez wielu reżyserów dźwięku uważany jest za jeden z najdoskonalszych mikrofonów do nagrywania overheadów²⁹ zestawu perkusyjnego i instrumentów dętych blaszanych.



Fot. 35. Mikrofon STC/Coles 4038 (www.colectroacoustics.com)



Rys. 18. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu STC/Coles 4038 (www.recordinghacks.com)

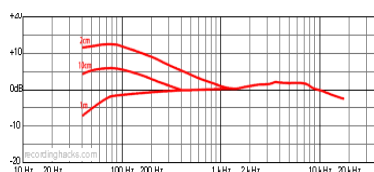
²⁹ Overheady – mikrofony ustawione nad zestawem perkusyjnym.

2.2.2.5. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy Beyerdynamic

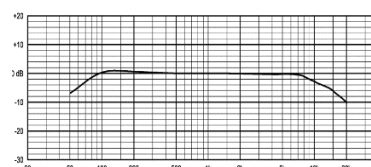
Niezwykle ważna dla rozwoju techniki studyjnej niemiecka firma Beyerdynamic opracowała kilkadziesiąt różnych konstrukcji mikrofonów dynamicznych wstęgowych. Najbardziej znanymi są superkardioidalny M160 i ósemkowy M130. Mikrofony te często są używane jako para stereofoniczna MS. Zastosowany w nich układ dwóch równoległych wstęg umieszczonych obok siebie powoduje zwiększenie czułości³⁰.



Fot. 36. Mikrofony Beyerdynamic M160 poziomy i M130 pionowy (www.shapeways.com)



Rys. 20. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M160 dla różnych odległości źródła (www.recordinghacks.com)



Rys. 19. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M130 (www.global.beyerdynamic.com)

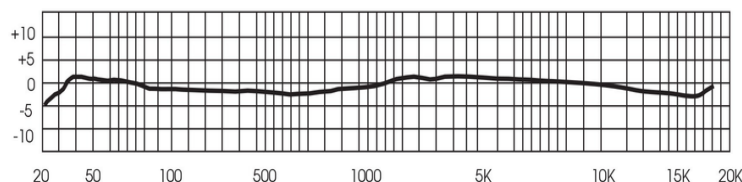
2.2.2.6. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy Royer

W 1998 roku w Kalifornii powstała firma Royer Labs³¹. Produkcję rozpoczęto od mikrofonu R-121 zaprojektowanego rok wcześniej przez Davida Royera.

O ile konstrukcje firmy RCA i STC/Coles brzmiały ciemno, mikrofony firmy Royer są wyraźnie jaśniejsze. Wstęga ma grubość 2–2,5 mikrona w zależności od modelu. Jest przesunięta do przodu względem magnesów, pozostając w optymalnym obszarze pola magnetycznego niezależnie od poziomu dźwięku. Korugacja wstęgi nie ma załamań, tylko zaokrąglenia. Wpływa to na jej trwałość. Mikrofon ma dożywotnią gwarancję, ale tylko jedną bezpłatną wymianę zerwanej wstęgi.



Fot. 37. Mikrofon Royer R121 (www.royerlabs.com)



Rys. 21. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Royer R121 (www.royerlabs.com)

³⁰ W mikrofonach Beyerdynamic korugacja jest zmienna. Na końcach wstęgi poprzeczna, w środkowym odcinku wzdłużna i nietypowa. Część użytkowników uważa, że nie jest to dobrze brzmiące rozwiązanie i zmienia wstęgę na poprzecznie korugowaną.

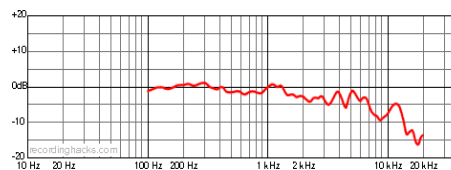
³¹ David Royer zaprojektował swój pierwszy mikrofon w 1997 roku. Podobnie jak we wszystkich innych konstrukcjach firmy Royer wykorzystywał on magnesy neodymowe.

2.2.2.7. Mikrofony dynamiczne wstęgowe firmy AEA

Założona w 1976 roku w Pasadenie w USA firma AEA początkowo zajmowała się serwisowaniem mikrofonów RCA. Od roku 1998 rozpoczęła produkcję ich replik, a następnie własnych konstrukcji. Twórcą firmy jest Wes Dooley. Mikrofon AEA A440 jest mikrofonem dynamicznym wstęgowym o największym odstępem sygnału od szumu spośród produkowanych obecnie mikrofonów tego typu. Może być używany do nagrań muzyki poważnej jako mikrofon ogólny.



Fot. 39. Mikrofon AEA A440
(www.aearibbonmics.com)



Rys. 22. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AEA A440 (www.recordinghacks.com)



Fot. 38. Wes Dooley twórca firmy AEA
(www.aearibbonmics.com)

2.2.2.8. Innowacyjne rozwiązania techniczne innych firm

Od lat osiemdziesiątych firma Fostex produkuje mikrofony zwane „printed ribbon” – drukowane wstęgi³². Spiralna wstęga jest drukowana na okrągłej membranie. Po jej obu stronach znajdują się magnesy stałe. Mikrofon jest odporny na podmuchy powietrza. Ma ósemkową charakterystykę kierunkową. Technologia ta nie osiągnęła dużego sukcesu.

W 2008 roku Robert J. Crowley i Hugh A. Tripp³³ z Bostonu opatentowali akustyczną nanofolię o nazwie Roswellite. Jest to materiał bardzo odporny na uszkodzenia. Od 2009 roku firma Shure używa go w swoich mikrofonach³⁴ zamiast aluminium. Wstęgi tych mikrofonów są prawie niezniszczalne.

Wśród nowych technologii, które mogą zmienić konstrukcje wstęgi może się znaleźć opracowane przez firmę Soundwave Research Laboratories rozwiązanie nazwane „carbon nanotube ribbon microphone”. Jest to mikrofon wykorzystujący bardzo cienki i niezwykle lekki, przewodzący materiał o dużej odporności mechanicznej.

³² Przykładowe modele to: Fostex M11RP, Fostex M85RP, Fostex M88RP.

³³ Crowley and Tripp jest byłą marką studyjnych mikrofonów dynamicznych wstęgowych.

W 2009 roku część firmy zajmująca się produkcją mikrofonów została wykupiona przez firmę Shure.

³⁴ Są to mikrofony Shure KSM313 i KSM353.

3. Rejestracja grup instrumentów musicalu „Pora jeziora”

Musical został zarejestrowany w Studio Andrzej Rewak na przełomie listopada i grudnia 2022 roku. Nagranie zostało dokonane techniką kolejnego nakładania grup instrumentów. Pracę podzielono na następujące etapy:

1. nagranie sekcji rytmicznej;
2. nagranie sekcji instrumentów smyczkowych;
3. nagranie sekcji instrumentów dętych drewnianych;
4. nagranie sekcji instrumentów dętych blaszanych;
5. nagranie wokali solowych;
6. nagranie chóru.

Wybór miejsca i techniki nagrania miały decydujące znaczenie dla ostatecznego brzmienia musicalu. Efekt końcowy byłby zupełnie inny, gdyby nagranie zostało przeprowadzone w sali filharmonicznej, w pełni wykorzystując jej potencjał.

3.1. Opis parametrów technicznych sesji nagraniowej

Sesja wielośladowa została nagrana w programie DAW Pro-Tools HDX w formacie broadcast wave 88,2 kHz/24 bit. Do rejestracji zostały użyte transformatorowe przedwzmacniacze mikrofonowe, będące kopią urządzenia Neve 1290³⁵ oraz przetworniki A/D Apogee Symphony. W każdym torze fonicznym zastosowano identyczny przedwzmacniacz mikrofonowy i przetwornik A/D. Każdy utwór został zapisany w osobnej sesji Pro Tools.

3.2. Wybór mikrofonów użytych podczas rejestracji³⁶

We wszystkich utworach musicalu „Pora jeziora” na każdym etapie rejestracji użyto dwóch zestawów mikrofonów:

A. klasycznego, wykorzystującego:

mikrofony dynamiczne cewkowe: AKG D112, Sennheiser MD421 i Shure SM57/58,
mikrofony pojemnościowe: Schoeps CMC5 MK4, Schoeps CMC5 MK2,
AKG C414B-ULS, Neumann U87Ai, Neumann UM57, Telefunken U47;

B. eksperymentalnego, składającego się wyłącznie z mikrofonów dynamicznych wstęgowych:

AEA A440, RCA 77DX, Melodium 42b, Melodium RM6, Beyerdynamic M320, M160 i M130, mikrofon własnej konstrukcji doktoranta.

³⁵ NEVE 1290 – legendarny tranzystorowy przedwzmacniacz mikrofonowy firmy NEVE. Razem z korektorem barwy dźwięku oznaczany jako Neve 1073. Użyto urządzeń wykonanych przez doktoranta.

³⁶ Opis użytych podczas rejestracji mikrofonów znajduje się w Załączniku nr 1.

Mikrofony każdego z zestawów zostały umieszczone w planie bliskim i ogólnym, tak aby w procesie tworzenia dzieła mogła być podjęta próba stworzenia dwóch równoważnych zgrań wszystkich utworów musicalu.

3.3. Rejestracja sekcji rytmicznej

W skład sekcji rytmicznej wchodził zestaw perkusyjny, gitara basowa i fortepian elektryczny. Mikrofony zostały użyte jedynie do nagrania zestawu perkusyjnego. Gitarę basową i fortepian elektryczny nagrano podłączając je przez urządzenie dopasowujące impedancję Direct-Box do wejść przedwzmacniacza mikrofonowego bez użycia mikrofonów.

Zestaw perkusyjny składał się z bębna basowego, werbla, trzech tom-tomów, hi-hatu i czyneli.

O ile użycie mikrofonów dynamicznych wstęgowych do nagrania overheadów i ambiensu zdarza się dosyć często, zastosowanie ich do rejestracji bębna basowego, werbla i tom-tomów jest bardzo rzadkie. Zwykle te instrumenty są mikrofonowane za pomocą mikrofonów dynamicznych cewkowych.

3.3.1. Bęben basowy – Beyerdynamic M320

Mikrofon używany do rejestracji bębna basowego powinien zapewniać dużą separację od innych instrumentów zestawu perkusyjnego oraz dobrze reprodukować niskie częstotliwości dźwięku. Ponieważ umieszcza się go w pobliżu otworu w tylnej membranie³⁷, musi posiadać wysoką odporność na podmuchy powietrza.

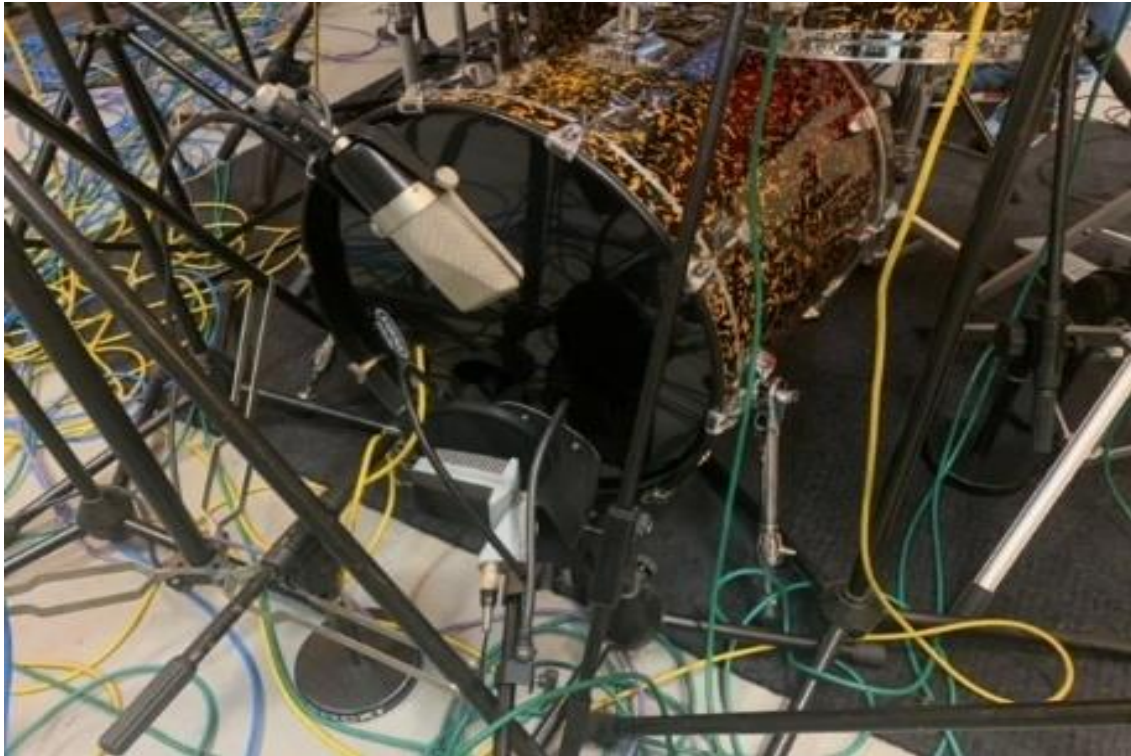
Wybrano mikrofon Beyerdynamic M320 o kardioidalnej charakterystyce kierunkowej. Dodatkowo zabezpieczono go podwójną osłoną przeciwwietrzną firmy K&M.

Dźwięk bębna basowego z Beyerdynamic M320 nie przypominał klasycznego brzmienia bębna basowego. Był niezdefiniowany, delikatny, trudno przebijający się przez pozostałe warstwy instrumentów. Bardziej przywodził na myśl bęben basowy zestawu jazzowego niż rockowego. Był znacznie lepszy w wolnych i nieagresywnych utworach, aniżeli w mocnych.

Próby zmiany miejsca M320 nie przyniosły wyraźnej poprawy. Lepsze efekty dała korekcja barwy dźwięku, którą użyto w torze odsłuchu.

Porównanie M320 do mikrofonu dynamicznego cewkowego AKG 112 wypadło korzystniej dla tego drugiego. Dźwięk był bardziej dynamiczny, przebijający się, twardszy. Separacja od innych instrumentów zestawu była lepsza.

³⁷ Uderzenie bijaka w przednią membranę bębna basowego doprowadza do sprężenia powietrza wewnątrz bębna. Powietrze wydostaje się przez otwór w tylnej membranie powodując silne dmuchnięcie podczas każdego uderzenia.



Fot. 40. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)

3.3.2. Werbel – Beyerdynamic M130

Nagrania werbla można było dokonać przy użyciu innego mikrofonu dynamicznego wstęgowego, jednak w pobliżu tego instrumentu zwykle nie ma zbyt wiele wolnego miejsca. Beyerdynamic M130 jest mikrofonem o bardzo małych rozmiarach. Zmieścił się on doskonale. Umieszczenie któregoś z dużych mikrofonów dynamicznych wstęgowych, na przykład Melodium 42B lub RCA77DX, wymagałoby ingerencji w ustawienie zestawu perkusyjnego. Zawsze wiąże się to z dyskomfortem perkusisty. Z tego powodu zrezygnowano z mikrofonu dynamicznego wstęgowego pod werblem.

