

UNIWERSYTET MUZYCZNY FRYDERYKA CHOPINA

Dziedzina sztuk muzycznych,

dyscyplina: reżyseria dźwięku / kompozycja / instrumentalistyka

Krzysztof Cybulski

Improwizacja wspomagana technologią – cyfrowo sterowane instrumenty
akustyczne jako element improwizowanego utworu muzycznego

Praca doktorska

Praca doktorska napisana pod kierunkiem
prof. dr hab. Barbary Okoń-Makowskiej

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora sztuki.

Promotorka

prof. dr hab. Barbara Okoń-Makowska

Oświadczam, że zarówno część pisemna, jak i część artystyczna niniejszej pracy doktorskiej zostały przeze mnie przygotowane pod kierunkiem Promotorki i nie zawierają treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami. Przedstawiona praca nie była dotąd przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia doktora sztuki.

mgr Krzysztof Cybulski

Wszystkie ilustracje wykonane są przez autora pracy, z wyjątkiem ilustracji 4 – fot. Jakub Koźniewski, oraz ilustracji 9, 11, 13–17, 24, 26, 28, 35, 40 – fot. Maciej Jędrzejewski.

Tłumaczenia wszystkich zawartych w pracy cytatów oraz abstraktu zostały wykonane przez autora pracy.

Abstrakt

Praca niniejsza opisuje powstałe w ramach przewodu doktorskiego dzieło artystyczne o tytule AAAA (acoustic augmented actuated autonomous)¹ – stworzony od podstaw interdyscyplinarny projekt, którego wszystkie aspekty – brzmieniowe, kompozycyjne, wykonawcze – stanowią równoważne elementy dzieła. Na projekt składają się zarówno elementy szeroko pojmowanej reżyserii dźwięku, jak i kompozycji oraz instrumentalistyki.

W ramach prac nad projektem zbudowałem trzy nowe akustyczno-cyfrowe instrumenty muzyczne. Wysokość granych na nich dźwięków podlega kontroli za pośrednictwem oprogramowania wykorzystującego serię algorytmów o różnym stopniu ingerencji w akcje improwizujących instrumentalistów. Pozostałe parametry dźwięku – barwa, dynamika, artykulacja i rytm – pozostają pod pełną kontrolą wykonawców.

Jednym z celów projektu jest badanie granic między improwizacją a kompozycją, łączące poszukiwanie minimalnej liczby czynników konstytuujących kompozycję z działaniami z obszaru sztuki generatywnej. Powstałe instrumenty mają prowokować wykonawców do wyboru określonych dźwięków lub w dynamiczny sposób zawęzać wybór nut do określonych skal, co stanowi niejako ekwiwalent zapisu aleatorycznego. Stworzenie nowych instrumentów, prócz chęci uzyskania nowego brzmienia, ma na celu również prowokowanie wykonawców do określonych działań muzycznych, sugerowanie określonych rozwiązań, a ucyfrowienie instrumentów ma umożliwić płynną zmianę ich oddziaływania na zachowanie improwizatorów.

Wstęp i pierwszy rozdział niniejszej pracy zarysowują kontekst projektu oraz liczne zagadnienia dotyczące relacji między sztuką i technologią, takie jak: sztuka generatywna, kluczowe cechy instrumentów akustycznych, relacja między wykonawcą a instrumentem, aspekty performatywne muzyki wspomaganiej technologią czy wreszcie relacje między kompozycją a improwizacją.

Rozdział drugi prezentuje tezy badawcze projektu AAAA na tle stanu badań z obszaru technologii muzycznej, ze szczególnym uwzględnieniem instrumentów hybrydowych.

Rozdział trzeci opisuje szczegółowo prace nad projektem AAAA – budowę instrumentów, tworzenie oprogramowania sterującego oraz wypracowane w toku prób zespołowych strategie performatywne.

Rozdział czwarty zawiera weryfikację tez badawczych na podstawie rezultatów prac nad instrumentami, analizę nagrań koncertowych i studyjnych, ankietę przeprowadzoną wśród publiczności oraz wywiady z wykonawcami.

¹ W polskim tłumaczeniu: akustyczne, rozszerzone, aktuowane / ruchome, autonomiczne.

Abstract

This thesis describes an artistic work titled AAAA (Acoustic Augmented Actuated Autonomous), created as a basis of the doctoral dissertation. AAAA is a multidisciplinary project developed from scratch, all aspects of which – timbral, compositional, and performative – are equally vital parts of the complete work. The project encompasses elements of sound engineering, composition, and musical performance.

During the course of the work on the project, I've built three new, acoustic-digital musical instruments. The pitch of their sound can be controlled via software, utilizing a series of algorithms which offer varying degrees of interference in the actions of improvising musicians. The remaining sound parameters – timbre, dynamics, articulation, and rhythm – can be fully controlled by the performers.

One of the goals of the project is to explore the boundaries between improvisation and composition, combining the search for the minimal number of factors constituting composition, with techniques from the generative art field. The instruments are used as a means to provoke the performers into selecting specific notes or to narrow down the choice of notes to certain scales, creating a form of an equivalent of aleatoric composition. The process of new instruments building, aside from serving the purpose of achieving new timbral qualities, aims to direct the performers into specific musical actions or to suggest certain musical solutions. The digital aspect of the instruments is intended to facilitate smooth changes in the instruments' impact on the behavior of the improvisers.

The introduction and the first chapter of this thesis outline the context of the project and numerous issues concerning the relationship between art and technology, such as: generative art, key features of acoustic instruments, the relationship between the performer and the instrument, performative aspects of technology-assisted music, and the relationships between composition and improvisation.

Chapter two presents the research hypotheses of the AAAA project and their relations to the state of the art in the music technology field, with particular emphasis on hybrid instruments.

Chapter three details the work on the AAAA project – the construction of instruments, the development of software, and the emergence of performative strategies during ensemble rehearsals.

Chapter four aims to verify the research hypotheses based on the results of the work on the instruments, the analysis of live and studio recordings, a survey conducted among the audience members, as well as interviews with the performers.

Spis treści

Abstrakt / Abstract	1
Wstęp	7
Rozdział 1. Kontekst pracy	14
1.1. Postcyfrowość, czyli dlaczego instrumenty hybrydowe?	14
1.1.1. Postcyfrowość	14
1.1.2. Trójtorowe spojrzenie na projekt AAAA	16
1.2. Dlaczego instrumenty akustyczne, czyli część materialna	17
1.2.1. Perspektywa odbiorcy: aspekt performatywny nowych form interakcji z instrumentami.....	17
1.2.2. Korelacja wzrokowo-słuchowa i dotykowo-słuchowa	21
1.2.3. Właściwości brzmieniowe instrumentów akustycznych	22
1.2.4. Relacja instrument – wykonawca	24
1.2.5. Dlaczego dotyk?	25
1.2.6. <i>Flow</i>	29
1.3. Instrument muzyczny i jego interfejs użytkownika	31
1.3.1. Ewolucja interfejsów instrumentów muzycznych	33
1.3.2. Instrumenty a dizajn	34
1.4. Muzyka generatywna, czyli część logiczna.....	37
1.4.1. Sztuka generatywna – definicje.....	38
1.4.2. Sztuka algorytmiczna / generatywna / procesualna – próba zdefiniowania granic	40
1.4.3. Sztuka algorytmiczna	41
1.4.4. Sztuka generatywna – szerzej	43
1.4.5. Sztuka procesu	48
1.4.6. Muzyka procesu a improwizacja	49
1.4.7. Dlaczego nie AI?	51