Ponieważ M130 ma charakterystykę kierunkową ósemkową, zwracano uwagę na to, by czynniki nad werblem nie znalazły się w aktywnej tylnej części tej charakterystyki, co miałyby miejsce w przypadku zbyt poziomego ustawienia mikrofonu.

Nagranie werbla za pomocą mikrofonu Beyerdynamic M130 sprawdzało się dobrze w delikatniejszych aranżacjach. Łatwiej było w nich uzyskać dobrą czytelność werbla w brzmieniu sekcji rytmicznej. W utworach dynamicznych, takich jak „Ludzie dziwni są” czy „Moja siekiera” korzystne byłoby wzbogacenie brzmienia poprzez dodanie dźwięku z mikrofonu dynamicznego cewkowego Shure SM57.



Fot. 41. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)

3.3.3. Tom-tomy – Melodium RM6

Podobnie jak M130, RM6 ma charakterystykę kierunkową ósemkową. Zwracano uwagę na to, aby w jej tylnej części nie znalazł się umieszczony nad tom-tomem czynel. Dźwięk był ciemny, miękki, nieagresywny. Aranżacje delikatniejsze pozwalały na uzyskanie bardzo dobrego efektu. Natomiast w utworach bardziej dynamicznych użycie mikrofonów dynamicznych wstępowych było akceptowalne, jednak mikrofony dynamiczne cewkowe Sennheiser MD421 brzmiały od nich znacznie lepiej.

3.3.4. Hi-hat – RCA77DX

W praktyce studyjnej funkcjonuje slangowe angielskie określenie „Hi-hat mic”. Określa ono mikrofon nie najwyższej jakości, niewyróżniający się niczym szczególnym. Termin ten podkreśla występujący u realizatorów nagrań lekceważący stosunek do mikrofonizacji tego instrumentu.

Hi-hat nagrywany za pomocą mikrofonu RCA 77DX był naturalny, czytelny, szlachetny, nieagresywny w paśmie częstotliwości powyżej 2 kHz. Zdecydowanie bardziej odpowiadał doktorantowi charakter jego dźwięku niż sygnał mikrofonu pojemnościowego AKG C414B-ULS z wybraną kardioidalną charakterystyką kierunkową. AKG był ostrzejszy i bardziej agresywny w paśmie częstotliwości powyżej 2 kHz. Rodzaj aranżacji i charakter utworu nie miał tu żadnego znaczenia.



Fot. 42. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)



Fot. 43. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)

3.3.5. Overheady – Beyerdynamic M160 – para stereofoniczna AB

W literaturze można znaleźć liczne przykłady użycia tych mikrofonów do nagrań overheadów³⁸. Od kilku lat doktorant stosuje je w tym miejscu i coraz bardziej przekonuje się, że są one znacznie lepszym wyborem niż mikrofony pojemnościowe.

Lokalizacja przestrzenna poszczególnych instrumentów zestawu perkusyjnego była bardzo dobra. Balans między dźwiękiem bezpośrednim i odbitym dobrze podkreślał energię dźwięku pomieszczenia. Dźwięk był lekki, delikatny, ulotny, jasny, ale niskie częstotliwości były obecne we właściwej proporcji.

Efekt uzyskany przy pomocy mikrofonów dynamicznych wstęgowych jest bliższy wizji brzmieniowej doktoranta w porównaniu do nagrania wykonanego przy pomocy mikrofonów pojemnościowych, zarówno w utworach o fakturze mniej i bardziej skomplikowanej.

3.3.6. Mikrofony ambientowe – AEA A440 – para stereofoniczna AB

Ze względu na ósemkową charakterystykę kierunkową ustawiono je bliżej zestawu perkusyjnego niż mikrofony pojemnościowe. Pięknie pokazywały przestrzeń pomieszczenia, w którym nagrywano zestaw perkusyjny. Brzmiały naturalnie. Nie były agresywne w paśmie częstotliwości powyżej 2 kHz. Lokalizacja instrumentów zestawu perkusyjnego była czytelna i równomierna. Porównanie brzmienia mikrofonów AEA z równolegle ustawioną parą mikrofonów pojemnościowych Schoeps CMC6 MK2 pozwoliło docenić niezwykle piękno mikrofonów dynamicznych wstęgowych. Mikrofony pojemnościowe brzmiały ostro i agresywnie. Wybór pary AEA nie pozostawiał żadnych wątpliwości.

3.3.7. Dodatkowy mikrofon ambientowy

Podczas rejestracji zestawu perkusyjnego został użyty dodatkowy mikrofon dynamiczny wstęgowy konstrukcji doktoranta³⁹. Umieszczono go 20 cm powyżej górnej krawędzi bębna basowego, 40 cm przed zestawem perkusyjnym od strony przeciwnej do zajmowanej przez perkusistę.

Użycie mikrofonu pojemnościowego w tym miejscu nie przynosi efektów wartych omówienia, natomiast dodany do zgrania zestawu perkusyjnego mikrofon dynamiczny wstęgowy bardzo dobrze łączy brzmienie poszczególnych instrumentów w całość. Dodaje niskich częstotliwości do bębna basowego eliminując konieczność użycia korekcji barwy dźwięku i pogłębia przestrzenność obrazu dźwiękowego.

³⁸ M160 były używane do nagrań overheadów między innymi przez: zespoły The Beatles, Led Zeppelin czy Boba Marleya.

³⁹ Mikrofon ma ósemkową charakterystykę kierunkową. Brzmienie jest podobne do RCA77DX.

3.3.8. Korekcja ustawienia mikrofonów

Po ustawieniu wszystkich mikrofonów we właściwych miejscach rozpoczęto ich precyzyjne strojenie⁴⁰. Skorygowano mikrofony overhead, tak aby otrzymać zrównoważone brzmienie całego zestawu perkusyjnego wymagające jedynie dodania bębna basowego. Dodano mikrofon bębna basowego. Przesuwano go tak, aby nie był słyszalny konflikt fazowy między nim a overheadami. Następnie rozpoczęto strojenie mikrofonu werbla. Zmieniano jego położenie tak, aby dobrze łączył się fazowo z zaakceptowanymi już mikrofonami. Podobnie ustawiano brzmienie hi-hatu i tomów. Kolejnym krokiem było dostrojenie mikrofonów ambientowych. W ich przypadku poszukiwano największej energii dźwięku.



Fot. 44. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)

Użyto następujących mikrofonów:

Instrument	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
BEBEN BASOWY	AKG D112	BEYERDYNAMIC M320
WERBEL	SHURE SM 57 TOP SHURE SM58 BOTTOM	BEYERDYNAMIC M130
TOM-TOMS	SENNHEISER MD421	MELODIUM RM6
HI-HAT	AKG C414B-ULS CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	RCA 77DX
CZYNELE	AKG C414B-ULS PARA STEREO CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	BEYERDYNAMIC M160 PARA STEREO
AMBIENT MONO	BRAK	MIKROFON WYKONANY PRZEZ DOKTORANTA
AMBIENT STEREO	SCHOEPS CMC6 MK2 PARA STEREO	AEA A440 PARA STEREO

Tabela 1. Mikrofony użyte do rejestracji zestawu perkusyjnego

⁴⁰ Termin strojenie oznacza tutaj nieznaczną zmianę położenia mikrofonów lub ich kąta pochylecia.



Fot. 45. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)

3.4. Rejestracja sekcji instrumentów smyczkowych

Sekcja smyczkowa składała się z piętnastu muzyków: pięciu pierwszych skrzypiec, czterech drugich skrzypiec, trzech altówek i trzech wiolonczel.

Do nagrywania tej sekcji stosuje się zwykle mikrofony pojemnościowe.

Zdecydowano się na trzykrotne nałożenie sekcji smyczkowej w celu zwielokrotnienia liczby wykonawców. Podczas rejestracji trzeciej warstwy instrumentalności grali z użyciem tłumików. Uzyskany efekt był zbliżony do tego, który zostałby osiągnięty podczas jednokrotnego nagrania trzykrotnie większego zespołu. Technika ta jest stosowana bardzo często podczas nagrań sekcji instrumentów smyczkowych metodą nakładkową. Pozwala zredukować koszty zaangażowania dużej grupy wykonawców.

Ustawiono po sześć mikrofonów w planie bliskim w odległości około jednego metra od instrumentów i dwie pary mikrofonów ogólnych dla każdego z zestawów.

Okazało się że zestaw eksperymentalny brzmiał ciepło i naturalnie, choć wyraźnie ciemniej. Łączył się w spójne brzmienie podczas dodawania kolejnych nakładek. Mikrofony pojemnościowe były bardziej dynamicznie, agresywne, nowocześniejsze w brzmieniu, chociaż mniej naturalne.

Każdy z dwóch zestawów mikrofonów mógłby zostać użyty podczas zgrania.

Instrument	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
I SKRZYPCE	NEUMANN UM57 ⁴¹ CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA SCHOEPS CMC6 MK4	MELODIUM RM6 BEYERDYNAMIC M160
II SKRZYPCE	NEUMANN UM57 CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA SCHOEPS CMC6 MK4	MELODIUM RM6 BEYERDYNAMIC M160
ALTÓWKI	NEUMANN UM57 CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	MELODIUM RM6
WIOLONCZELE	NEUMANN UM57 CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	MELODIUM 42B
AMBIENT STEREO	SCHOEPS CMC6 MK2 PARA STEREO	AEA A440 PARA STEREO HUM RS2

Tabela 2. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów smyczkowych

⁴¹ Mikrofon NEUMANN UM57 posiada doskonałą kapsułę pojemnościową Neumann M7, jednak oryginalna elektronika jest niskiej jakości. Poprawienie układu elektronicznego sprawia, że mikrofon staje się porównywalny z najlepszymi konstrukcjami mikrofonów lampowych na świecie. Taką modyfikację przeprowadzono we wszystkich mikrofonach UM57 używanych w Studio Andrzej Rewak.



Fot. 46. Rejestracja instrumentów smyczkowych (fot. własna)



Fot. 47. Rejestracja instrumentów smyczkowych (fot. własna)

3.5. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych

Sekcja instrumentów dętych drewnianych składała się z fletu, klarnetu, oboju i fagotu. Do nagrywania tej sekcji stosuje się zwykle mikrofony pojemnościowe.

Użyto jedenastu mikrofonów różnego rodzaju. Umieszczono je w dwóch planach mikrofonowych: w planie bliskim w odległości około jednego metra i dalekim, przekraczającym trzy metry. Nie ustawiano oddzielnego mikrofonu dla każdego instrumentu. Właściwe proporcje uzyskano prosząc muzyków o zmianę głośności lub odległości od mikrofonów.

Każdy z zestawów mikrofonowych brzmiał dobrze i mógł być użyty w zgraniu. Zestaw eksperymentalny był ciemniejszy, plan nagrania był dalszy. Pięknie pokazywał przestrzenność sali nagrań. Zestaw klasyczny brzmiał bardziej współcześnie, jaśniej, agresywniej. Plan nagrania był nieco bliższy.

Odległość od źródła dźwięku	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
PLAN BLISKI	SCHOEPS CMC6 MK4 STEREO	MELODIUM 42B PARA STEREO MELODIUM RM6 PARA STEREO
PLAN ŚREDNI	SCHOEPS CMC6 MK2 STEREO	AEA A440 PARA STEREO
AMBIENT STEREO	SCHOEPS CMC6 MK2 PARA STEREO	HUM RS2

Tabela 3. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów dętych drewnianych



Fot. 48. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych (fot. własna)



Fot. 49. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych (fot. własna)

3.6. Rejestracja sekcji dętych blaszanych

Użycie mikrofonów wstęgowych do nagrania big-bandowych sekcji instrumentów dętych blaszanych jest w fonografii spotykane dość często. Natomiast rzadko używa się ich podczas nagrań muzyki klasycznej. Ponieważ instrumentacja nagrywanej sekcji bliższa była brzmieniu big-bandu spodziewano się, że mikrofony dynamiczne wstęgowe okażą się dobrym wyborem.

Sekcja instrumentów dętych blaszanych składała się z partii trzech trąbek, trzech puzonów i trzech waltorni⁴². W nagraniu tej sekcji wzięło udział tylko trzech muzyków: trębacz, puzonista i waltornista. Rejestracja rozpoczęła się nagraniem trąbki. Jeden muzyk nakładał kolejno pierwszy, drugi i trzeci głos. Następnie w ten sam sposób nagrano waltornię i puzon. Wykorzystano dwa plany mikrofonowe identyczne dla wszystkich nakładek. Blisko instrumentalisty umieszczono mikrofon Melodium 42B i Neumann U87Ai, a około dwóch metrów dalej AEA A440 i Schoeps CMC6 MK2. Mikrofon dynamiczny wstęgowy pracujący w bliskim planie został zabezpieczony przed podmuchami powietrza za pomocą dwóch podwójnych pop filtrów firmy K&M.

Mikrofon dynamiczny wstęgowy brzmiał bardziej naturalnie, niekrzykliwie, ładnie pokazywał przestrzeń pomieszczenia. Mikrofon pojemnościowy również brzmiał dobrze, jednak był zbyt ostry, zwłaszcza w głośnych, wysokich partiach trąbki.

Odległość od źródła dźwięku	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
PLAN BLISKI	NEUMANN U87Ai CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	MELODIUM 42B
AMBIENS	SCHOEPS CMC6 MK2	AEA A440

Tabela 4. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów dętych blaszanych



Fot. 50. Rejestracja sekcji instrumentów dętych blaszanych (fot. własna)

⁴² W niektórych utworach liczba partii instrumentów tej sekcji była mniejsza.

3.7. Rejestracja wokalistów

W muzyce rozrywkowej podczas nagrania wokalistów występują duże zmiany głośności. W zgraniu piosenki wokaliści powinni być na pierwszym planie. Aby to osiągnąć, partie śpiewane piano muszą być zgłośnione. Następnie ślad wokalu zostaje poddany kilkunastodecybelowej kompresji dynamiki. Aby nie były słyszalne brum i szumy, mikrofon musi mieć bardzo duży odstęp sygnału od szumu.

Do zestawu eksperymentalnego wybrano więc niskoszumny, aktywny AEA A440. Jest to mikrofon o dużych rozmiarach wstęgi⁴³, co poprawia precyzję odwzorowania detali.

W zestawie klasycznym partie wokalne nagrano za pomocą mikrofonu lampowego Telefunken U47. W sytuacjach wymagających szybkiego przygotowania stanowiska dla wokalisty zastąpiono go Neumannem U87Ai.

Klasyczny sposób nagrania solowych partii wokalnych polega na umieszczeniu mikrofonu pojemnościowego kilkanaście centymetrów od ust wokalisty. Okazało się to trudne do osiągnięcia. Użyte mikrofony miały duże rozmiary. Magnes mikrofonu dynamicznego wstęgowego silnie przyciągał wykonany z metalu mikrofon pojemnościowy. Dodatkowo przed każdym z mikrofonów umieszczono dwa podwójne filtry przeciwwietrzne firmy K&M.