1.4.8. Sztuka generatywa, algorytmiczna i procesualna – zamiast podsumowania	52
1.5. Kompozycja a improwizacja	53
1.5.1. Serializm a muzyka generatywna	53
1.5.2. Estetyka niedoskonałości	55
1.5.3. Kompozycja, improwizacja, psychologia	57
1.5.4. Improwizacja jako kompozycja w sensie wąskim i szerokim	58
Rozdział 2. Projekt AAAA na tle aktualnego stanu badań	63
2.1. Tezy badawcze	63
Problemy i hipotezy badawcze	63
Indywidualne tezy badawcze dla każdego z instrumentów	64
Przyjęte metody badawcze	65
2.2. Projekt AAAA na tle mojej dotychczasowej twórczości	65
2.3. Zarys stanu badań z zakresu instrumentów hybrydowych i usytuowanie projektu AAAA w ich kontekście	66
2.3.1. Instrumenty aktuowane	68
2.3.2. Instrumenty robotyczne / mechatroniczne	70
2.3.3. Zespoły instrumentów hybrydowych	72
2.4. Innowacyjność projektu AAAA	73
Rozdział 3. Opis prac nad projektem AAAA	75
3.1. Aktuatory	76
3.2. Autoviola	78
3.2.1. Założenia wstępne	78
3.2.2. Opis prac nad instrumentem	81
Prototyp 1.	81
Prototyp 2.	82
Prototyp 3.	83
3.2.3. Prototyp 4. – ostateczna wersja instrumentu	86
Dizajn ostatecznej formy instrumentu	89
Układ elektroniczny i elementy mechatroniczne Autovioli	94
Oprogramowanie i kwestie wykonawcze	94

3.2.4. Wnioski z prac nad instrumentem	97
3.3. Aeromembranophone	98
3.3.1. Założenia wstępne.....	98
3.3.2. Opis prac nad instrumentem	101
Prototyp 1.	101
Prototyp 2.	102
Prototyp 3.	104
Prototyp 4.	104
3.3.3. Prototyp 5. – ostateczna wersja instrumentu.....	106
Otwory i kłapy.....	108
Komponenty elektroniczne i interfejs użytkownika	109
Oprogramowanie i kwestie wykonawcze	111
Dizajn ostatecznej formy instrumentu	113
3.3.4. Wnioski z prac nad instrumentem	113
3.4. Post-Digital Sax.....	114
3.4.1. Założenia wstępne – zasada działania instrumentu	115
3.4.2. Opis prac nad instrumentem	116
Prototyp 1.	116
Prototyp 2.	118
Prototyp 3.	119
3.4.3. Prototyp 4. – ostateczna wersja instrumentu	125
Dizajn ostatecznej formy instrumentu	128
Komponenty elektroniczne i interfejs użytkownika	131
Oprogramowanie i kwestie wykonawcze	131
3.4.4. Wnioski z prac nad instrumentem	133
3.5. Zespół instrumentów jako całość.....	134
3.5.1. Rejestry brzmieniowe	134
3.5.2. Rozpiętość dynamiczna	135
3.5.3. Instrumenty jako element systemu generatywnego	136
3.5.4. Oprogramowanie kontrolne	138

3.6. Algorytmy	138
3.7. Wykonawcy	147
3.8. Strategie wykonawcze	148
3.8.1. Muzyka i komunikatywność performatywna.....	148
3.8.2. Strategie wykonawcze z punktu widzenia produkcji koncertów	155
Rozdział 4. Weryfikacja tez badawczych.....	158
4.1. Aspekty wymierne (obiektywne).....	158
4.2. Aspekty niewymierne (subiektywne)	160
4.2.1. Analiza wybranych nagrań.....	160
4.2.2. Koncert inauguracyjny 66. Międzynarodowego Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień	161
Nagranie „WARSZAWSKA_JESIEN_algorytm_0-5.mp4”	161
4.2.3. Sesja nagraniowa w Studiu S1 Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina ...	162
Nagranie „UMFC_take_1_algorytm_0-2A.wav”	163
Nagranie „UMFC_take_1_algorytm_6.wav”	164
Nagranie „UMFC_take_2_algorytm_6.wav”	164
4.2.4. Koncert w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab.....	165
Nagranie „HASHTAG_LAB_algorytm_3-3A.wav”	165
Nagranie „HASHTAG_LAB_algorytm_4.wav”	165
Nagranie „HASHTAG_LAB_algorytm_5.wav”	166
4.2.5. Projekt AAAA w recenzjach.....	166
4.2.6. Projekt AAAA z perspektywy publiczności	168
4.2.7. Projekt AAAA z perspektywy wykonawców	169
Piotr Zalewski	170
Hubert Zemler	172
4.3. Konkluzja	173
Postscriptum – potencjalne kierunki dalszego rozwoju projektu AAAA.....	174
Bibliografia.....	175

Wstęp

Wstęp i pierwszy rozdział niniejszej pracy mają w zamyśle naszkicować kontekst, w którym sytuuje się dzieło artystyczne będące przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej. Praca ta pozostaje jednak nade wszystko właśnie tym – opisem dzieła – a nie monografią, mającą przekrojowo opisać złożony i skomplikowany problem relacji między twórcą a technologią. Zatem przytoczone przeze mnie przykłady – choć liczne i pokrywające szerokie spektrum stylistyk i postaw twórczych – nie wyczerpują tematu; siłą rzeczy pozostają jedynie subiektywnym, choć rzetelnie przeprowadzonym wyborem zjawisk, które w moim odczuciu najlepiej ilustrują relację między moim przedsięwzięciem a poprzedzającymi je osiągnięciami niezliczonych twórczyń i twórców, pracujących w przestrzeni znajdującej się na styku sztuki i technologii.

W styczniu 2013 r. brytyjski producent muzyczny Mark Fell² dokonał w artykule, opublikowanym na łamach magazynu „The Wire”³, ciekawego zderzenia dwóch odmiennych postaw twórczych. Reprezentantem pierwszej z omawianych przez Fella postaw był Thomas Dolby – jedna z najjaśniejszych gwiazd synthpopu pierwszej połowy lat 80. XX w.⁴ Dolby, zapytany w trakcie wywiadu o instrument jego marzeń, miał stwierdzić, że byłby to syntezator czytający w myślach, mogący na podstawie wyobrazonego przezeń brzmienia dokonać samoczynnej konfiguracji własnych parametrów tak, aby poszukiwane brzmienie znalazło się niezwłocznie do dyspozycji muzyka. Ten sposób programowania instrumentu miałby – w domniemanej intencji Dolby’ego – uwolnić twórcę od żmudnego i czysto technicznego (a więc mającego niewiele wspólnego z kreacją artystyczną w jej czystej postaci) procesu ustawiania parametrów i konfiguracji, mających możliwie jak najwierniej – bo przecież w praktyce nigdy nie idealnie – odzwierciedlić wyobrazone przez twórcę brzmienie.