Instrument	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
WOKAL	TELEFUNKEN U47 CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA NEUMANN U87Ai CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	AEA A440

Tabela 5. Mikrofony użyte do rejestracji wokali



Fot. 51. Rejestracja wokali (fot. własna)

⁴³ Wstęga mikrofonu AEA A440 ma długość około 60 mm.

3.8. Rejestracja chóru

W praktyce studyjnej nagranie chóru złożonego z kilkudziesięciu osób bardzo często jest zastępowane przez kilkukrotne nagranie mniejszej grupy wykonawców. Kilkunastu bardzo sprawnych wokalistów nakłada się trzykrotnie. Uzyskany efekt jest zbliżony do tego, który zostałby osiągnięty podczas jednokrotnego nagrania trzykrotnie większego zespołu. Technika ta pozwala zredukować koszty i uniknąć wielogodzinnych prób poprzedzających nagranie.

Ten sposób pracy pozwala również na dodatkowe powielenie istotnych fragmentów wybranych głosów chóru, aby łatwiej ustalać ich głośność podczas zgrania. Metoda ta pozwala również kontrolować zrozumiałość tekstu. W miejscach, w których słowa są trudne do zrozumienia, kolejne nakładki nagrywa się ze szczególnie wyraźną dykcją.

Problemem pojawiającym się podczas pracy z mniejszą grupą jest trudność w stopieniu poszczególnych śladów składowych w jedno spójne brzmienie. Nagrywanie kolejnych warstw często poprzedza zmiana ustawienia chóru, zestawu używanych mikrofonów lub odległości wykonawców od mikrofonów. Podczas pracy nad wykonaniem dzieła pojawiła się możliwość użycia w kolejnych nagrywanych nakładkach innego zestawu mikrofonów.

Odległość od źródła dźwięku	Mikrofon w zestawie klasycznym	Mikrofon w zestawie eksperymentalnym
PLAN BLISKI PRZED CHÓREM	NEUMANN UM57 CHARAKTERYSTYKA KARDIOIDALNA	MELODIUM 42B MELODIUM RM6
DRUGIE RZĘDY CHÓRU	SCHOEPS CMC5 MK4	BEYERDYNAMIC M160
AMBIENT STEREO	SCHOEPS CMC5 MK2 PARA STEREO	AEA A440 PARA STEREO HUM RS2

Tabela 6. Mikrofony użyte do rejestracji chóru



Fot. 52. Rejestracja chóru (fot. własna)

4. Zgranie musicalu „Pora jeziora”

Zgranie wymagało podjęcia dużej liczby decyzji. Rozpoczęło się od dokładnej weryfikacji zarejestrowanego materiału muzycznego. Wszystkie ślady sesji Pro Tools zostały sprawdzone pod względem zawartości i jakości technicznej. Okazało się, że zostały nagrane poprawnie i były zgodne z opisem.

Przystąpiono do porównania brzmienia poszczególnych mikrofonów indywidualnie dla każdej sekcji instrumentów (lub wokali), a następnie podejmowano decyzję dotyczącą ich wyboru. Kolejnym krokiem było szukanie proporcji głośności najlepszych dla danej sekcji.

Proces wyboru mikrofonów i ustawiania proporcji powtarzano dla każdej kolejnej sekcji. Bardzo często miał miejsce powrót do już zaakceptowanej sekcji i ponowny proces wyboru. Równocześnie następowało korygowanie barwy dźwięku i ustawień pogłosów dla kolejno dodawanych sekcji.

Był to cykl porównań, decyzji oraz korekcji dokonanego wyboru trwający kilka godzin dla każdego z utworów dzieła. W wyniku tego procesu powstawała więcej niż jedna końcowa propozycja zgrania. Decyzja o ostatecznym wyborze wersji była podejmowana następnego dnia po wykonaniu zgrania.

Ponieważ dzieło jest zbiorem zgrań poszczególnych utworów musicalu tworzących muzyczną całość, powinna być zachowana spójność brzmienia pomiędzy nimi. Oznacza to konieczność kontynuacji w kolejnych utworach wyboru mikrofonów, ich proporcji i ustawień pogłosów dokonanych w pierwszym utworze. Możliwa jest zmiana tego wyboru w przypadku zmiany charakteru utworu, ale nowy wybór powinien być kontynuowany dla wszystkich utworów o podobnym charakterze.

W związku z tym dane ustawień sesji Pro Tools wszystkich sekcji obejmujące wybór mikrofonów, ich proporcje, użyte plug-iny⁴⁴, pogłosy i inne efekty były kopiowane⁴⁵ do kolejnych sesji Pro Tools. Skracало to czas pracy nad zgraniem kolejnego utworu i zapewniało jednolite brzmienie wszystkich utworów.

Zgrania każdej sekcji zostały wykonane w domenie cyfrowej w programie Pro Tools Ultimate. Zgranie wszystkich sekcji zostało wykonane za pomocą analogowego sumatora SSL SIGMA DELTA⁴⁶ umożliwiającego sumowanie 16 stereofonicznych sygnałów analogowych do postaci stereofonicznej.

⁴⁴ Program przekształcający dźwięk, umieszczony w torze fonicznym programu Pro Tools. W dalszej części pracy będzie używana skrótowa nazwa „plug-in”.

⁴⁵ Używano funkcji programu Pro Tools: „import session data from”.

⁴⁶ SSL Sigma Delta – analogowy sumator firmy SSL.

4.1. Zgranie sekcji rytmicznej

Sekcja rytmiczna składała się z zestawu perkusyjnego, gitary basowej i fortepianu elektrycznego.

Zestaw perkusyjny został nagrany za pomocą dwudziestu jeden mikrofonów różnego typu. Sprawdzone kolejno brzmienie wszystkich nagranych mikrofonów. Po dokonaniu wyboru mikrofonów i kilku próbach poszukiwania właściwych proporcji, korekcji barwy i kompresji, ustawione zostało pierwsze zgranie. Wykorzystano wyłącznie mikrofony dynamiczne wstęgowe. Użyto następujących urządzeń zewnętrznych i plug-inów:

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
BEBEN BASOWY	BEYERDYNAMIC M320	PSP Classic Q Filtr półkowy dolnozakresowy: +7dB poniżej 120Hz Filtr środkowozaporowy: -5dB, F=173Hz	DBX160 ⁴⁷ redukcja około 8dB, ratio 4:1
WERBEL	BEYERDYNAMIC M130	PSP Classic Q Filtr środkowoprzepustowy: +6dB, F=120Hz	DBX165 ⁴⁸ redukcja około 7dB, ratio 4:1
FLOOR TOM	MELODIUM RM6	PSP Classic Q Filtr środkowoprzepustowy: +7dB, F=140Hz Filtr środkowozaporowy: -5dB, F=210Hz	DBX160 redukcja około 6dB, ratio 4:1
MID I HIGH TOM	MELODIUM RM6	PSP Classic Q Filtr środkowoprzepustowy: +7dB, F=2kHz Filtr środkowozaporowy: -5dB, F=273Hz	DBX160 redukcja około 6dB, ratio 4:1
HI-HAT	RCA 77DX	PSP Classic Q Filtr półkowy dolnozakresowy: -12dB poniżej 160Hz	BRAK
OVERHEA DS	BEYERDYNAMIC M160 PARA STEREO	PSP Classic Q Filtr półkowy dolnozakresowy: +4,5dB powyżej 6kHz	PSP ⁴⁹ FETpressor redukcja około 5dB, ratio 3:1
AMBIENT MONO	MIKROFON DOKTORANTA	PSP Classic Q Filtr półkowy dolnozakresowy: -6dB powyżej 3kHz	PSP FETpressor redukcja około 5dB, ratio 3:1
AMBIENT STEREO	AEA A440 PARA STEREO	PSP Classic Q Filtr półkowy dolnozakresowy: -14dB powyżej 1,2kHz	PSP FETpressor redukcja około 10dB, ratio 6:1

Tabela 7. Korekcja barwy i kompresja dynamiki zestawu perkusyjnego

⁴⁷ Kompresor typu VCA – opracowany przez firmę DBX w 1976 roku. Oparty na skonstruowanym przez Davida Blackmera wzmacniaczu sterowanym napięciem – VCA.

⁴⁸ Kompresor typu VCA. Podobny do modelu 160, posiada większe możliwości regulacji parametrów.

⁴⁹ PSP AUDIOWARE – założona w 2000 roku polska firma z Warszawy produkująca oprogramowanie Pro Audio. Osiągnęła światowy sukces. Założycielami firmy są Mateusz Woźniak i Antoni Ożyński.

Wszystkie instrumenty były czytelne. Przesłuchy pomiędzy mikrofonami nie utrudniały ustawienia właściwych proporcji głośności. Zestaw brzmiał naturalnie, miękko, nieagresywnie, chociaż miało się wrażenie, że mógł zostać nagrany kilkadziesiąt lat temu. Zgranie zestawu perkusyjnego wiernie oddawało charakter źródła.

Przystąpiono do porównań brzmienia mikrofonów innego typu.

Zastąpiono mikrofony bębna basowego i werbla mikrofonami dynamicznymi cewkowymi. Brzmienie zestawu stało się bardziej współczesne i dynamiczne. Podobnie zmieniał się dźwięk tom-tomów, jeśli zostały użyte mikrofony dynamiczne cewkowe. Naturalność i miękkość brzmienia ustępowały miejsca zwiększaniu agresywności i brutalności.

Zastąpienie mikrofonów overheadowych i ambientowych mikrofonami pojemnościowymi sprawiało, że brzmienie stawało się ostrzejsze w paśmie powyżej 2 kHz i mniej wiernie brzmieniu zestawu słuchanego w Sali nagrań. Pogarszało się wrażenie naturalności przestrzeni.

Sygnal z mikrofonów ambientowych został poddany korekcji barwy dźwięku w postaci łagodnego filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości zaporowej 3 kHz, a następnie kompresji mającej podkreślić brzmienie pomieszczenia. Oba te zabiegi nie spowodowały pogorszenia naturalności brzmienia.

Podsumowując użyteczność mikrofonów dynamicznych wstęgowych do nagrywania zestawu perkusyjnego można stwierdzić, że w przypadku bębna basowego i tom-tomów jest ona dobra jedynie w aranżacjach niezbyt mocnych, nieagresywnych. Łatwiej uzyskać zadowalający efekt w utworach o wolnym tempie, niezbyt gęstych, w których nasycenie dźwiękiem jest mniejsze.

Podobny efekt, choć w nieco mniejszej skali występuje w przypadku werbla. Trudno jest uzyskać mocny, przebijający się wyraźnie w zgraniu efekt brzmienia werbla. Problem ten narasta w mocniejszych, gęstszych aranżacjach. Jednak w utworach, które nie są gęsto wypełnione dźwiękiem efekt użycia takich mikrofonów jest bardzo dobry. Brzmienie werbla jest naturalne, bogate, wiernie rzeczywistości.

Zdecydowanie lepszy od mikrofonów pojemnościowych jest efekt użycia podczas zgrania mikrofonów dynamicznych wstęgowych overheadów, hi-hatu i mikrofonów ambientowych. Przede wszystkim lepiej brzmi pasmo częstotliwości powyżej 2 kHz. Jest łagodniejsze i bardziej naturalne. Odwzorowanie przestrzeni uzyskanej przy pomocy mikrofonów dynamicznych wstęgowych jest wierniejsze i bardziej naturalne, aniżeli przy użyciu mikrofonów pojemnościowych. Podatność na korekcję barwy dźwięku jest bardzo dobra. Ze względu na nieagresywność wyższej części pasma częstotliwości korekcja barwy może być większa i nie powoduje utraty naturalności dźwięku tak łatwo, jak w przypadku mikrofonów pojemnościowych.

Podsumowując: zamiana mikrofonów dynamicznych cewkowych na wstęgowe nie powoduje poprawy brzmienia. Jedynie w przypadkach, w których używamy mikrofonów pojemnościowych, sprawdzają się mikrofony wstęgowe. Mikrofony dynamiczne cewkowe dla bębna basowego, werbla i tom-tomów są bardziej uniwersalne, ponieważ brzmiały dobrze w każdym rodzaju utworów.

Gitara basowa została nagrana bez użycia mikrofonów, poprzez lampowy przedwzmacniacz mikrofonowy/DI Redd 47⁵⁰, skonstruowany przez doktoranta na podstawie oryginalnego schematu ze Studia Abbey Road.

Użyto również skonstruowanej przez doktoranta kopii kompresora RCA BA6A⁵¹. Korekcja barwy nie była potrzebna.

Pianino elektryczne nagrano bez użycia mikrofonów, przez wejście mikrofonowe przedwzmacniacza mikrofonowego, poprzedzone DI-boxem. Jako korektora barwy użyto plug-in Izotope Ozone 9⁵² Vintage EQ. Kompresja dynamiki nie była potrzebna.

Instrument	Podłączono przez	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
GITARA BASOWA	REDD 47	BRAK	RCA BA6A redukcja około 8dB, ratio 12:1
PIANINO ELEKTRYCZNE	DI BOX Przedwzmacniacz mikrofonowy	Izotope Ozone 9 Vintage EQ Filtr półkowy górnoz zakresowy +4dB powyżej 5,1kHz	BRAK

Tabela 8. Korekcja barwy i kompresja dynamiki basu i pianina elektrycznego

4.2. Zgranie sekcji instrumentów smyczkowych

Sekcja instrumentów smyczkowych składała się z pięciu pierwszych skrzypiec, czterech drugich skrzypiec, trzech altówek i trzech wiolonczel. Razem 15 grających muzyków. Założeniem twórców musicalu było osiągnięcie brzmienia orkiestry symfonicznej.

Zgranie tej sekcji rozpoczęto od wyboru mikrofonów i ustawienia ich proporcji dla pierwszej nagranej warstwy bez tłumików. Powstały dwie propozycje brzmienia. Jedna z użyciem wyłącznie mikrofonów dynamicznych wstęgowych, druga wyłącznie mikrofonów pojemnościowych. Wersje wyraźnie różniły się pod względem brzmienia. Zgranie pierwsze było ciemniejsze, nieagresywne, dobrze oddawało naturalną przestrzeń pomieszczenia, choć odbiegało od wzorców preferowanych we współczesnych nagraniach.

Zgranie drugie było jaśniejsze, ostrzejsze i agresywniejsze. Pasma częstotliwości powyżej 2 kHz brzmiało mniej naturalnie. Plan nagrania był bliższy.

⁵⁰ REDD 47 – legendarny brytyjski lampowy przedwzmacniacz mikrofonowy z lat pięćdziesiątych XX wieku. W 1955 roku inżynier Lenn Page stworzył w Studio Abbey Road dział Redd – akronim nazwy Record Engineering Development Department. Dział ten zajmował się projektami urządzeń studyjnych. Powstało w nim wiele legendarnych konstrukcji przedwzmacniaczy mikrofonowych, kompresorów i konsol.

⁵¹ RCA BA6A – kompresor typu Vari-Mu. Zaprojektowany przez firmę RCA w 1951 roku jako urządzenie przeznaczone do rozgłośni radiowych.

⁵² Izotope – założona w 2001 roku firma działająca w dziedzinie oprogramowania Pro Audio.