Przykład ten, szczególnie obserwowany z dzisiejszej perspektywy, otwiera szerokie pole rozważań dotyczących roli instrumentów muzycznych w procesie zarówno tworzenia, jak i odbioru muzyki: gdyby Thomas Dolby zachował swoje marzenie do dziś, w sukurs przyszłaby mu najświeższa technologia – pojawiające się obecnie jak grzyby po deszczu narzędzia *sounddesignerskie* bazujące na technologiach AI⁵. To, co w 1980 r., a nawet jeszcze w 2013 r. (gdy powstawał artykuł Fella), wydawało

² Mark Fell: *interview*, *Art Sheffield 2016*, <https://www.studiointernational.com/index.php/mark-fell-interview-art-sheffield> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

³ M. Fell, *Collateral Damage: Mark Fell – The Wire*, „The Wire Magazine – Adventures In Modern Music”, <https://www.thewire.co.uk/in-writing/essays/collateral-damage-mark-fell> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

⁴ J. Rosen, *Digital music pioneer, 1980s pop icon Thomas Dolby to join Hopkins faculty*, „The Hub”, 1 marca 2014 r., <https://hub.jhu.edu/2014/03/01/thomas-dolby-johns-hopkins/> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

⁵ Skrót od anglojęzycznego *artificial intelligence*, czyli sztucznej inteligencji, będzie pojawiać się w moim wywodzie raz po raz, choć sama w sobie nie stanowi tematu pracy – nie bez powodu jednak: AI postrzegana jest potocznie jako manifestacja technologii jako takiej, złoty środek, rozwiązujący wszystkie problemy techniczne, przy jednocześnie dość powszechnym braku wiedzy o wielości podejść do tego zagadnienia.

się pozostawać jedynie w sferze marzeń, dziś powoli staje się możliwe. Przykład stanowić może choćby oprogramowanie Synplant⁶, tworzące rekonstrukcję brzmienia zawartego w zaproponowanym przez użytkownika pliku audio. Rekonstrukcja ta ma jednak formę wirtualnego syntezyzatora, którego architektura skonstruowana jest w sposób najwłaściwszy dla odtworzenia wyjściowego brzmienia – takie rozwiązanie pozwala na dalszą edycję parametrów brzmienia, na wzór standardowego syntezyzatora *software’owego*. Przegląd podobnych narzędzi oferują Gregorio i Kim⁷, zwracając jednakowoż uwagę, że muzyczne umiejętności, umożliwiające obsługę syntezyzatorów o bardziej złożonych interfejsach⁸, zwiększają poziom intymności w relacji między użytkownikiem a instrumentem. Temat ten będzie w niniejszej pracy powracał – w rozważaniach dotyczących czy to psychologii *flow*⁹, czy to relacji twórców z narzędziami generatywnymi opartymi na technologiach AI.

Jest zresztą wysoce wątpliwe, czy wspomniane wcześniej słowa faktycznie padły z ust Thomasa Dolby’ego. Fell przywołuje je jedynie z pamięci, mnie – podobnie jak jemu – również nie udało się znaleźć ich potwierdzenia w znalezionych w sieci wywiadach z Dolbym. Sam Dolby od eksperymentów ze sprzętem nigdy nie stronił, a jego późniejsza kariera obfituje w dokonania z obszaru produkcji muzycznej czy kompozycji muzyki do filmów i gier komputerowych; obecnie jest profesorem muzyki w nowych mediach w Peabody Institute¹⁰. Udało mi się zresztą skontaktować z Dolbym drogą mailową i potwierdził on moją wątpliwość – wspomniane marzenie o telepatycznym instrumencie, nawet jeżeli zostało przez niego kiedykolwiek wypowiedziane, zostało prawdopodobnie wyjęte z szerszego kontekstu¹¹.

Abstrahując od Dolby’ego, można sobie jednak z czystym sumieniem wyobrazić istnienie nieco przerysowanego, hipotetycznego kompozytora – nazwijmy go Kompozytorem A – którego głównym celem jest generowanie zmaterializowanych w formie dźwiękowej wersji jego precyzyjnie zaplanowanych idei; kompozytora zapisującego utwór w najdrobniejszych szczegółach od A do Z, dla którego istnienie standardowych instrumentów oraz obsługujących je wykonawców już od dłuższego czasu nie jest niezbędne do osiągnięcia celu. Możliwe wszak jest wygenerowanie dźwiękowej wersji partytury w stu procentach za pomocą technologii – korzystając z wirtualnych syntezyzatorów i samplerów.

Jednym z podstawowych problemów wynikających z takiego podejścia pozostaje jednak forma prezentacji utworu: czy jest mianowicie możliwa satysfakcjonująca formuła ich publicznej prezentacji? Problem ten istnieje oczywiście od dawna w przypadku kompozycji „na taśmę” – ze względu na ograniczenia techniczne, wykonanie na żywo w formie odtworzenia statycznego nagrania przez głośniki

⁶ M. Lidström, F. Lidström, *Synplant 2*, „Sonic Charge”, <https://soniccharge.com/synplant> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

⁷ J. Gregorio, Y.E. Kim, *Evaluation of Timbre-Based Control of a Parametric Synthesizer*, [w:] *NIME 2021*, Shanghai 2021.

⁸ Syntezyzator tworzący brzmienie na podstawie „promptu” tekstowego, próbki dźwiękowej czy – hipotetycznie – jedynie wyobrażonego „w głowie” brzmienia, posiada najprostszy z możliwych interfejsów, niewymagający od użytkownika praktycznie żadnej wiedzy czy umiejętności.

⁹ Wyjaśnienie tego pojęcia pojawi się w podrozdziale 1.2.6.

¹⁰ *Thomas Dolby | Peabody Institute*, <https://peabody.jhu.edu/faculty/thomas-dolby/> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

¹¹ Thomas Dolby w mailowej odpowiedzi na moje pytanie stwierdził, że – będąc już w latach 80. XX w. postrzegany jako ekspert w dziedzinie instrumentów elektronicznych – często skłaniany był do spekulacji na temat przyszłości technologii muzycznej; wspomniana wizja „telepatycznego instrumentu” mogła być przez niego przywołana właśnie w kontekście hipotetycznych kierunków rozwoju instrumentów elektronicznych, nie zaś w kontekście jego własnych pragnień czy preferencji.

było przez lata jedyną możliwością publicznej prezentacji tego rodzaju utworów. Jest to oczywiście pod wieloma względami obraz uproszczony – prezentacja utworów na taśmę przyjmuje bowiem nierzadko formę *projekcji dźwięku*, z aktywnym, świadomym udziałem reżysera dźwięku jako *de facto* wykonawcy, wzbogacającego substancję muzyczną utworów przede wszystkim o walor przestrzenny¹². Fakt ten jednak nie zmienia odbioru dzieła w percepcji niewtajemniczonego słuchacza (o czym piszę więcej w podrozdziale 1.2.1).