Następnym krokiem było połączenie pierwszej i drugiej nakładki. Można to było zrobić na wiele sposobów, jako zmienną traktując wybór mikrofonów i ich proporcje. Zdecydowano się na wykorzystanie mikrofonów dynamicznych wstęgowych.

Połączenie dwóch identycznych ustawień powodowało wrażenie problemów fazowych. Najlepszym rozwiązaniem okazało się zgranie, w którym do najlepiej brzmiącej pierwszej nakładki dodano drugą o identycznej głośności, ale opartą głównie na dalej ustawionych mikrofonach ogólnych.

Równie dobrze brzmiącym rozwiązaniem było dodawanie do pierwszej nakładki opartej wyłącznie na mikrofonach dynamicznych wstęgowych drugiej nakładki opartej wyłącznie na mikrofonach pojemnościowych. Uzyskane brzmienie było spójne, bez problemów fazowych. Sprawiało wrażenie nagrania bardziej współczesnego, w porównaniu do zgrania w całości opartego na mikrofonach dynamicznych wstęgowych, jakie mogłoby być zrealizowane kilkadziesiąt lat temu.

Dodanie trzeciej nakładki, nagranej z użyciem tłumików, powiększało brzmienie zespołu muzycznego. Wybór mikrofonów i ich proporcje nie miały już tak wyraźnego wpływu na brzmienie całej sekcji instrumentów. Ponieważ użycie wyłącznie mikrofonów dynamicznych wstęgowych dawało równie dobry efekt jak mikrofonów pojemnościowych, zdecydowano się na użycie tych pierwszych. Głośność zgrania trzeciej nakładki była niższa od pozostałych o około 4dB. Proporcje mikrofonów były podobne jak w pierwszej nakładce.

Tak przygotowane zgranie zostało rozjaśnione filtrem półkowym górnozakresowym.

Użyte w zgraniu mikrofony i korekcja barwy wyszczególniono w tabeli nr 9.

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
Sekcja instrumentów smyczkowych	MELODIUM RM6, 42B BEYERDYNAMIC M160, M130 HUM RS2, AEA A440	PSP Classic Q Filtr półkowy górnzakresowy: +3dB, powyżej 6,4kHz	BRAK

Tabela 9. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów smyczkowych

4.3. Zgranie sekcji instrumentów dętych drewnianych

Sekcja instrumentów dętych drewnianych składała się z fletu, klarnetu, oboju i fagotu. Nagrywano tylko jedną nakładkę. Właściwe proporcje osiągnęto prosząc muzyków o zmianę głośności. Podobnie jak w przypadku sekcji instrumentów smyczkowych zgranie rozpoczęło od wyboru mikrofonów i ustawienia ich proporcji. Przygotowano zgranie wykorzystujące mikrofony dynamiczne wstęgowe i drugie zgranie używając mikrofonów pojemnościowych.

Brzmienie mikrofonów dynamicznych wstęgowych było zaskoczeniem. Instrumenty brzmiały pełniej i bardziej naturalnie. Mikrofony wierniej oddawały przestrzenność pomieszczenia.

Częstotliwości powyżej 2 kHz pozbawione były agresywnej ostrości, jak to miało miejsce w przypadku zgrania mikrofonów pojemnościowych.

Zgranie zostało rozjaśnione filtrem półkowym górnozakresowym. Użyte w zgraniu mikrofony i korekcja barwy wyszczególniono w tabeli nr 10.

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
Sekcja instrumentów dętych drewnianych	MELODIUM RM6, 42B BEYERDYNAMIC M160, M130 HUM RS2, AEA A440	PSP Classic Q Filtr półkowy górnzakresowy: +4dB, powyżej 7,4kHz	BRAK

Tabela 10. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów dętych drewnianych

4.4. Zgranie sekcji instrumentów dętych blaszanych

Sekcja instrumentów dętych blaszanych składała się z trąbki, puzonu i waltorni. Rejestracja instrumentów tej sekcji została dokonana metodą nakładania kolejnych głosów przez trzech muzyków: trębacza, waltornistę i puzonistę. Wybór mikrofonów i ustawienie proporcji w zgraniu był więc wyborem spośród bardzo wielu możliwości.

Przygotowano kilka propozycji zgrania: pierwsza przy użyciu tylko mikrofonów dynamicznych wstęgowych, druga wyłącznie mikrofonów pojemnościowych, trzecia wykorzystywała bliskie mikrofony dynamiczne wstęgowe, a dalekie pojemnościowe i czwarta, w której każda druga nakładka była nagrana na inny mikrofon. Zgrania te znacznie różniły się brzmieniem. Wersja zrealizowana wyłącznie za pomocą mikrofonów dynamicznych wstęgowych była łagodniejsza, ciemniejsza, oddalona w przestrzeni, naturalnie pokazująca charakter źródła dźwięku. Zamiana mikrofonów na pojemnościowe rozjaśniała brzmienie. Dźwięk stawał się bardziej dynamiczny, krzyczący, wybijający się. Plan nagrania był bliższy.

Wybrano wersję wykorzystującą wyłącznie mikrofony dynamiczne wstęgowe. Zgranie zostało rozjaśnione filtrem półkowym górnozakresowym. Użyte w zgraniu mikrofony i korekcja barwy wyszczególniono w tabeli nr 11.

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
Sekcja instrumentów dętych blaszanych	MELODIUM RM6, 42B BEYERDYNAMIC M160, M130 HUM RS2, AEA A440	PSP Classic Q Filtr półkowy górnzakresowy: +4dB powyżej 7,4kHz	BRAK

Tabela 11. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów dętych blaszanych

4.5. Zgranie wokali solowych

Wokale w musicalu pełnią rolę nadrzędną. Są nośnikiem treści. Muszą być w każdym momencie czytelne. Ich jakość decyduje o końcowym sukcesie fonogramu w stopniu znacznie większym niż innych sekcji.

Podczas nagrania mikrofon pojemnościowy był ustawiony nieco korzystniej względem źródła dźwięku - wokalista słyszał w słuchawkach sygnał z tego mikrofonu i instynktownie przesuwał się w jego stronę.

Mikrofon dynamiczny wstęgowy brzmiał zbyt ciemno. Jego zalety podczas nagrywania poprzednich sekcji instrumentów, takie jak naturalność, nieagresywność, naturalność przestrzeni, tutaj wydawały się wadami. Zrozumiałość tekstu była niska. Pasma częstotliwości powyżej 1 kHz było zbyt mało obecne. Energia dźwięku – niewielka.

Porównanie mikrofonu AEA A440 i Telefunken U47 zdecydowanie wskazywało na mikrofon pojemnościowy. Głos brzmiał pełnym pasmem. Tekst był doskonale czytelny. Barwa – jasna, ciepła i naturalna.

Dopiero korekcja barwy dźwięku odkryła piękno brzmienia mikrofonu dynamicznego wstęgowego. Użycie filtra półkowego górnzakresowego, dodającego 6 dB powyżej częstotliwości 5,6 kHz zmieniło ocenę nagrania. Wokal brzmiał bardzo naturalnie. Plan dźwiękowy był nieco dalszy w porównaniu z mikrofonem pojemnościowym. Zwłaszcza fragmenty śpiewane forte brzmiały korzystniej, nie zmieniając swojej barwy na agresywną w paśmie powyżej 2 kHz, jak to miało miejsce w przypadku mikrofonu pojemnościowego. Okazało się, że po zastosowaniu korekcji barwy dźwięku i kompresji dynamiki mikrofon dynamiczny wstęgowy dorównuje legendarnemu pojemnościowemu U47.

Porównując oba mikrofony stwierdzono, że mikrofon pojemnościowy był głośniejszy we fragmentach śpiewanych piano o kilka decybeli. Mikrofon dynamiczny wstęgowy wymagał większej kompresji dynamiki lub ręcznej edycji zbyt cichych fragmentów wokalu. Zjawisko to było zaskoczeniem.

Przed zgraniem dokonano korekty intonacji wokali plug-inem AutoTune firmy Antares.

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
Wokale solowe	AEA A440	PSP Classic Q Filtr półkowy górnzakresowy: +6dB, powyżej 5,6kHz	Purple Audio MC77 ⁵³ redukcja około 6 dB, ratio 1:4. RCA Ba6A redukcja około 3 dB, ratio 12:1

Tabela 12. Korekcja barwy i kompresja dynamiki wokali solowych

⁵³ MC77 – kompresor typu FET. Konstrukcja beztransformatorowa będąca wariacją klasycznego kompresora UREI 1176.

4.6. Zgranie chóru

Chór nagrano za pomocą 14 mikrofonów różnych typów. Podobnie jak w przypadku sekcji instrumentów smyczkowych rejestracji dokonano metodą nakładkową, która pozwala osiągnąć brzmienie dużego chóru z małym profesjonalnym zespołem.

Nagrano trzykrotnie szesnastoosobową grupę chórzystów.

Zgranie rozpoczęło się od dokonania wyboru mikrofonów i ustawienia proporcji. W pierwszej kolejności została przygotowana wersja wykorzystująca wyłącznie mikrofony dynamiczne wstęgowe. Dźwięk był ciemny, zrozumiałość tekstu niska.

Po rozjaśnieniu o 6 dB filtrem półkowym górnozakresowym pasma powyżej 5,6 kHz brzmienie wyraźnie się poprawiło. Dźwięk stał się wyrównany w całym paśmie częstotliwości. Pojawiła się dobra czytelność tekstu. Plan nagrania był dosyć daleki, z dużą obecnością przestrzeni pomieszczenia, ale nie było to wadą.

Następnie wykonano zgranie używając mikrofonów pojemnościowych. Było ono, podobnie jak w przypadku nagrania wokali solowych, jaśniejsze. Dźwięk był dynamiczny, czytelność szczegółów bardzo dobra. Zrozumiałość tekstu doskonała.

Porównując zgrania bez korekcji barwy dźwięku, lepszym wyborem była wersja druga. Brzmiała jaśniej, bardziej dynamicznie. Jednak rozjaśnienie wersji pierwszej spowodowało, że decyzja nie była już tak oczywista. Mikrofony dynamiczne wstęgowe miały w sobie niezwykłą naturalność. Brzmiały ciepło, nieco mniej dynamiczne od wersji pojemnościowej, ale spokojniej i przyjemniej.

Podczas łączenia trzech nakładek chóru najlepiej brzmiało połączenie: pierwsza nakładka – tylko mikrofony ogólne, druga nakładka – mikrofony ogólne 50% + tylne rzędy chóru, trzecia nakładka – mikrofony ogólne 30% + mikrofony bliskie.

Instrument	Użyty mikrofon	Korekcja barwy	Kompresja dynamiki
Chór	MELODIUM RM6, 42B BEYERDYNAMIC M160, HUM RS2, AEA A440	PSP Classic Q Filtr półkowy górnzakresowy: +6dB powyżej 5,6kHz	BRAK

Tabela 13. Korekcja barwy i kompresja dynamiki chóru

4.7. Zgranie wszystkich sekcji dzieła

Kolejnym etapem tworzenia dzieła było połączenie przygotowanych zgrań każdej z sekcji instrumentów w jedną całość w formacie stereo.

Zgrania grup instrumentów zostały wykonane w domenie cyfrowej, w programie Pro Tools Ultimate. Zgranie wszystkich sekcji zostało wykonane za pomocą analogowego sumatora SSL SIGMA DELTA umożliwiającego sumowanie szesnastu stereofonicznych sygnałów analogowych do postaci stereofonicznej.

Każda sekcja instrumentów wykorzystywała jedno wejście stereofoniczne. Wyjątkiem była sekcja rytmiczna, w której zestaw perkusyjny, gitara basowa i pianino elektryczne podłączono do oddzielnych wejść.

Zsumowany sygnał stereofoniczny poprzez analogowy optyczny kompresor Dynax ALSO⁵⁴ nagrywano na stereofoniczny ślad sesji Pro Tools.

Podczas pracy słuchano zgrania ze wstępnym masteringiem. Założono przewidywaną głośność materiału na -14 LUFS⁵⁵. Użyto narzędzia masteringowego IZOTOPE OZONE 10. Jego działanie nie było nagrywane, a jedynie słyszalne w torze odsłuchu. Ostateczne wykonanie procesu masteringu nastąpiło po zakończeniu procesu zgrania wszystkich utworów.

Pracę rozpoczęto od połączenia zestawu perkusyjnego z gitarą basową i pianinem elektrycznym. Zestaw perkusyjny uprzestrzenniono dodając pogłos PSP EMT2445 do werbla i tom-tomów. Następnie dodano zgranie sekcji instrumentów smyczkowych, dętych drewnianych, dętych blaszanych oraz chór. Przechylenność każdej sekcji kształtowano za pomocą zewnętrznych urządzeń pogłosowych Lexicon 960⁵⁶, Bricasti M7⁵⁷ i plug-inów PSP EMT2445 i Soundtoys Little Plate. Każdą z sekcji poddano kompresji dynamiki za pomocą plug-inu Ozone 9 lub PSP FETpressor. Proces tworzenia zgrania obejmował kilkunastokrotne powroty do ustawień korekcji barwy dźwięku i kompresji dynamiki każdej z sekcji. Zmieniano ustawienia urządzeń pogłosowych i liczbę dodawanych pogłosów.

Po uzyskaniu satysfakcjonującego brzmienia sekcji instrumentalnych musicalu dodano wokale solowe i chóry oraz instrumenty elektroniczne MIDI⁵⁸. Ponownie wracano do wszystkich ustawień każdej z sekcji zmieniając je aż do uzyskania końcowego efektu zadowalającego doktoranta.

Po zaakceptowaniu brzmienia utworu skopiowano ustawienia wszystkich parametrów sesji Pro Tools do pozostałych utworów. Następnie korygowano proporcje i ustawienia sesji w każdym z kolejno zgrywanych utworów. Po kilkunastu dniach pracy uzyskano zadowalający efekt.

⁵⁴ Dynax 2 – tranzystorowy kompresor optyczny produkowany przez firmę Oliviera Bollinga, Alternate Soundings we Francji.

⁵⁵ LUFS (Loudness Unit Full Scale) – jednostka pomiaru średniej głośności nagrania.

⁵⁶ Lexicon – legendarna amerykańska firma produkująca cyfrowe urządzenia pogłosowe.

⁵⁷ Bricasti Design – amerykańska firma produkująca cyfrowe urządzenia pogłosowe.

⁵⁸ Użyto następujących instrumentów MIDI: tuba, kontrabas, strings, harfa, glockenspiel, melody, instrumenty perkusyjne, kotły, wibrafon, dźwięk kowadła.

4.8. Mastering zgranego materiału

Podczas zgrywania wszystkich utworów wchodzących w skład dzieła w torze odsłuchowym pracował plug-in masteringowy IZOTOPE OZONE 10. Użyto korekcji barwy dźwięku *Equaliser 1* i limiter *Maximiser*. Pomiarów głośności dokonywano za pomocą plug-inu Waves WLM PLUS. Poziom zgrań ustawiano na -12,9 LUFS.

Po zakończeniu procesu zgrania przystąpiono do sprawdzenia poprawności ustawień plug-inu masteringowego indywidualnie w każdym utworze. Nieznaczne ingerencje w korekcje barwy dźwięku i kompresję dynamiki były potrzebne do uzyskania powtarzalnego brzmienia kolejnych fonogramów dzieła.

Następnym krokiem było stworzenie DDP⁵⁹ dzieła w programie komputerowym firmy Hofs-plugins: CD-Burn DDP Master..

Ustawiono kolejność utworów, ich głośność i pauzy pomiędzy nimi. Wpisano CD-TEXT⁶⁰. Po upływie kilku dni przesłuchano wynik pracy. Uznano, że potrzebny jest powrót do zgrań utworów i zmiany w proporcji i brzmieniu instrumentów. Proces przesłuchania, podjęcia decyzji o koniecznych poprawkach, następnie ponowna kontrola jakości fonogramu zajęł kilka dni.

Otrzymano dzieło gotowe do publikacji.

⁵⁹ DDP (Disc Description Protocol) – format wirtualnej płyty CD Audio zawierającej wszystkie informacje potrzebne tłoczni płyt kompaktowych do produkcji. Został opracowany dla firmy DCA przez Douga Carsona w 2004 roku. W kolejnych latach rozszerzono listę opisywanych nośników o DVD i HD DVD ROOM. Zabezpieczenie sumą kontrolną MD5 umożliwia bezpieczne przesyłanie DDP przez Internet.

⁶⁰ CD-TEXT – funkcja umożliwiająca nagranie na płytę CD Audio informacji w kilkunastu kategoriach opisujących jej zawartość. Są to między innymi: tytuł płyty, wykonawca, kompozytor, autor tekstów, kody identyfikacyjne i inne.

5. Test odsłuchowy⁶¹

Do udziału w teście zaproszono 10 osób posiadających wykształcenie muzyczne. Byli to reżyserzy dźwięku (pięciu), producenci muzyczni (dwóch), wybitni muzycy z dużym doświadczeniem w pracy w studiu (trzech).

Przygotowano zgrania wybranych utworów musicalu nagranych za pomocą:

- wyłącznie mikrofonów pojemnościowych – **oznaczając je jako zgrania A;**
- wyłącznie mikrofonów dynamicznych wstęgowych – **oznaczają je jako zgrania B;**

Zachowując ustawienia korekcji barwy dźwięku i kompresji dynamiki, takie jak w zgraniu całego utworu przygotowano zgrania poszczególnych sekcji instrumentów, chórów i wokali o długości od kilkunastu do dwudziestu kilku sekund. Powstały dwie wersje: bez pogłosów i z pogłosami. W przypadku zgrań całości nie wykonano wersji bez pogłosu.

Tak więc każdy wybrany fragment utworu został przygotowany w czterech wersjach dla każdej sekcji instrumentów:

A bez pogłosu	B z pogłosem	A bez pogłosu	B z pogłosem
--------------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------

Tabela 14. Opis testu odsłuchowego

Test składał się z 35 odcinków muzycznych:

- trzech dla sekcji instrumentów smyczkowych;
- trzech dla sekcji instrumentów dętych drewnianych;
- trzech dla sekcji instrumentów dętych blaszanych;
- dwóch dla zestawu perkusyjnego (tylko w wersji z pogłosami);
- dwóch dla chóru;
- trzech dla wokali solowych;
- zgrania pięciu różnych fragmentów musicalu (tylko w wersji z pogłosami).

Udzielano odpowiedzi w skali od 1 do 5 (1 oznacza odpowiedź negatywną, a 5 pozytywną).

Początkowo oceniano nagrania w siedmiu kategoriach:

Naturalność brzmienia	Precyzja lokalizacji źródeł dźwięku	Spójność brzmienia	Podatność na uprzestrzenni enie	Pozorna wielkość źródeł	Bogactwo brzmienia	Preferencje słuchacza
--------------------------	--	-----------------------	---------------------------------------	----------------------------	-----------------------	--------------------------

Tabela 15. Kategorie oceny nagrań

⁶¹ Test odsłuchowy załączono w postaci płyty CD Audio

Przykład numer jeden zawsze był wersją używającą mikrofonów pojemnościowych (**A**), numer dwa - dynamicznych wstęgowych (**B**). Arkusz odpowiedzi wyglądał następująco:

		Pogłos	Naturalność brzmienia	Precyzja lokalizacji źródeł dźwięku	Spójność brzmienia	Podatność na uprzestrzennienie	Pozorna wielkość źródeł	Bogactwo brzmienia	Preferencje słuchacza							
			Numer przykładu													
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Instr. smyczkowe 1	brak														
2		+														
3	Instr. smyczkowe 2	brak														
4		+														
5	Instr. smyczkowe 3	brak														
6		+														
7	Instr. dęte drewniane 1	brak														
8		+														
9	Instr. dęte drewniane 2	brak														
10		+														
11	Instr. dęte drewniane 3	brak														
12		+														
13	Instr. dęte blaszane 1	brak														
14		+														
15	Instr. dęte blaszane 2	brak														
16		+														
17	Instr. dęte blaszane 3	brak														
18		+														
19	Zestaw perkusyjny 1	+														
20	Zestaw perkusyjny 2	+														
21	Chór 1	brak														
22		+														
23	Chór 2	brak														
24		+														
25	Wokal 1	brak														
26		+														
27	Wokal 2	brak														
28		+														
29	Wokal 3	brak														
30		+														
31	Zgranie 1	+														
32	Zgranie 2	+														
33	Zgranie 3	+														
34	Zgranie 4	+														
35	Zgranie 5	+														

Tabela 16. Arkusz odpowiedzi nr 1

Po przeprowadzeniu pierwszych trzech testów okazało się, że osoby testowane nie są w stanie odpowiedzieć na tak dużą liczbę pytań. Zmniejszono liczbę kategorii podlegających ocenie. Pozostawiono:

Naturalność brzmienia	Spójność brzmienia	Bogactwo brzmienia	Preferencje słuchacza
-----------------------	--------------------	--------------------	-----------------------

Tabela 17. Zmniejszona liczba kategorii oceny nagrań

Zmieniono kolejność wersji **A i B** na przypadkową. Przykład numer jeden oznaczał wersję mikrofonów **A lub B**. Arkusz odpowiedzi testu odsłuchowego został zmieniony:

Numer tracku		Pogłos	Naturalność brzmienia		Spójność brzmienia		Bogactwo brzmienia		Preferencje słuchacza	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1	zapowiedź		1	2	1	2	1	2	1	2
2	Instr. smyczkowe 1	brak								
		+								
	Instr. smyczkowe 2	brak								
		+								
	Instr. smyczkowe 3	brak								
		+								
3	Instr. dęte drewniane 1	brak								
		+								
	Instr. dęte drewniane 2	brak								
		+								
	Instr. dęte drewniane	brak								
		+								
4	Instr. dęte blaszane 1	brak								
		+								
	Instr. dęte blaszane 2	brak								
		+								
	Instr. dęte blaszane 3	brak								
		+								
5	Zestaw perkusyjny 1	+								
	Zestaw perkusyjny 2	+								
6	Chór 1	brak								
		+								
	Chór 2	brak								
		+								
7	Wokal 1	brak								
		+								
	Wokal 2	brak								
		+								
	Wokal 3	brak								
		+								
8	Zgranie 1	+								
	Zgranie 2	+								
	Zgranie 3	+								
	Zgranie 4	+								
36	Zgranie 5	+								

Tabela 18. Arkusz odpowiedzi nr 2

Wykorzystując opis przyporządkowania kolejnym numerom przykładów⁶² (1 i 2), rodzaje użytych mikrofonów (A i B), obliczono średnie oceny słuchaczy. Były one następujące:

	Naturalność brzmienia		Spójność brzmienia		Bogactwo brzmienia		Preferencje słuchacza	
	Rodzaj użytych mikrofonów							
	A	B	A	B	A	B	A	B
Instrumenty smyczkowe	2,6	4	2,5	4	3,4	3,4	3,2	3,6
Instrumenty dęte drewniane	3,2	4	3,8	3,9	3,8	3,8	3,9	4
Instrumenty dęte blaszane	3,6	3,7	3,1	3,3	3,2	3,8	3,3	3,6
Zestaw perkusyjny	3,1	4,2	3,3	3,7	3,2	3,6	3,1	3,8
Chór	4,1	3,2	3,8	3,1	3,8	3,3	4,1	3,2
Wokale	4,1	3,7	3,9	3,8	4,1	3,5	3,9	3,4
Zgrania	4,5	4,4	4,4	4,1	4,2	4,1	4,5	4,1

Tabela 19. Średnie oceny słuchaczy.

Analiza średnich ocen słuchaczy przedstawiona w tabeli nr 19 pokazuje:

Zgranie używające mikrofonów dynamicznych wstępnych B zostało ocenione równorzędnie lub wyżej we wszystkich kategoriach dla:

sekcji instrumentów smyczkowych ⁶³	sekcji instrumentów dętych drewnianych ⁶⁴	sekcji instrumentów dętych blaszanych	perkusji
---	--	---------------------------------------	----------

Tabela 20. Sekcje, dla których mikrofony wstępowe oceniono wyżej

Zgranie używające mikrofonów dynamicznych wstępnych B zostało ocenione niżej we wszystkich kategoriach dla:

Chóru	Wokali	Zgrania
-------	--------	---------

Tabela 21. Sekcje, dla których mikrofony wstępowe oceniono niżej.

⁶² Był to rodzaj klucza graficznego złożonego z kolorowych bloków umieszczonych na śladzie sesji Pro Tools.

⁶³ W kategorii „Bogactwo brzmienia” oceny dla wersji mikrofonów A i B są identyczne.

⁶⁴ W kategorii „Bogactwo brzmienia” oceny dla wersji mikrofonów A i B są identyczne.

Z powyższych ocen wynika, że zgrania wszystkich sekcji instrumentalnych nagranych przy użyciu mikrofonów dynamicznych wstęgowych (B), brzmiały w ocenie słuchaczy lepiej. Natomiast chóry i wokale otrzymały wyższą punktację w wersji nagranej z zastosowaniem mikrofonów pojemnościowych (A).

Zaskakująca jest ocena zgrania całościowego. Wyraźnie wyższe oceny mają zgrania z użyciem zestawu A. Ocena słuchaczy być może sugeruje, że sekcje instrumentalne powinny zostać nagrane za pomocą zestawu B, a chóry i wokale za pomocą zestawu A.

Podczas wykonywania testu żaden z uczestników nie stwierdził, że przykłady numer jeden i dwa są niemożliwe do rozróżnienia. Oznacza to potwierdzenie istnienia wyraźnych różnic brzmienia występujących pomiędzy nagraniami dokonanymi przy pomocy mikrofonów pojemnościowych i dynamicznych wstęgowych.

6. Wybór zestawu mikrofonowego jako środek kreacji brzmienia

Utwór muzyczny można wykonać na wiele sposobów. Różnica może polegać na zmianie tempa, dynamiki, instrumentu, wykonawcy, sali koncertowej... Każda zmiana ma wpływ na jego końcowe brzmienie. Wybór może być zaplanowany, wynikający z dążenia do osiągnięcia określonego efektu końcowego, lub wymuszony przez czynniki zewnętrzne. Może też być próbą przerwana, niezrealizowana, która pozostanie planem na przyszłość.

Rozpoczęcie procesu realizacji nagrania wiąże się z koniecznością odpowiedzi na szereg pytań. Należy wybrać miejsce i sposób ustawienia wykonawców w studiu nagraniowym, rodzaj i modele mikrofonów, ich ilość, czy odległość od źródła dźwięku. Każda podjęta decyzja ma bezpośredni wpływ na końcowe brzmienie.

Świadomy wybór środków kreacji wymaga rozumienia następstw jakie on ze sobą niesie. Zaplanowanie ścieżki realizacji nagrania muzycznego zmusza do zastanowienia się nad konsekwencjami każdego kroku. Może to być droga już znana, wynikająca z wiedzy i doświadczenia, lub eksperyment odkrywający nowe możliwości.

6.1 Specyficzny dobór mikrofonów użytych podczas realizacji dzieła

Rozwój jest obowiązkiem każdego twórcy. Staje się poszukiwaniem, dążeniem do sprawdzenia, weryfikacją przeprowadzonego doświadczenia i nieustannym eksperymentem.

Podczas tworzenia dzieła „Pora Jeziora” wybór mikrofonów został dokonany w sposób eksperymentalny.

Jakie są tego konsekwencje? Czy można na ich podstawie dokonać świadomej zmiany sposobu nagrania fragmentu utworu, lub całego dzieła?

Przed rozpoczęciem pracy podjęto decyzję, o odwróceniu klasycznej ścieżki realizacji fonogramu. Nagrania dokonano dwoma zestawami mikrofonów. Ten pierwszy - klasyczny, będący zwykle podstawowym został użyty jedynie jako punkt odniesienia, jako narzędzie pozwalające ocenić wartość drugiego zestawu. Zestaw eksperymentalny – złożony z mikrofonów dynamicznych wstęgowych, stał się głównym bohaterem egzemplifikacji.

Takie odwrócenie sposobu nagrania uzupełniono założeniem, że efekt pracy zostanie opublikowany jako dzieło. Zostaną wykorzystane wszelkie środki techniki studyjnej w celu zgrania utworów muzycznych, tak aby mogły być uznane jako artystycznie wartościowe.

Porównanie dwóch zestawów mikrofonów mogło być podsumowane jednym zdaniem, wskazującym na wybór jednego z nich. Jednak konieczność realizacji skończonego dzieła z użyciem nowej materii dźwiękowej przekształciło porównanie w długotrwały proces poszukiwania sposobu takiego jej wykorzystania, aby doprowadziło to do pożądanego efektu końcowego. Nie było tylko zwykłym porównaniem, ale pracą zmotywowaną groźbą niepowodzenia. Najdokładniejszą z możliwych weryfikacją brzmienia zestawu wstęgowego.

6.2 Porównanie walorów brzmieniowych mikrofonów dynamicznych wstęgowych, dynamicznymi cewkowymi i pojemnościowymi

Wydawałoby się, że podczas zgrania można uzyskać dowolny efekt brzmieniowy, niezależnie od rodzaju użytych mikrofonów. Pomimo ogromnych możliwości współczesnej techniki studyjnej i komputerowych stacji audio, nie jest to możliwe.

Użycie mikrofonów dynamicznych wstęgowych zamiast mikrofonów dynamicznych cewkowych, jest działaniem radykalnie zmieniającym brzmienie nagrywanego instrumentu. Miało ono miejsce podczas nagrywania zestawu perkusyjnego. Uprawnione może być stwierdzenie, że podobny efekt mógłby nastąpić po zastąpieniu mikrofonów dynamicznych cewkowych pojemnościowymi. Zmieniła się separacja instrumentów, charakter brzmienia, barwa dźwięku. W tym przypadku zmiana nie była przekonywująca. Nie osiągnięto poprawy, raczej zwiększono trudność uzyskania zamierzonego efektu końcowego.

Na obecnym etapie doświadczeń użycie mikrofonów dynamicznych wstęgowych do nagrywania instrumentów zestawu perkusyjnego: bębna basowego, werbla i tom tomów, może być określane jako niezalecane.