Dla niektórych kompozytorów możliwość precyzyjnej realizacji zamysłu twórczego była jednak priorytetem – w pierwszej połowie lat 50. XX w. Stockhausen, chcąc uzyskać całościową kontrolę nad wszystkimi elementami utworu muzycznego – łącznie z wewnętrzną strukturą dźwięków – podjął się pionierskich eksperymentów z generatorem funkcyjnym, syntetyzując złożone brzmienia z pojedynczych sinusoid za pomocą rejestratora bazującego na płytach acetatowych (korzystał przy tym z zasobów paryskiego Postes, Télégraphes et Téléphones, niedysponującego jeszcze wówczas magnetofonami) – zatem dialog z maszyną wpisany był co prawda w ów proces, ale podporządkowany był on nadrzędnej idei^{13,14}. Ideę tę udało mu się zrealizować w Studiu Muzyki Elektronicznej WDR, gdzie stworzył swoje pierwsze utwory elektroniczne – *Studie 1* i *Studie 2* – korzystając z dostępnej tam technologii zapisu dźwięku na taśmie magnetycznej¹⁵. Milton Babbitt korzystał z kolei w początku lat 60. z zainstalowanego w Columbia-Princeton Electronic Music Center syntezatora RCA Mark II (jednego z pierwszych programowalnych syntezatorów na świecie), jednak nie tyle ze względu na jego możliwości brzmieniowe, a na precyzję rytmiczną, niezbędną w realizacji całkowicie serialnych kompozycji Babbitta¹⁶.

Stopniowe pojawianie się urządzeń umożliwiających generowanie dźwięków elektronicznych w czasie rzeczywistym (syntezatorów, samplerów) ułatwiało zarówno sam proces tworzenia kompozycji elektronicznych (pierwotnie oparty głównie na żmudnej pracy z taśmą magnetyczną), jak i prezentację utworów na żywo. Można zatem stwierdzić, że fakt przenoszenia procesu tworzenia muzyki elektronicznej ze studia na scenę wraz z postępującym rozwojem technologicznym, świadczy o niewystarczalności wspomnianej już konwencji prezentacji gotowych utworów „z taśmy” – jeśli formuła ta byłaby wystarczająca (zarówno dla twórców, jak i słuchaczy), zapewne nie dokładano by starań, aby ten stan rzeczy zmienić. Tendencji tej pośrednio dowodzi chociażby kierunek rozwoju wczesnych syntezatorów, których twórcy na przełomie lat 60. i 70. XX w. starali się wychodzić naprzeciw oczekiwaniom muzyków, wprowadzając mobilne, uproszczone wersje swoich instrumentów – dotąd z reguły stacjonarnych, złożonych syntezatorów modularnych: pojawiły się instrumenty takie jak Minimoog, ARP 2600, EMS Synthi czy Buchla Music Easel.

¹² J. Poullin, *Son et espace*, „Vers une musique expérimentale” 1953, t. 236.

¹³ J. Henshaw Danielson, *Karlheinz Stockhausen: The Search for Control*, „Synapse” 1977, t. 2, nr 37.

¹⁴ W cytowanym wywiadzie Stockhausen z charakterystyczną pewnością siebie stwierdził, że to on zapoczątkował muzykę elektroniczną – w rzeczywistości w dziedzinie mozolnego konstruowania brzmień syntetycznych w epoce przesyntezatorowej wyprzedzali go co najmniej Herbert Eimert i Werner Meyer-Eppeler.

¹⁵ M. Morawska-Büngeler, *Schwingende Elektronen. Eine Dokumentation über das Studio für Elektronische Musik des Westdeutschen Rundfunks Köln 1951–1986*, Köln–Rodenkirchen 1988.

¹⁶ E. Barkin, M. Brody, *Babbitt, Milton*, t. 1, Oxford 2001.

Współczesny Kompozytor A musi zatem zderzyć się z tym samym problemem – czy chęć stuprocentowo precyzyjnej realizacji zamysłu muzycznego usprawiedliwia niesatysfakcjonującą formułę prezentacji tak powstałej kompozycji na żywo?

Istnieją w tym temacie oczywiście różne perspektywy – Mike McNabb stwierdził chociażby, że w przypadku utworów generowanych elektronicznie i prezentowanych publicznie „z taśmy”, problemem w odbiorze nie jest brak wykonawcy na scenie, ale brak wykonawcy w ogóle¹⁷. W moim odczuciu jednak sytuacja może być zgoła odwrotna – można sobie wyobrazić koncert bez udziału żywych wykonawców – wykorzystujący jedynie robotyczne instrumenty muzyczne – który jednak z punktu widzenia publiczności jest znacznie bardziej angażujący, niż odtworzenie na tej samej scenie nagrania dokonane przez żywych muzyków.

Spróbujmy przyjrzeć się Kompozytorowi A z jeszcze innej perspektywy: ów hipotetyczny kompozytor, posiadający umiejętność wyobrażenia sobie utworu muzycznego w najdrobniejszych szczegółach, musiał jednak w pierwszej kolejności zbudować swój język muzyczno-brzmieniowy w oparciu o istniejące nagrania lub wykonania wcześniej powstałej muzyki. Zatem, nawet jeśli jego własna twórczość mogłaby potencjalnie bez instrumentów istnieć, jednym z warunków zaistnienia jego warsztatu twórczego pozostaje dotychczasowy dorobek muzyczny ludzkości, oparty w znacznej mierze na fizycznych źródłach dźwięku (instrumentach i głosie ludzkim). Zatem inwencja twórcza Kompozytora A wynika również z dialogu między wyobraźnią a technologią – choć nie tyle w wyniku bezpośrednich eksperymentów z instrumentami, ile w drodze poznania ich możliwości muzycznych za pośrednictwem wysłuchanych koncertów lub nagrań.

Do grona kompozytorów z kategorii A można by włączyć również takich, którzy nie decydują się co prawda na całkowitą rezygnację z prezentacji swoich dzieł za pośrednictwem wykonawców korzystających z żywych instrumentów, niemniej jednak reprezentują wobec tychże wykonawców podobną postawę, jak wobec materiału muzycznego generowanego elektronicznie. Wspomniani już Stockhausen i Babbitt, oprócz generowania utworów za pomocą sprzętu elektroakustycznego, tworzyli oczywiście również w bardzo podobnym duchu utwory tradycyjnie zapisane w nutach, oczekując od wykonawców stuprocentowo precyzyjnej realizacji.

Szczególnością takiego podejścia stanowią kompozycje muzyki spektralnej: tu ściśle odtworzenie precyzyjnego zapisu nutowego nieodzowne jest dla uzyskania zjawiska resyntezy akustycznej, która – będąc zjawiskiem psychoakustycznym – zaistnieć może w percepcji słuchacza jedynie przy zachowaniu odpowiednich mikrotonalnych relacji między dźwiękami poszczególnych instrumentów. Sama idea spektralizmu wynika jednak ze ścisłego dialogu między ideą a materią, estetyką a wiedzą naukową, ekspresją artystyczną a technologią, a specyficzna dla tej muzyki praktyka kompozytorska jest w pewnej

¹⁷ „The reason that a lot of tape music sounds unsatisfactory is not because there is no performer on stage, but simply because there is no performer at all” (McNabb, 1986, [za:] P. Kokoras, *Fab Synthesis: Performing sound, from Musique Concrète to Mechatronics*, „Musica/Tecnologia” 2023, DOI: 10.36253/music_tec-14419).

mierze **procesem generatywnym**¹⁸. Tu zatem możemy już mówić o obiektywnych podstawach oczekiwania precyzyjnego odwzorowania zapisu przez wykonawców.

Nie zmienia to jednak faktu, że oczekiwanie od technologii jedynie realizacji z góry narzuconych przez człowieka zadań uniemożliwia twórcy dokonania swoistego rodzaju kreatywnych odkryć, które zaistnieć mogą właśnie w drodze dialogu między ideą a technologią, między twórcą a narzędziem, w których niebagatelną rolę odgrywają błąd i przypadek, techniczne ograniczenia stające się niekiedy – paradoksalnie – katalizatorem nowych estetycznych i strukturalnych odkryć w obszarze szeroko pojętej sztuki.