Nie sprawdzono takiej zmiany w przypadku gitar elektrycznych i kontrabasów jazzowych. Nie było tych instrumentów w nagraniu musicalu. Jednak doświadczenia doktoranta zdecydowanie potwierdzają doskonałe rezultaty w obu przypadkach.

Zastąpienie mikrofonów pojemnościowych przez mikrofony dynamiczne wstęgowe jest zmianą na równorzędne medium dźwiękowe. Następuje zmiana, ale nie pogorszenie. Różnice brzmienia można podzielić na odwracalne i nieodwracalne.

Różnica odwracalna to barwa dźwięku. Każdy nagranie dokonane za pomocą mikrofonów z zestawu wstęgowego brzmi ciemniej, od nagrania dokonanego przy użyciu mikrofonów pojemnościowych. Możemy te zmiany odwrócić używając korekcji barwy dźwięku. Zwłaszcza, że szczególną cechą charakterystyczną mikrofonów dynamicznych wstęgowych jest mniejsza słyszalność użytej korekcji. Dźwięk rozjaśniony brzmi tak naturalnie, jakby korekcji nie było. Oczywiście w barwie dźwięku pozostają wszystkie cechy charakterystyczne dla tego typu mikrofonu.

Drugą różnicą odwracalną jest odwzorowanie głośności dźwięku. Mikrofony dynamiczne wstęgowe mają rozszerzoną krzywą dynamiki⁶⁵. Wielokrotnie okazywało się, że piano nagrane za pomocą mikrofonu z zestawu wstęgowego było głębsze od piana mikrofonu pojemnościowego umieszczonego w tym samym planie. Po dokonaniu edycji głośności lub większej kompresji dynamiki różnica zniknęła.

Jakie są różnice nieodwracalne? Przede wszystkim inny jest charakter dźwięku mikrofonów dynamicznych wstęgowych. Dominuje wrażenie naturalności. Instrumenty brzmią tak jak w studio. Nieodwracalna jest również różnica w charakterze przestrzeni. W nagraniu dokonanym za pomocą mikrofonów dynamicznych wstęgowych jest ona głębsza. Pojawia się wrażenie większego pomieszczenia.

⁶⁵ Efekt ten był szczególnie zauważalny podczas nagrywania wokalistów. W cichych fragmentach głośność wokali nagranych za pomocą mikrofonów dynamicznych wstęgowych była niższa o kilka decybeli od głośności tych samych fragmentów nagranych przy użyciu mikrofonów pojemnościowych.

6.3 Zastosowanie mikrofonów dynamicznych wstęgowych do nagrań muzyki klasycznej

Z powyższych rozważań wynika wniosek, że aby mikrofony te były użyteczne, w większości przypadków wymagane jest użycie korekcji barwy dźwięku. Dlaczego nie produkuje się mikrofonów z korekcją wewnętrzną? Zgodnie z tradycją historyczną producenci dostarczają profesjonalnemu odbiorcy produkt pozbawiony subiektywnych ingerencji. Uważa się, że każdy realizator dźwięku użyje tego narzędzia we właściwy sposób.

Podczas nagrań muzyki poważnej metodą na 100%, praktycznie nie używa się korekcji barwy dźwięku. Jest to postępowanie właściwe w przypadku mikrofonów pojemnościowych, jednak opisywane mikrofony wymagają jej zastosowania. Powinno to być urządzenie wysokiej klasy, na przykład analogowy korektor pasywny⁶⁶. Takie użycie mikrofonów dynamicznych wstęgowych na przykład jako podstawowego mikrofonu planu dalekiego, jest warte sprawdzenia.

6.4 Subiektywne wrażenia autora podczas pracy z mikrofonami dynamicznymi wstęgowymi

Nagrania dokonane za pomocą mikrofonów dynamicznych wstęgowych wyróżniają się swoją oryginalnością. W porównaniu z dźwiękiem innych mikrofonów, są bardziej naturalne, znacznie bliższe wrażeniu które odnosimy słuchając wykonawców w studio nagrań. Ich charakter można opisać słowami : ciepły, miękki.

Brzmienie orkiestry symfonicznej tworzą piękne ciemne instrumenty smyczkowe, naturalne instrumenty dęte drewniane oraz instrumenty dęte blaszane, jakby były tuż obok nas.

Nagrania wokali i chórów, chociaż przegrywają pierwsze porównanie z wersją zarejestrowaną za pomocą mikrofonów pojemnościowych, to po użyciu korekcji barwy dźwięku stają się im równorzędne. Nie uzyskamy jednak agresywnego brzmienia, przebojowości, dominacji i nadrzędności. Wokale i chóry raczej miękko dołączają do instrumentów, niż rozpoczną z nimi współzawodnictwa o prymat w nagraniu.

Sekcja rytmiczna zabrzmie delikatnie i malowniczo, choć być może nieco za cicho. Te mikrofony nie krzyczą, operują wieloma językami i różnymi poziomami głośności. Nie będą powtarzać jednej sylaby werbla przez cały utwór. Jeśli jednak zastosujemy je do nagrywania overheadów, ambiensu i hi-hatu, pozostawiając mikrofony dynamiczne cewkowe dla rejestracji bębna basowego, werbla i tom tomów, osiągniemy optymalny efekt.

⁶⁶ Analogowy korektor pasywny barwy dźwięku wykorzystuje pasywne filtry RLC, które w przeciwieństwie do konstrukcji opartych na wzmacniaczach operacyjnych, brzmią bardzo neutralnie.

7. Podsumowanie

Wybór mikrofonów to jedna z decyzji jaką podejmuje reżyser dźwięku rozpoczynając pracę nad nagraniem. Ma fundamentalne znaczenie dla dalszej pracy. Określa jego styl i charakter. W zależności od stopnia przetworzenia materiału muzycznego podczas edycji i zgrania, jego rola będzie mniejsza lub większa, jednak zawsze istotna.

Jest on porównywalny z decyzją o wyborze techniki malarskiej w sztukach plastycznych, William Turner⁶⁷ angielski malarz określany jako twórca malarstwa nowoczesnego, używał różnych technik nakładania farb. Posługiwał się pędzlem, szmatką, nożykiem, palcami, zeskrobywał, nakładał kolejne warstwy... Zastosowana technika malarska, niezależnie od szczegółów, pozostaje podstawową cechą różnicującą jego prace. Farby olejne nigdy nie będą podobne do farb wodnych. Płótno, deska, papier będą określać charakter dzieła niezależnie od innych środków wyrazu, jakie zastosował twórca, mimo że będzie nim ta sama osoba.

Wybór mikrofonów jest takim wyborem farby. Znakiem szczególnym, widocznym zawsze. Niezależnie od dalszych kroków artysty będzie słyszalny w zgraniu i zdecyduje o jego brzmieniu.

Tak jak w przypadku sztuk plastycznych, same narzędzia nie wystarczają do osiągnięcia wybitnego efektu. Dopiero zrozumienie ich działania połączone z wrażliwością twórcy, decyduje o tym, czy efektem końcowym będzie dzieło przykuwające uwagę, czy też nagranie niewyróżniające się artystyczną jakością.

Brzmienie instrumentów muzycznych nagranych przy pomocy mikrofonów dynamicznych wstępowych nie można wartościować jako lepsze lub gorsze od nagrań dokonanych przy pomocy innych mikrofonów. Jest ono inne tak jak akwarela różni się od farb olejnych. Użycie tych mikrofonów stwarza możliwość osiągnięcia odmiennego efektu estetycznego. Poszerza paletę dostępnych środków kreacji artystycznego wyrazu dzieła. Zmiana rodzaju użytych mikrofonów odmienia brzmienie nagrania.

Podsumowując, chciałbym aby ta praca przyczyniła się do zauważenia mikrofonów dynamicznych wstępowych, zrozumienia wpływu ich użycia na estetyczny efekt końcowy, oraz do traktowania ich wyboru jako niezwykle ważnego środka kreacji artystycznej postaci nagrania muzycznego.

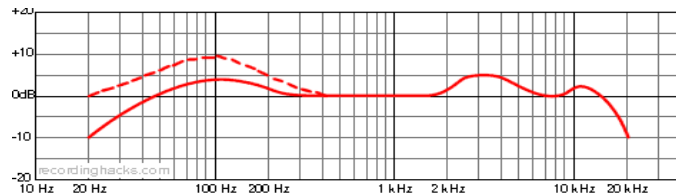
⁶⁷ Joseph Mallord William Turner ur. w 1775 w Londynie, zm. 19 grudnia 1851 – angielski malarz, uważany za prekursora impresjonizmu. W swych pracach potrafił świetnie uchwycić grę światła. Najbardziej znane prace to *Zachód słońca*, *Deszcz, para, szybkość*, *Upadek Kartaginy* oraz *Burza śnieżna na morzu*.

Załącznik 1. Opis mikrofonów użytych w procesie rejestracji musicalu

1. AKG D112 – transformatorowy mikrofon dynamiczny cewkowy przeznaczony do nagrywania instrumentów o rozszerzonym paśmie niskich częstotliwości, takich jak bęben basowy, bas, w bardzo małej odległości.



Fot. 53. Mikrofon AKG D112
(www.recordinghacks.com)

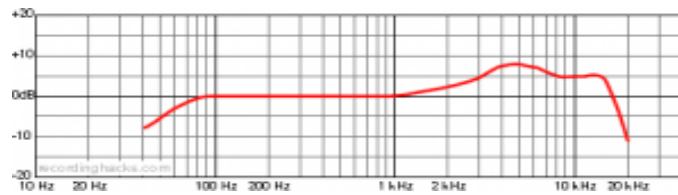


Rys. 23. Charakterystyka mikrofonu AKG D112
(www.recordinghacks.com)

2. Sennheiser MD421 II – transformatorowy mikrofon dynamiczny cewkowy przeznaczony do nagrywania instrumentów muzycznych i wokalu, o podkreślonym zakresie niskich częstotliwości. Aktualnie produkowany.



Fot. 54. Mikrofon Sennheiser MD421
(www.sennheiser.com)

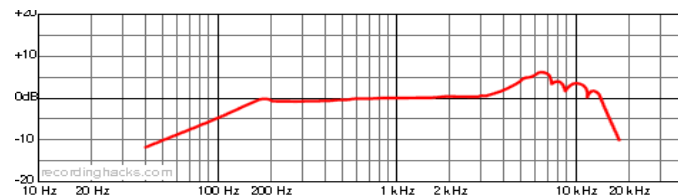


Rys. 24. Charakterystyka mikrofonu Sennheiser MD421
(www.recordinghacks.com)

3. Shure SM57/58 – transformatorowy uniwersalny mikrofon dynamiczny cewkowy. Aktualnie produkowany.

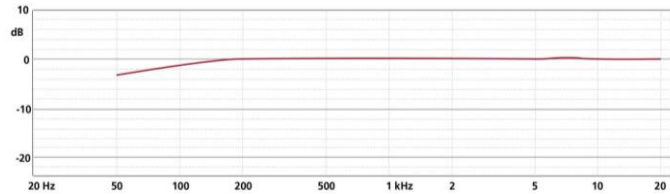


Fot. 55. Mikrofon Shure SM57
(www.shure.com)



Rys. 25. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Shure SM57
(www.recordinghacks.com)

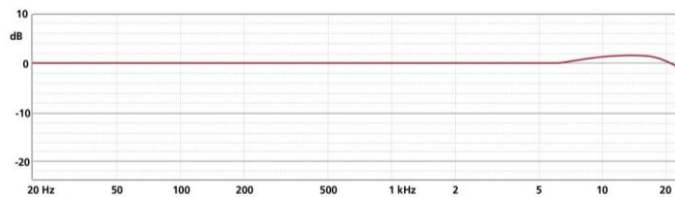
4. Schoeps CMC5 MK4 – beztransformatorowy mikrofon pojemnościowy o kardoidalnej kapsule wykonanej z niklu, polaryzowanej napięciem 60V. Zasilany w systemie fantom 48V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice półprzewodnikowej z elementów dyskretnych.



Fot. 56. Mikrofon Schoeps CMC5 MK4 (www.schoeps.com)

Rys. 26. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Schoeps CMC5 MK4 (www.schoeps.com)

5. Schoeps CMC6 MK2 – beztransformatorowy mikrofon pojemnościowy o dookólnej kapsule wykonanej z niklu, polaryzowanej napięciem 60V. Zasilany w systemie fantom 48V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice półprzewodnikowej z elementów dyskretnych.



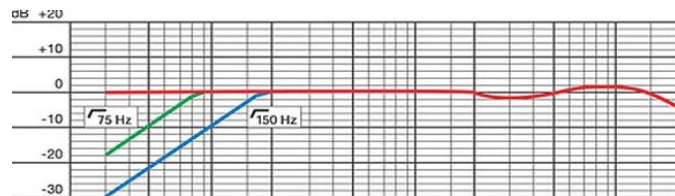
Fot. 57. Mikrofon Schoeps CMC6 MK2 (www.schoeps.com)

Rys. 27. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Schoeps CMC6 MK2 (www.schoeps.com)

6. AKG C414B-ULS – transformatorowy mikrofon pojemnościowy o przełączanej charakterystyce kierunkowej i kapsule CK12 wykonanej z mylaru pokrytego warstwą złota, polaryzowanej napięciem 60V. Zasilany w systemie fantom 48V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice półprzewodnikowej z elementów dyskretnych. Aktualnie produkowana wersja nie dorównuje jakością wersji B-ULS.



Fot. 58. Mikrofon AKG C414 B ULS (www.zzounds.com)

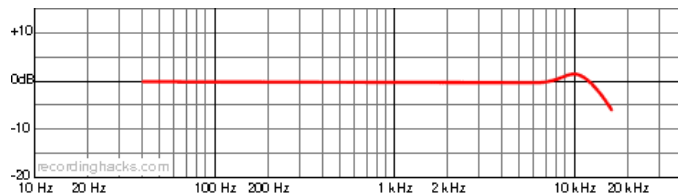


Rys. 28. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AKG C414 B ULS (www.zzounds.com)

7. Neumann U87AI – transformatorowy mikrofon pojemnościowy o przełączanej charakterystyce kierunkowej i kapsule KK87 wykonanej z mylaru pokrytego warstwą złota. Zasilany w systemie fantom 48V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice półprzewodnikowej z elementów dyskretnych. Wersja Ai zawiera wewnętrzną przetwornicę napięcia pozwalającą zasilać kapsułę mikrofonową napięciem 60V w porównaniu do około 46V w poprzednich wersjach U87. Aktualnie produkowany.



Fot. 59. Mikrofon Neumann U87 (www.neumann.com)

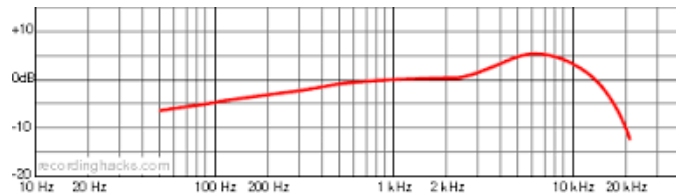


Rys. 29. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U87 (www.recordinghacks.com)

8. Neumann UM57 – transformatorowy mikrofon pojemnościowy o przełączanej charakterystyce kierunkowej i kapsule M7 wykonanej z mylaru pokrytego warstwą złota, polaryzowanej napięciem około 60V. Wymaga zewnętrznego zasilacza o napięciach 120V i 6V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice lampowej w oparciu o lampę Telefunken EC92. Mikrofon pochodzi z lat pięćdziesiątych XX wieku. Został wyprodukowany przez zakłady Neumann w Gefell w Niemczech. Mikrofon został pieczołowicie odnowiony przez doktoranta. Układ wzmacniacza został zmieniony na wersję używaną w konstrukcji Neumann U47.



Fot. 60. Mikrofon Neumann Gefell UM57 (www.recordinghacks.com)

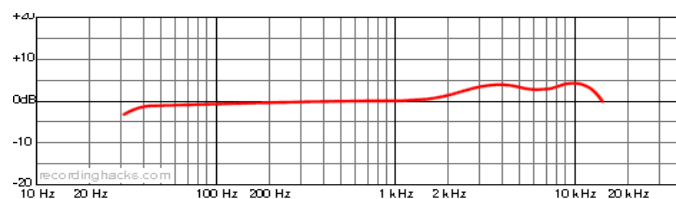


Rys. 30. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann Gefell UM57 (www.recordinghacks.com)

9. Telefunken U47 „long body”⁶⁸ – transformatorowy mikrofon pojemnościowy o przełączanej charakterystyce kierunkowej i kapsule M7 z membraną PCV pokrytą warstwą złota. Wykonany przez firmę Neumann. Kapsuła polaryzowana jest napięciem około 52V. Mikrofon wymaga zewnętrznego zasilacza o napięciu 105V. Wzmacniacz mikrofonu wykonano w technice lampowej w oparciu o lampę Telefunken VF14M⁶⁹. Mikrofon pochodzi z lat pięćdziesiątych XX wieku.



Fot. 61. Mikrofon Neumann U47 (www.soundonsound.com)



Rys. 31. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com)

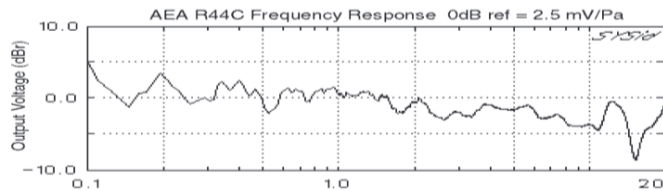
⁶⁸ Wersja „long body” była pierwszą wersją mikrofonu U47 (długość 145mm). W kolejnych latach wprowadzono do produkcji wersję „short body” o długości skróconej do 128mm.

⁶⁹ Litera M oznacza wersję niskoszumną lampy.

10. AEA A440 – mikrofon dynamiczny wstęgowy. Kopia mikrofonu RCA 44BX w wykonaniu firmy AEA z USA. Jest to wersja aktywna z wewnętrznym wzmacniaczem mikrofonowym zasilanym w systemie fantom 48V. Wstęga wykonana jest z aluminium o grubości 1,8 μ . Aktualnie produkowany.



Fot. 62. Mikrofon AEA A440
(www.aearibbonmics.com)

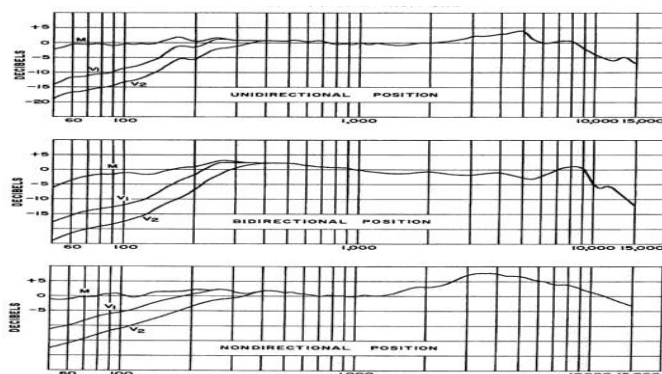


Rys. 32. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AEA A440
(www.aearibbonmics.com)

11. RCA 77DX – pasywny mikrofon dynamiczny wstęgowy o regulowanej charakterystyce kierunkowej. Produkowany w USA od 1954 roku, przeznaczony do zastosowań radiowych i telewizyjnych. W tym mikrofonie z tyłu wstęgi, zwykle nieosłoniętej, dodano akustyczny labirynt, który umożliwia kształtowanie charakterystyki kierunkowej.



Fot. 63. Mikrofon RCA 77DX
(www.coutant.org)

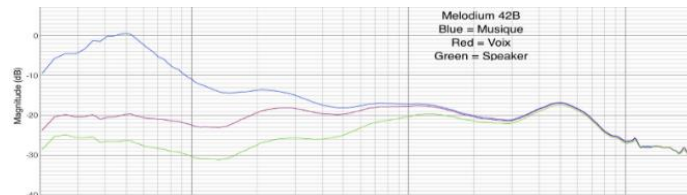


Rys. 33. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu RCA 77DX
(www.coutant.org)

12. Melodium 42b – pasywny mikrofon wstęgowy o kierunkowej charakterystyce ósemkowej. Wstęga wykonana jest z aluminium o grubości 2,5 μm . Zaprojektowany przez Charlesa Boutelleau i Émila Furna był produkowany we Francji od 1940 roku. W dolnej części mikrofonu umieszczono przełączany filtr indukcyjny umożliwiający eliminowanie niskich częstotliwości. Jest największym mikrofonem wstęgowym produkowanym seryjnie.



Fot. 64. Mikrofon Melodium 42B
(www.echoschall.de)

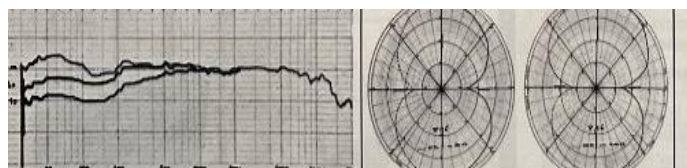


Rys. 34. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Melodium 42B
(www.xaudiaelektrik.blogspot.com)

13. Melodium RM6 – pasywny mikrofon dynamiczny wstęgowy o kierunkowej charakterystyce ósemkowej. Następca Melodium RM6. Znacznie mniejszy od poprzednika. Wstęga wykonana jest z aluminium o grubości 1,8 μm . W dolnej części mikrofonu umieszczono przełączany filtr indukcyjny umożliwiający eliminowanie niskich częstotliwości. Był produkowany we Francji w latach siedemdziesiątych XX wieku.



Fot. 65. Mikrofon Melodium RM6
(www.gearandsound.com)

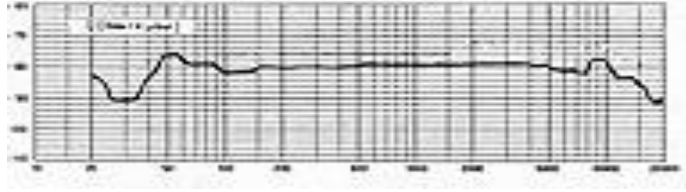


Rys. 35. Charakterystyka częstotliwościowa i kierunkowa mikrofonu Melodium RM6; charakterystyki dla niskich częstotliwości pokazują efekt zbliżeniowy (<http://www.retronik.fr>)

14. M320 – pasywny mikrofon dynamiczny wstęgowy. Był produkowany w Niemczech od 1960 roku. Z tyłu wstęgi umieszczono labirynt akustyczny zmieniający charakterystykę kierunkową mikrofonu na hiperkardioidę. Bardzo rzadko spotykany.



Fot. 66. Mikrofon Beyerdynamic M320
(www.global.beyerdynamic.com)

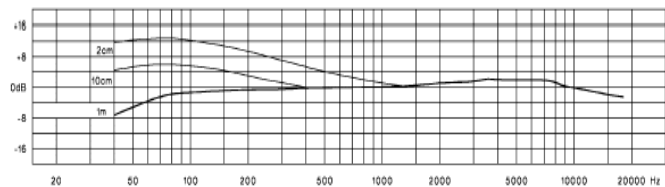


Rys. 36. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M320; (www.global.beyerdynamic.com)

15. Beyerdynamic M160 – pasywny mikrofon dynamiczny wstęgowy. Aktualnie produkowany w Niemczech od 1957 roku. Konstrukcja z podwójną wstęgą i magnesem neodymowym. Ma charakterystykę kierunkową hiperkardioidalną.



Fot. 67. Mikrofon Beyerdynamic M160
(www.global.beyerdynamic.com)

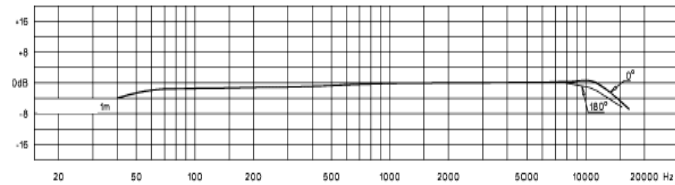


Rys. 37. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M160; charakterystyki pokazują efekt zbliżeniowy dla niskich częstotliwości (www.global.beyerdynamic.com)

16. Beyerdynamic M130 – pasywny mikrofon dynamiczny wstęgowy o kierunkowej charakterystyce ósemkowej. Jest to konstrukcja z podwójną wstęgą i magnesem neodymowym. Stanowi parę do nagrywania w technice stereofonicznej M/S z mikrofonem Beyerdynamic M160.



Fot. 68. Mikrofon Beyerdynamic M130
(www.global.beyerdynamic.com)

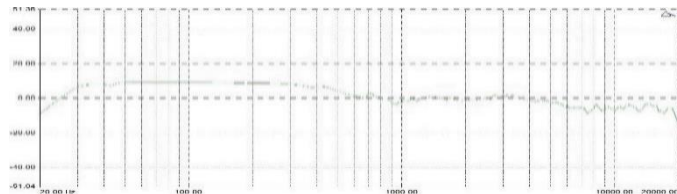


Rys. 38. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M130 (www.global.beyerdynamic.com)

17. HUM RS2 – aktywny stereofoniczny mikrofon dynamiczny wstęgowy o regulowanej charakterystyce kierunkowej. Mikrofon wyprodukowano w Polsce przez firmę Hum Krzysztofa Tonna. Posiada rozbudowaną elektronikę umożliwiającą zdalną regulację wzmocnienia wzmacniacza mikrofonu i zmianę charakterystyki kierunkowej. Możliwa jest praca w trybach stereo XY i MS. Mikrofon jest aktualnie produkowany.



Fot. 69. Mikrofon Hum RS2
(www.beatit.tv)



Rys. 39. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu HUM RS2
(www.hum-audio.com)

Załącznik 2. Wyposażenie studia nagrań

Studio dysponuje reżyserką o powierzchni 20 m kw. i dwoma pomieszczeniami do nagrań:

1. Studio A o powierzchni 59 m kw. i wysokości 5 m, w którym znajdują się dwa wydzielone przeszklone pomieszczenia o powierzchni około 6 m kw. każde;
2. Studio B o powierzchni 14 m kw. i wysokości 3 m.

Pomieszczenia umożliwiają nagrania big-bandów, małych orkiestr kameralnych, zespołów jazzowych, chórów techniką na 100%.

System DAW:

AVID Pro Tools 12 HDX Mac Studio; Apogee Symphony 32 in/out AD/DA

Mikrofony:

AEA: 2 x A440 ribbon

AKG: 4 x 414ULB, AKG C12A, 2 x C1000, 2 x C451, D112

Beyerdynamic: 4 x MC740, 2 x M160 ribbon, M130 ribbon, M320 ribbon, M201

Neumann U47 Long Body, Neumann CMV 3, Neumann-Gefell UM57

Neumann-Gefell CMV 551, Neumann U87Ai, KM86

Peluso P67

Schoeps: CMC6, MK2, MK4

Shure: SM7, Sm57, SM58

Sennheiser: 3 x MD421, 4 x MD 211

Wzmacniacze mikrofonowe:

24 x NEVE-DIY R-1073, 1 x REDD 47CB, 4 x API 312 DIY, 2 x Great River MP500-MV

4 x Great River MP2 DIY, Telefunken V76s, Telefunken V72

Urządzenia pogłosowe:

Lexicon 960L, Bricasti M7

Kompresory dynamiki:

Teletronix LA2A, UREI LA3A, NTP 179-120 stereo, NTP 179-250b stereo,

Purple Audio MC77, Siemens U273, 2 x UA175b Vari-Mu DIY, UREI 1176 DIY

RCA BA6a DIY, SPL Transient Designer, NEVE 2240c stereo DIY

Kompresor sumy DYNAX2 AL.SO

Korektory barwy dźwięku:

2 x API 550B, 4 x Eckmiller passive EQ, 8 x NEVE 1084 DIY, 2 x Pultec EQP1 DIY

Monitory odsłuchowe:

Odsłuch główny: SCAN-SPEAK Revelator System DIY

Odsłuch bliskiego pola: ATC SCM25, Neumann KH120, Yamaha NS-10

Odsłuch 5,1: Genelec 1032A

Odsłuch słuchawkowy: słuchawki Beyerdynamic DT100,

wzmacniacze słuchawkowe Klein&Hummel KV20, System Mytek Private Q

Spis rysunków

Rys. 1. Charakterystyka częstotliwościowa (kardioidalna) mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com).....	8
Rys. 2. Charakterystyka częstotliwościowa (kardioidalna) mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com).....	8
Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U67 (kardioidalna). Fragment wykropkowany pokazuje charakterystykę z włączonym filtrem górnoprzepustowym 100 Hz (www.recordinghacks.com).....	9
Rys. 4. Charakterystyka kierunkowa i częstotliwościowa mikrofonu AKG C12 dla różnych charakterystyk kierunkowych (www.coutant).....	10
Rys. 5. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Telefunken ELA M251 (www.recordinghacks.com).....	10
Rys. 6. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK41 (www.schoeps.com)	11
Rys. 7. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK2 (www.schoeps.com)	11
Rys. 8. Charakterystyka częstotliwościowa kapsuły Schoeps MK4 (www.schoeps.com)	11
Rys. 9. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C800G (www.sony.net)	12
Rys. 10. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C38B (www.sony.net).....	12
Rys. 11. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Sony C37A (www.sony.net).....	12
Rys. 12. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu CMV563 (www.microtechgefell.com)	13
Rys. 13. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Gefell UM75 (www.recordinghacks.com).....	13
Rys. 14. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M221 bez i z pierścieniami korekcji częstotliwości (www.microtechgefell.com)	14
Rys. 15. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu UMT70S (www.microtechgefell.com)	14
Rys. 16. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu UM900 (www.microtechgefell.com)	14
Rys. 17. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M930 (www.microtechgefell.com). 14	
Rys. 18. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu STC/Coles 4038 (www.recordinghacks.com).....	19
Rys. 19. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu M130 (www.global.beyerdynamic.com)	20
Rys. 20. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M160 dla różnych odległości źródła (www.recordinghacks.com)	20
Rys. 21. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Royer R121 (www.royerlabs.com) .	20
Rys. 22. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AEA A440 (www.recordinghacks.com).....	21
Rys. 23. Charakterystyka mikrofonu AKG D112 (www.recordinghacks.com)	56
Rys. 24. Charakterystyka mikrofonu Sennheiser MD421 (www.recordinghacks.com)	56
Rys. 25. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Shure SM57 (www.recordinghacks.com).....	56
Rys. 26. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Schoeps CMC6 MK4 (www.schoeps.com)	57