Drugi z omawianych w artykule Fella przypadków dotyczył Nathaniela Pierre’a Jonesa (znanego bardziej pod pseudonimem DJ Pierre, członka grupy Phuture)¹⁹. Mniej więcej w tym samym czasie, na który przypadał szczyt kariery Dolby’ego (1985 r.), Jones, poszukując nowego brzmienia syntetycznego basu, wszedł w posiadanie dziś legendarnego, a wówczas jeszcze pogardzanego²⁰ syntezatoro-sekwencera Roland TB-303. Kupiony z drugiej ręki instrument nie posiadał instrukcji obsługi, co okazało się przeszkodą w zaprogramowaniu wbudowanego w TB-303 wyjątkowo nieintuicyjnego sekwencera. W związku z tym, w toku eksperymentalnego *jam session*, Jones wykorzystał zapisane w instrumencie przez wcześniejszego właściciela sekwencje, skupiając się głównie na poszukiwaniu interesujących brzmień poprzez kręcenie na chybił trafił gątkami syntezatora. W pewnym momencie natrafił na brzmienie z ówczesnej perspektywy tak zaskakujące, zarówno dla siebie, jak i pozostałych muzyków Phuture, że stało się ono katalizatorem powstania zupełnie nowego podgatunku muzyki elektronicznej, dziś znanego jako *acid house*.

Ostateczny efekt brzmieniowy, który uzyskali członkowie grupy Phuture, nie jest co prawda przypadkiem odosobnionym – zapętłona sekwencja syntezatora, poddawana przetworzeniom za pomocą filtra rezonansowego, wykorzystywana bywała już wcześniej (jak choćby w utworze *On the Run* zespołu Pink Floyd), choć wykorzystanie tego konkretnego instrumentu – TB-303 – z jego dość prymitywnym oscylatorem i filtrem, szczególnie podatnym na wpadanie w samooscylację, zaowocowało powstaniem nowego zjawiska muzycznego. **Znacznie istotniejszy jest jednak sam proces, na drodze którego doszło do tego odkrycia: mianowicie proces eksperymentalnego dialogu między artystą a narzędziem, zawierający element przypadku, który to jednak przypadek – dzięki intuicji i wrażliwości estetycznej twórcy – udało się uchwycić i wykorzystać świadomie do dalszego**

¹⁸ Termin ten zostanie szczegółowo wyjaśniony podrozdziale 1.4.1.

¹⁹ *The Story Of Acid House: As Told By DJ Pierre*, <https://daily.redbullmusicacademy.com/2012/12/dj-pierre-interview> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

²⁰ Instrument w pierwotnym zamyśle miał imitować brzmienie gitary basowej i stanowić źródło automatycznego akompaniamentu dla muzyków jazzowych – promował go między innymi Oscar Peterson; brzmienie instrumentu było jednak na tyle odległe od pierwowzoru, że nie przyjął się on w pierwotnie zaplanowanej roli.

rozwoju nowo powstającego utworu²¹. Ten proces – w znacznie, jak myślę, szerszym zakresie (dotyczącym nie tylko brzmienia, ale i struktury kompozycji oraz, co nie mniej ważne, sposobu interakcji między muzykami będącymi elementami procesu) – jest kluczowy dla przedmiotu niniejszej pracy; stąd potrzeba przywołania go na samym wstępie.

Tego rodzaju szeroko pojmowaną postawę twórczą można przypisać drugiemu hipotetycznemu twórcy, którego nazwę Kompozytorem B. DJ Pierre nie jest oczywiście ani pierwszym, ani jedynym reprezentantem takiego podejścia – praca w dialogu z zaawansowanym technologicznie narzędziem leży u podstaw wielu działań z obszaru sztuki generatywnej, sztuki nowych mediów czy mniej lub bardziej eksperymentalnej muzyki elektronicznej i elektroakustycznej. W powyższych akapitach poświęciłem sporo miejsca Kompozytorowi A, podejście Kompozytora B opisując nader lakonicznie – jest mi ono jednak dużo bliższe, a i znacznie lepiej opisuje zamysł stojący u podstaw opisywanego w tej pracy przedsięwzięcia. Szerszemu, pogłębionemu opisowi podejścia twórczego właściwego dla Kompozytora B poświęcam znaczącą część pierwszego rozdziału, w którym opisuję liczne przykłady właściwych temu podejściu strategii i technik.

Oczywiście Fell nie jest jedynym – a i nie pierwszym – obserwatorem praktyk kompozytorskich, który dostrzegł istnienie różnych postaw kompozytorów wobec wykorzystywanych przez nich narzędzi, czy – szerzej – materii muzycznej. Ponad trzy dekady wcześniej Krzysztof Szlifirski, na podstawie obserwacji strategii przyjmowanych przez kompozytorów muzyki elektroakustycznej, wyodrębnił trzy ich typy – konstruktivistę, improwizatora i wizjonera²². Konstruktywista – opisywany przez Szlifirskiego jako przystępujący „do realizacji swojej kompozycji ze szczegółowym jej opisem, oczekując od realizatora dźwięku ścisłego przełożenia swoich pomysłów na język technologii”, odpowiada w dużej mierze Kompozytorowi A; pozostałe dwa typy kompozytorów są bardziej otwarte na dialog z narzędziem i materią, który – z racji specyfiki pracy z materią elektroakustyczną w jej pionierskim okresie – wymagał wówczas jeszcze pośrednika w postaci realizatora²³.

Podobnie Katya Davisson²⁴ proponuje rozważanie procesu kompozycji w znaczeniu wąskim i szerokim – podejściach odpowiadających w ogólnym zarysie zaproponowanym przeze mnie typom A i B (do obserwacji Davisson wróć jeszcze w podrozdziale 1.5, dotyczącym relacji między kompozycją a improwizacją).

²¹ Orson Welles nazywał takie przypadkowe, wychwycone we właściwym momencie przez czujnego twórcę zdarzenia „boskimi przypadkami” – zob. *Orson Welles on „divine accidents”*, <https://www.youtube.com/watch?v=CFKgWzllQtA> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

²² K. Szlifirski, *Muzyka elektroniczna jako przedmiot nauczania w wyższych szkołach muzycznych*, [w:] *Studia z teorii przekazu dźwięku. Praca zbiorowa pracowników Katedr Reżyserii Muzycznej i Akustyki Muzycznej Wydziału Reżyserii Dźwięku Akademii Muzycznej im. F. Chopina w Warszawie*, Warszawa 1982.

²³ Choć rola realizatora / asystenta muzycznego pozostaje wciąż istotnym elementem realizacji kompozycji elektroakustycznych w dużych studiach muzyki elektronicznej – zob. L. Zattra, *‘Collaborating on Composition: The Role of the Musical Assistant at IRCAM, CCRMA and CSC’*, [w:] *Live-Electronic Music. Composition, Performance and Study*, London 2018, s. 59–80.

²⁴ K. Davisson, *Improvisation as a Method of Composition: Reconciling the Dichotomy*, „The British Journal of Aesthetics” 2022, t. 62, nr 3, DOI: 10.1093/aesthj/ayac018.