Rys. 27. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Schoeps CMC6 MK4 (www.schoeps.com)	57
Rys. 28. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AKG C414 B ULS (www.zzounds.com)	58
Rys. 29. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U87 (www.recordinghacks.com).....	58
Rys. 30. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann Gefell UM57 (www.recordinghacks.com).....	59
Rys. 31. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Neumann U47 (www.recordinghacks.com).....	59
Rys. 32. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu AEA A440 (www.aearibbonmics.com).....	60
Rys. 33. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu RCA 77DX (www.coutant.org).....	60
Rys. 34. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Melodium 42B (www.xaudiaelektrik.blogspot.com)	61
Rys. 35. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Melodium RM6; charakterystyki dla niskich częstotliwości pokazują efekt zbliżeniowy (http://www.retronik.fr).....	61
Rys. 36. Charakterystyka częstotliwościowa i kierunkowa mikrofonu Beyerdynamic M320; (www.global.beyerdynamic.com)	62
Rys. 37. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M160; charakterystyki pokazują efekt zbliżeniowy dla niskich częstotliwości (www.global.beyerdynamic.com)	62
Rys. 38. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu Beyerdynamic M130 (www.global.beyerdynamic.com)	63
Rys. 39. Charakterystyka częstotliwościowa mikrofonu HUM RS2 (www.hum-audio.com). 63	

Spis fotografii

Fot. 1. Musical „Pora Jeziora” (https://filharmonia.olsztyn.pl)	5
Fot. 2. Kapsuła pojemnościowa z folii tytanowej (http://recordinghacks.com).....	6
Fot. 3. Kapsuła pojemnościowa z mylaru (https://repforums.prosoundweb.com).....	6
Fot. 4. Edward Christopher „EC” Wentz (www.svconline.com)	6
Fot. 5. Kapsuła pojemnościowa Neumann M7 (www.drefahlaudio.com)	7
Fot. 6. Mikrofon pojemnościowy Telefunken CMV3 (www.neumann.com)	7
Fot. 7. Georg Neumann (www.neumann.com)	7
Fot. 8. Neumann U47 wyprodukowany dla firmy Telefunken (www.recordinghacks.com)	8
Fot. 9. Mikrofon Neumann M50 wewnątrz (www.recordinghacks.com)	8
Fot. 10. Mikrofon Neumann M50 (www.recordinghacks.com).....	8
Fot. 11. Mikrofon pojemnościowy Neumann U67 (www.recordinghacks.com)	9
Fot. 12. Kapsuła pojemnościowa AKG CK12 (www.austrian.audio).....	9
Fot. 13. Mikrofon pojemnościowy AKG C12 (www.racknrollaudio.com).....	9
Fot. 14. Mikrofon pojemnościowy Telefunken ELA M251 wewnątrz (www.coutant.org)	10
Fot. 15. Mikrofon pojemnościowy Telefunken ELA M251 (www.coutant.org).....	10
Fot. 16. Historyczne mikrofony pojemnościowe firmy Schoeps; od lewej: prototyp, CMV50/2, CMV51/3, M201, CM51, M221, CM60, CMT20, CMT3/4/5 (www.schoeps.com)	11
Fot. 17. System Colette firmy Schoeps (www.schoeps.com)	11
Fot. 18. Mikrofon pojemnościowy Sony C800G (www.sony.net).....	12
Fot. 19. Mikrofon pojemnościowy Sony C38B (www.sony.net)	12
Fot. 20. Mikrofon pojemnościowy Sony C37A (www.sony.net)	12
Fot. 21. Historyczne mikrofony z Gefell; od lewej: mikrofon pojemnościowy CMV 563 z dookólną kapsułą M55, z kardoidalną kapsułą M 7S, z kardoidalną kapsułą M 7, mikrofon UM 57 (www.microtechgefell.com)	13
Fot. 22. Mikrofon pojemnościowy M22 (www.microtechgefell.com)	14
Fot. 23. Mikrofon pojemnościowy UMT70S (www.microtechgefell.com).....	14
Fot. 24. Mikrofon pojemnościowy UM900 (www.microtechgefell.com)	14
Fot. 25. Mikrofon pojemnościowy Gefell M930 (www.microtechgefell.com)	14
Fot. 26. Dr Erwin Gerlach (www.link.springer.com).....	16
Fot. 27. Dr Walter Schottky (www.spie.org).....	16
Fot. 28. Mikrofon RCA 77DX (www.coutant.org)	17
Fot. 29. Maszynka do ręcznej korugacji wstęgi mikrofonu (www.aearibbonmics.com).....	17
Fot. 30. Mikrofon RCA 44BX (www.coutant.org).....	17
Fot. 31. Dr Harry F. Olson (www.nasonline.org).....	18
Fot. 32. Chat Baker przed mikrofonem RCA44BX (www.playout.tvnewscheck.com)	19
Fot. 33. Elvis Presley przed mikrofonem RCA44BX (http://www.fluffyjackets.co.uk).....	19
Fot. 34. Frank Sinatra przed mikrofonem RCA 44BX (www.audiohertz.com).....	19
Fot. 35. Mikrofon STC/Coles 4038 (www.coleselectroacoustics.com).....	19
Fot. 36. Mikrofony Beyerdynamic M160 poziomy i M130 pionowy (www.shapeways.com)	20
Fot. 37. Mikrofon Royer R121 (www.royerlabs.com).....	20
Fot. 38. Mikrofon AEA A440 (www.aearibbonmics.com)	21
Fot. 39. Wes Dooley twórca firmy AEA (www.aearibbonmics.com).....	21
Fot. 40. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	24

Fot. 41. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	25
Fot. 42. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	26
Fot. 43. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	26
Fot. 44. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	28
Fot. 45. Rejestracja sekcji rytmicznej (fot. własna)	29
Fot. 46. Rejestracja instrumentów smyczkowych (fot. własna).....	31
Fot. 47. Rejestracja instrumentów smyczkowych (fot. własna).....	31
Fot. 48. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych (fot. własna).....	32
Fot. 49. Rejestracja sekcji instrumentów dętych drewnianych (fot. własna).....	32
Fot. 50. Rejestracja sekcji instrumentów dętych blaszanych (fot. własna).....	33
Fot. 51. Rejestracja wokali (fot. własna).....	34
Fot. 52. Rejestracja chóru (fot. własna).....	36
Fot. 53. Mikrofon AKG D112 (www.recordinghacks.com).....	56
Fot. 54. Mikrofon Sennheiser MD421 (www.sennheiser.com).....	56
Fot. 55. Mikrofon Shure SM57 (www.shure.com).....	56
Fot. 56. Mikrofon Schoeps CMC6 MK4 (www.schoeps.com)	57
Fot. 57. Mikrofon Schoeps CMC6 MK2 (www.schoeps.com)	57
Fot. 58. Mikrofon AKG C414 B ULS (www.zzounds.com)	58
Fot. 59. Mikrofon Neumann U87 (www.neumann.com)	58
Fot. 60. Mikrofon Neumann Gefell UM57 (www.recordinghacks.com).....	59
Fot. 61. Mikrofon Neumann U47 (www.soundonsound.com).....	59
Fot. 62. Mikrofon AEA A440 (www.aearibbonmics.com)	60
Fot. 63. Mikrofon RCA 77DX (www.coutant.org)	60
Fot. 64. Mikrofon Melodium 42B (www.echoschall.de)	61
Fot. 65. Mikrofon Melodium RM6 (www.gearandsound.com)	61
Fot. 66. Mikrofon Beyerdynamic M320 (www.global.beyerdynamic.com).....	62
Fot. 67. Mikrofon Beyerdynamic M160 (www.global.beyerdynamic.com).....	62
Fot. 68. Mikrofon Beyerdynamic M130 (www.global.beyerdynamic.com).....	63
Fot. 69. Mikrofon Hum RS2 (www.beatit.tv)	63

Spis tabel

Tabela 1. Mikrofony użyte do rejestracji zestawu perkusyjnego	28
Tabela 2. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów smyczkowych	30
Tabela 3. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów dętych drewnianych.....	31
Tabela 4. Mikrofony użyte do rejestracji sekcji instrumentów dętych blaszanych.....	33
Tabela 5. Mikrofony użyte do rejestracji wokali.....	34
Tabela 6. Mikrofony użyte do rejestracji chóru	35
Tabela 7. Korekcja barwy i kompresja dynamiki zestawu perkusyjnego	38
Tabela 8. Korekcja barwy i kompresja dynamiki basu i pianina elektrycznego	40
Tabela 9. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów smyczkowych.....	41
Tabela 10. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów dętych drewnianych	42
Tabela 11. Korekcja barwy i kompresja dynamiki sekcji instrumentów dętych blaszanych ...	42
Tabela 12. Korekcja barwy i kompresja dynamiki wokali solowych.....	43
Tabela 13. Korekcja barwy i kompresja dynamiki chóru.....	44
Tabela 14. Opis testu odsłuchowego	47
Tabela 15. Kategorie oceny nagrań	47
Tabela 16. Arkusz odpowiedzi nr 1	48
Tabela 17. Zmniejszona liczba kategorii oceny nagrań	49
Tabela 18. Arkusz odpowiedzi nr 2	49
Tabela 19. Średnie oceny słuchaczy	50
Tabela 20. Sekcje, dla których mikrofony wstępowe oceniono wyżej	50
Tabela 21. Sekcje, dla których mikrofony wstępowe oceniono niżej	50

Bibliografia

1. M. van Wyk and P. Meyer, The Ribbon Microphone – An Educational Aid, in 3rd International. Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA), Zouk. Mosbeh, Lebanon, 2016.
2. J. Eargle, The Microphone Book, Burlington: Focal Press, 2005.
3. G. Ballou, J. Ciaudelli and V. Schmitt, Handbook for Sound Engineers, Burlington: Focal Press, 2008.
4. H.F. Olson, Apparatus for converting sound vibrations into electrical variations, United States Patent 1885001, 25 October 1932.
5. R. Cloud and S. Sank, Ribbon microphone with rounded magnet motor assembly, back-wave chamber, and phantom powered JFET circuit, US Patent 8433090, 9 October 2010.
6. Arthur Fox, The complete Guide to Ribbon Microphones, 2022 Fox Media Tech Inc.
7. Royer Media Library. The Audio/Video library.
8. William Moylan, Understanding and Crafting the Mix: The Art of Recording.
9. Krzysztof Sztekmiler, Podstawy nagłośnienia i realizacji nagrań. Podręcznik dla akustyków, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ.
10. Maciej Znamierowski, Elektroakustyka w praktyce estradowej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ.
11. F. Alton Everest, Ken C. Pohlmann, Podręcznik Akustyki, Wydawnictwo Sonia Draga.
12. Peter Andry, Inside the Recording Studio, Rowman & Littlefield Publishing.
13. David Siverstein, „Classic recording consoles: SSL, Neve, and REDD”, Audio Hertz. Audio Hertz. Retrieved 21 December 2021.
14. Encyklopedia muzyki, Polskie Wydawnictwo Naukowe, 1997–2021.
15. Zofia Lissa, Uwagi o Ingardenowskiej teorii dzieła muzycznego, „Studia estetyczne”, t. 3, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1966.

Źródła internetowe:

1. <http://recordinghacks.com/> – data pobrania 1.03.2023.
2. <http://xaudiaelektrik.blogspot.com/> – data pobrania 22.01.2023.
3. <https://coutant.org/> – data pobrania 3.02.2023.
4. <https://www.global.beyerdynamic.com/> – data pobrania 4.01.2023.
5. <https://www.neumann.com/> – data pobrania 15.01.2023.
6. <https://www.microtechgefell.de> – data pobrania 6.01.2023.
7. <https://www.akeg.com/> – data pobrania 27.01.2023.
8. <https://www.sony.net/> – data pobrania 8.01.2023.
9. <https://aearibbonmics.com/> – data pobrania 12.01.2021.
10. <https://schoeps.de/> – data pobrania 10.02.2023.
11. <http://www.retronik.fr> – data pobrania 10.02.2009.
12. <http://www.colectroacoustics.com> – data pobrania 10.02.2019.

Opis załączonych płyt CD Audio:**CD1 – Tomasz Szymuś „PORA JEZIORA” musical - 45:38****Wykonawcy: Orkiestra i chór pod dyrekcją Tomasza Szymusia****Soliści : Grzegorz Pierczyński (1)(4), Anna Szejner (2)(3), Agnieszka Tylutki (2)(3)(5), Paulina Janczak (2)(3)(10)(11), Beata Olga Kowalska (6)(9), Karol Drozd (6), Wojciech Daniel (10)(11), Janusz Kruciński (10), Tomasz Bacajewski (11).**

1. NIE BYŁO NAS BYŁ LAS – 3:46
2. TEJ NOCY NIE MA OBCYCH – 2:37
3. SERCE W SIECI- 3:29
4. MOJA SIEKIERA, NIE MÓJ LAS – 2:24
5. UWIERZ W CUD – 4:49
6. LUDZIE SĄ DZIWNI – 3:43
7. KARM NAS WARMIA -3:24
8. NAD JEZIOREM – 2:33
9. SŁOWO I KAMIEŃ – 2:18
10. KRÓL SIELAW – 4:43
11. PO TAMTEJ STRONIE GWIAZD – 4:30
12. NA SZCZYCIE GÓRY – 2:38
13. POKÓJ Z MAZURAMI – 1:57
14. FINAŁ – 2:03

CD2 – TEST ODSŁUCHOWY – ścieżki od 1 do 8**Indeks ścieżek:**

1. ZAPOWIEDŹ
2. SEKCJA INSTRUMENTÓW SMYCZKOWYCH
3. SEKCJA INSTRUMENTÓW DĘTYCH DREWNIANYCH
4. SEKCJA INSTRUMENTÓW DĘTYCH BLASZANYCH
5. ZESTAW PERKUSYJNY
6. CHÓR
7. WOKALE
8. ZGRANIA

Utwory musicalu zgrane z wykorzystaniem mikrofonów pojemnościowych i dynamicznych cewkowych:

9. NIE BYŁO NAS, BYŁ LAS – 3:46
10. LUDZIE SĄ DZIWNI – 3:49
11. FINAŁ – 2:09

Oświadczenie promotora pracy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w przewodzie doktorskim.

Data..... Podpis promotora pracy.....

Oświadczenie autora pracy

Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca doktorska pt.

„Fonograficzna postać musicalu „Pora jeziora” Tomasza Szymburskiej jako egzemplifikacja procesu kreacji nagrania opartego na specyficznym i celowym doborze użytych mikrofonów”,

została napisana przeze mnie samodzielnie pod kierunkiem promotora i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia doktora sztuki.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data..... Podpis autora pracy.....