Dwie odrębne strategie kompozytorskie o podobnych cechach wyróżnia również Brian Eno w wykładzie *Composers as Gardeners*²⁵, nazywając reprezentujących je twórców odpowiednio architektami i ogrodnikami. Obserwacje Eno z kolei opiszę bardziej szczegółowo w podrozdziale 1.4, dotyczącym muzyki generatywnej.

²⁵ *Composers as Gardeners* | *Edge.org*, https://www.edge.org/conversation/brian_eno-composers-as-gardeners [dostęp: 1 maja 2024 r.].

Rozdział 1. Kontekst pracy

1.1. Postcyfrowość, czyli dlaczego instrumenty hybrydowe?

Wymienione w podtytule²⁶ oraz zarysowane w abstrakcie wstępne założenia opisywanego w niniejszej pracy projektu zakładają połączenie dwóch światów – świata fizyczno-akustycznego, czyli namacalnego, zatem istniejącego bezsprzecznie w postaci obiektów dających się percypować za pośrednictwem zmysłów, oraz świata cyfrowego, niespełniającego powyższych warunków, ale w dużej mierze dzięki temu właśnie uwolnionego od ograniczeń właściwych dla niecyfrowego świata. Uzasadnienia połączenia tych dwóch, jak się zdaje, odrębnych światów dostarcza pojęcie **postcyfrowości**, a właściwie moja jego definicja, nieco odmienna od definicji dominujących, acz jednak niezwykle w moim odczuciu użyteczna.

1.1.1. Postcyfrowość

Technologia cyfrowa jest powszechnie obecna już od kilku dekad. Pierwotna fascynacja jej możliwościami, widoczna choćby w tendencji do „ucyfrawiania” każdej dziedziny życia (na przykład wyposażanie sprzętów AGD w technologię wi-fi czy też zastępowanie pokręteł i przycisków na tablicach rozdzielczych samochodów dużymi ekranami dotykowymi), powoli ustępuje miejsca bardziej zniuansowanemu podejściu, które nazwać można postcyfrowym.

Postcyfrowość jest obecnie terminem dość powszechnie stosowanym, a jego znaczenie jest zapewne w większym lub mniejszym stopniu czytelne, choć bywa ona definiowany na różne sposoby²⁷. Pierwsze użycie tego terminu pojawiło się zresztą w kontekście muzyki²⁸.

W znaczeniu czysto artystycznym podejście postcyfrowe w muzyce współczesnej reprezentowane bywa w postaci nieco ironicznego wykorzystania charakterystycznych dla cyfrowej kultury artefaktów czy zjawisk technologiczno-społecznych – na przykład *DIY-owa*²⁹ estetyka filmików z YouTube’a stała się punktem wyjścia dla muzyki postinternetowej, reprezentowanej chociażby przez Jennifer Walshe³⁰ czy Ensemble Kompopolex³¹. Często eksploatowanym elementem wizualnym jest z kolei celowo kiczowata, wzorowana na wczesnych systemach operacyjnych czy stronach internetowych z lat 90. XX w. konwencja estetyczna zwana *vaporwave*.

²⁶ „Cyfrowo sterowane instrumenty akustyczne”.

²⁷ F. Cramer, *What Is 'Post-Digital'?*, „A Peer-Reviewed Journal About” 2014, t. 3, nr 1, DOI: 10.7146/aprja.v3i1.116068.

²⁸ Cascone, 2004, [za:] J. Ferguson, A. Brown, *Fostering a Post-Digital Avant-Garde: Research-led teaching of music technology*, „Organised Sound” 2016, t. 21, DOI: 10.1017/S1355771816000054.

²⁹ DIY (skrót od anglojęzycznego *do it yourself*) nie posiada satysfakcjonującego polskiego ekwiwalentu – nasuwający się termin „majsterkowanie” wykazuje nieco pejoratywne konotacje, estetyka DIY z kolei opisuje znacznie szersze spektrum zjawisk; termin ten zadomowił się w języku polskim na tyle, że będę używał go w dalszej części pracy w oryginalnej formie.

³⁰ M. Pasięcznik, *Jennifer Walshe – kameleon muzyki współczesnej*, „Glissando” 2016, t. 29, <https://glissando.pl/tekst/jennifer-walshe-kameleon-muzyki-wspolczesnej/>.

³¹ *Ensemble Kompopolex*, <http://www.kompopolex.pl/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

Postcyfrowość ma jednak również inną formę, w której twórcy spoglądają na technologię cyfrową z pewnego dystansu, dzięki czemu niektóre elementy czy techniki zrodzone dzięki technologii cyfrowej znajdują zastosowanie w niecyfrowych praktykach. W obszarze produkcji muzycznej stosowanie rozwiązań cyfrowych do rejestracji czy montażu nagrań stanowi spore usprawnienie w porównaniu z opartymi na taśmie magnetycznej procesami analogowymi, niemniej jednak analogowe urządzenia, takie jak procesory dynamiczne, wykorzystywane są powszechnie na etapie miksu czy masteringu ze względu na właściwości brzmieniowe.

Ciekawsze rezultaty podejście postcyfrowe przynosi jednak w obszarze nie tyle samego brzmienia, ile struktury muzyki: przykładem może być choćby wpływ powstałego w 1994 r. oprogramowania Propellerheads ReCycle³² na rozwój stylów muzycznych jungle/drum'n'bass, a za ich pośrednictwem na technikę gry perkusistów, grających na akustycznych instrumentach. ReCycle było jednym z pierwszych narzędzi umożliwiających niezależną zmianę tempa i wysokości dźwięku zarejestrowanych cyfrowo pętli perkusyjnych, pozwalając również na rytmiczną zmianę kolejności poszczególnych fragmentów pętli, czego owocem były charakterystyczne, rytmicznie złożone partie perkusyjne. Przetwarzaniu pętli perkusyjnych za pomocą ReCycle mogła również towarzyszyć zmiana wysokości dźwięku poszczególnych, składających się na pętlę rytmiczną sampli. Pierwszy z uzyskanych w ten sposób efektów został zaadoptowany przez wielu perkusistów w tradycyjnej grze na zestawie – jednym z charakterystycznych przedstawicieli tego podejścia jest perkusista i producent muzyczny Jojo Mayer. Opisuje on swoje podejście jako „próbę przeprowadzenia inżynierii wstecznej muzyki generowanej obecnie przy użyciu komputerów i przekształcenia jej w wykonywaną na żywo, improwizowaną formułę”³³. Z kolei *pitchshifting* sampli perkusyjnych znalazł swoje postcyfrowe odbicie w oferowanych przez producentów sprzętu perkusyjnego instrumentach, takich jak talerze efektowe (na przykład Sabian VFX) czy werble piccolo, mających imitować brzmienie przetworzonych cyfrowo sampli. W sztukach wizualnych z kolei taka forma podejścia postcyfrowego przyjmować może postać na przykład malarstwa inspirowanego cyfrowymi artefaktami³⁴ czy fizycznych wersji elementów interfejsu systemów operacyjnych, takich jak kursor myszy czy pasek postępu³⁵. Opisywana sytuacja ukazuje istotny proces wzajemnego wpływu technologii na estetykę, który jest jednym z elementów praktyk stosowanych przez Kompozytorów B.

Z mojej perspektywy, kluczowe dla podejścia postcyfrowego jest traktowanie technologii cyfrowej jako jednego z wielu dostępnych narzędzi, posiadającego – zależnie od kontekstu – zarówno mocne, jak i słabe strony. W postcyfrowym spojrzeniu opisywane wcześniej zachłyśnięcie może zostać zastąpione podejściem, w którym do każdego zadania szuka się najwłaściwszego z szerokiej palety dostępnych rozwiązań – zarówno cyfrowych, jak i pozacyfrowych.

³² T. Souvignier, *Closing the Loop*, „Electronic Musician” 2003.

³³ „(...) endeavor in reverse engineering the textures and rhythms of the current stream of computer generated music into a live performed, improvisational format” (Jojo Mayer – DRUMMERWORLD, https://www.drummerworld.com/drummers/JOJO_Mayer.html [dostęp: 4 maja 2024 r.].

³⁴ Troika, *Irma watched over by machines*, „Troika”, <https://troika.uk.com/work/works/irma-watched-over-by-machines/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

³⁵ *panGenerator* » icons, <https://pangenerator.com/projects/icons/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

Być może, zamiast definiować po swojemu termin „postcyfrowość”, powinienem pokusić się o jego przeformułowanie, na wzór podobnego zabiegu przeprowadzonego przez Alexandra Schuberta – tenże kompozytor, kojarzony z przywoływanym już nurtem *post-internet art*, podczas spotkania online ze społecznością akademicką UMFC w marcu 2021 r. zasugerował, że zręczniejsze byłoby określenie „*internet-aware art*” (Schubert z kolei wskazuje Guthrie Lonergana jako autora tego sformułowania³⁶). Wszak internet wciąż istnieje, trudno zatem mówić o sztuce pointernetowej; podobnie ma się rzecz z technologią cyfrową – ta znajduje się w ciągłym rozkwicie, więc trudno wieszczyć jej schyłek. Jednak świadomość jej istnienia i związanych z tym faktem plusów i minusów pozwala na spojrzenie z dystansu. Trudno wszak z perspektywy słowotwórczej termin „postdigital” zręcznie przeformułować – czy powinien on brzmieć „digital-aware art”, czy też może „digitality-aware art”? A w języku polskim – „sztuka świadoma cyfrowości”? Stąd też, mając pełną świadomość faktu, że stosuję termin „postcyfrowość” w nieco innym znaczeniu, niż to najpowszechniej wykorzystywane, ze względu na wygodę językową pozostanę jednak przy tej formie, z zastrzeżeniem, iż stosuję ją właśnie w tym specyficznym rozumieniu.

Podsumowując: postcyfrowość zdefiniowana jako **podejście wykorzystujące optymalną dla danego zastosowania kombinację elementów cyfrowych i niecyfrowych – elastyczność kodu i namacalność fizycznej materii** – stała się punktem wyjścia do stworzenia opisywanego w niniejszej pracy projektu artystycznego, jako strategia mogąca przynieść interesujące i korzystne rezultaty, zarówno z punktu widzenia praktyki twórczo-wykonawczej, jak i estetyki powstałego dzieła.

W konkluzji wątku dotyczącego postcyfrowości warto jeszcze wprowadzić istotne dla projektu AAAA pojęcie **instrumentów hybrydowych**. Określeniem tym można nazwać instrumenty, przy budowie których wykorzystano dowolną kombinację elementów akustycznych i cyfrowych. Nieco węższe znaczenie mają sformułowania „instrumenty aktuowane” czy „embedded acoustic instruments” – oba będą jednak podziorami instrumentów hybrydowych. Definicje uszczegóławiające dwa ostatnie terminy pojawią się w dalszej części pracy (w podrozdziałach 1.2.3 oraz 2.3.1) – na tym etapie istotne jest jedynie spostrzeżenie, iż podejście hybrydowe jest przejawem perspektywy postcyfrowej w dziedzinie projektowania nowych instrumentów, czy też – szerzej – w obszarze technologii muzycznej³⁷.

1.1.2. Trójtrowe spojrzenie na projekt AAAA

Wykorzystane w podtytule sformułowanie „cyfrowo sterowane instrumenty akustyczne” opisuje dość jednoznacznie pewną kategorię instrumentów muzycznych; opis ten można skrócić jeszcze bardziej – do zasygnalizowanych powyżej dwuwyrzowych określeń „instrumenty hybrydowe” lub „instrumenty aktuowane”. Jednak precyzyjny opis znaczenia powyższych terminów wymaga poruszenia wielu zagadnień, niejednokrotnie dość odległych.

³⁶ A. Schubert, *Switching worlds*, Hofheim am Taunus 2021, s. 38.

³⁷ Oczywiście użycie określenia „instrumenty hybrydowe” w powyższym znaczeniu jest dość arbitralne – mogłoby ono wszak opisywać wszelkie instrumenty łączące w sobie cechy tradycyjnie przypisywane odrębnym kategoriom, na przykład ofiklejda łączący elementy instrumentów dętych drewnianych i blaszanych.

Aby ten proces uporządkować, można opis ów przeprowadzić niejako trójtorowo: wychodząc z perspektywy samej konstrukcji instrumentów – czyli „części materialnej”, z perspektywy logiki działania – „części logicznej”, czy wreszcie z perspektywy procesu twórczego i relacji między improwizacją a kompozycją – czyli „czynnika ludzkiego”. W skład wymienionych części wchodzi następujące zagadnienia:

CZĘŚĆ MATERIALNA	CZĘŚĆ LOGICZNA	CZYNNIK LUDZKI
Dotyczy zagadnień związanych z fizyczną postacią instrumentów hybrydowych; z częścią materialną wchodzi też w bezpośrednią interakcję wykonawca – wynikają z niej zatem również wszelkie kwestie dotyczące ergonomii interfejsu.	Występuje najczęściej w postaci oprogramowania kontrolującego działanie elementów mechatronicznych; z częścią „logiczną” związane są wszelkie zagadnienia dotyczące procesów generatywnych.	Kategoria ta opisuje przede wszystkim psychologiczny aspekt relacji wykonawcy z instrumentem oraz relacje między kompozycją, improwizacją a muzyką procesu.
<ul style="list-style-type: none"> pojęcie interfejsu użytkownika w kontekście instrumentów muzycznych; zagadnienia dotyczące relacji z fizycznymi instrumentami za pośrednictwem zmysłów wzroku, słuchu i dotyku – zarówno z perspektywy wykonawców, jak i odbiorców; proces projektowania instrumentów z punktu widzenia teorii dizajnu. 	<ul style="list-style-type: none"> szuka generatywna oraz jej podzbiory (czy też zbiory częściowo się z nią zazębiające): sztuka algorytmiczna i procesualna, próba zdefiniowania granic i relacji między sztuką algorytmiczną, generatywną i procesualną; systemy generatywne a sztuczna inteligencja. 	<ul style="list-style-type: none"> różnice i podobieństwa między improwizacją a kompozycją, relacje między wymienionymi zagadnieniami a muzyką procesu; próba spojrzenia na tę relację z punktu widzenia psychologii <i>flow</i>.

Jak postaram się wykazać w poniższych podrozdziałach, te pozornie odległe i niepowiązane ze sobą zagadnienia posiadają wiele zachodzących na siebie obszarów i – przy przyjęciu odpowiedniej perspektywy – mogą stanowić podwaliny pod koherentną praktykę twórczą.

1.2. Dlaczego instrumenty akustyczne, czyli część materialna

1.2.1. Perspektywa odbiorcy: aspekt performatywny nowych form interakcji z instrumentami

We wstępie użyłem sformułowania „Kompozytor A”, mając na myśli przede wszystkim kompozytorów *sensu stricto*, ale pewne cechy, charakterystyczne dla reprezentantów tej umownej grupy, znajdziemy również u nieco odrębnej kategorii twórców, czyli producentów muzyki elektronicznej – a w szczególności ich dość liczny podzbiór, którego przedstawiciele nie posiadają formalnego wykształcenia muzycznego czy umiejętności gry na standardowych instrumentach. Dla wielu z tych twórców dostępność niedrogich komputerów i darmowego lub budżetowego oprogramowania stała się u progu XXI w. przepustką do świata twórczości muzycznej. Powstało wówczas charakterystyczne zjawisko, znane jako *laptronica*, a na rodzimym gruncie jako „scena laptopowa”. O centralnej roli laptopa w instrumentarium ówczesnych producentów-wykonawców świadczą chociażby liczne orkiestry laptopowe, powstające między innymi na wydziałach technologii muzycznej wielu uczelni

(Stanford Laptop Orchestra³⁸, Princeton Laptop Orchestra³⁹, Georgia Tech Laptop Orchestra⁴⁰ czy poznańska Lambda Ensemble⁴¹), czy istnienie zjawiska zwanego *laptop battle*⁴². Zjawisko wykorzystywania laptopa jako instrumentu oraz wynikających z tego implikacji opisywał wyczerpująco w 2010 r. Tad Turner⁴³.

Przed kilkunastu laty miałem okazję obserwować krystalizowanie się rodzimego środowiska muzyków laptopowych, które następowało na przełomie pierwszych dwóch dekad XXI w. Ważnym katalizatorem tego procesu był stworzony przez Jarka Grzesicę Warsaw Electronic Festival⁴⁴, wokół którego konsolidowała się grupa twórców z różnych środowisk, których łączyło jednak traktowanie laptopa jako głównego instrumentu. Jedną z charakterystycznych dla tego środowiska cech była z jednej strony chęć samodzielnego stworzenia i dopracowania utworu w najdrobniejszych szczegółach, z drugiej potrzeba podzielenia się swoją twórczością ze światem nie tylko w formie udostępniania gotowych produkcji online czy na fizycznych nośnikach, ale i w postaci wykonania na żywo. Prezentacja utworów w formie właściwej dla wspomnianych powyżej kompozycji „na taśmę” (czyli w postaci odtworzenia uprzednio wyprodukowanego, zmiksowanego i poddanego masteringowi pliku audio) postrzegana była jako „oszustwo”; większość znanych mi twórców tego nurtu dążyło do znalezienia własnej formuły „grania na żywo” – co jednak w przypadku tak tworzonej muzyki w większości przypadków oznaczało w praktyce odtwarzanie zapisanych w komputerze projektów za pomocą wirtualnych syntezatorów i samplerów, z ewentualną kontrolą w czasie rzeczywistym jedynie kilku parametrów za pomocą kontrolera midi (czy wręcz standardowych elementów interfejsu laptopowego – klawiatury i myszy/touchpada). Taka forma pozostawiała wiele do życzenia z performatywnego punktu widzenia, stąd zapewne większości koncertów towarzyszyły wyświetlane na scenie wielkoformatowe wizualizacje. Już wówczas pojawiały się głosy, że formuła ta jest niesatysfakcjonująca, a rozwijający się pod koniec pierwszej dekady XXI w. w zawrotnym tempie rynek kontrolerów midi (a także powstanie warunków budowy własnych kontrolerów na bazie Arduino i innych, podobnych mikrokontrolerów) zachęcał do rozwijania aspektu performatywnego występów z wykorzystaniem większej ilości tychże. Stworzony przez twórcę znanego pod pseudonimem Moldover w okolicach 2007 r. termin *controlerism*⁴⁵ był pierwszym wyraźnym sygnałem tej tendencji, choć ważnym elementem proponowanej przez Moldovera praktyki wykonawczej było również twórcze hackowanie istniejących kontrolerów i narzędzi oraz wyniesienie roli kontrolera do rangi pełnoprawnego instrumentu muzycznego. Problem niewystarczającej ekspresji scenicznej

³⁸ *Stanford Laptop Orchestra (SLOrk) | CCRMA*, <https://ccrma.stanford.edu/groups/stanford-laptop-orchestra-slork> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

³⁹ *PLOrk – Home*, <https://plork.princeton.edu/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

⁴⁰ J. Freeman i in., *LOLC for laptop music ensemble*, „C&C '11: Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition”, listopad 2011 r.

⁴¹ *Lambda Ensemble*, 14 listopada 2022 r., <http://lambdaensemble.com/pl/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

⁴² *Laptop battle*, Wikipedia, 2023 r.

⁴³ T. Turner, *The Resonance of the Cubicle: Laptop Performance in Post-digital Musics*, „Contemporary Music Review” 2003, t. 22, nr 4, DOI: 10.1080/0749446032000156928.

⁴⁴ *Warsaw Electronic Festival*, Wikipedia, wolna encyklopedia, 2024 r.

⁴⁵ G. de Llera Blanes, *Controllers as Musical Instruments and Controllerism as a Musical Practice – Practices of a new 21st Century musical culture*, wrzesień 2017 r., s. 92, <https://run.unl.pt/bitstream/10362/45945/1/TESE%20MESTRADO%20-Guillermo%20de%20Llera%202017.pdf> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

podczas koncertów laptopowych próbował również w 2011 r. twórczo rozwiązać pierwszy projekt współtworzonej przeze mnie grupy artystycznej panGenerator⁴⁶ – *Dodecaudion*⁴⁷.

Przykładów można podać znacznie więcej, niemniej jednak rozwiązanie jednego problemu zrodziło w tym wypadku kolejny – rozdzielenie funkcji kontrolera, generatora i źródła dźwięku może powodować u słuchaczy dysonans poznawczy. W swoim artykule konferencyjnym *Feedboxes* z 2017 r. opisałem tę sytuację następująco:

(...) szukałem rozwiązania, które uwolniłoby muzyków od typowej konfiguracji, wykorzystującej laptopa, kontroler MIDI oraz system nagłośnieniowy. Rozwiązanie to tworzy metaforę, w której interfejs umożliwiający interakcję (obsługę pokręteł czy wciskanie przycisków/padów) jest odseparowany od generatora dźwięku (komputera) oraz faktycznego źródła dźwięku (systemu nagłośnieniowego). (...) Sytuacja ta jest wyraźnie odmienna od znanego doświadczenia, które towarzyszy obcowaniu z instrumentem akustycznym, w przypadku którego funkcje interfejsu, generatora dźwięku oraz faktycznego źródła dźwięku realizowane są przez pojedynczy obiekt. (...) Stanowi to problem nie tylko dla wykonawcy, ale również dla słuchaczy – nie występuje wyraźna korelacja między obserwowanymi akcjami a słyszanej muzyką⁴⁸.

Jednym z celów projektu *Feedboxes* było zniwelowanie wspomnianego dysonansu poznawczego, poprzez skonstruowanie instrumentów imitujących pod względem wykonawczo-performatywnym pewne cechy instrumentów akustycznych. Do *Feedboxes* będę jeszcze wracał w podrozdziale 1.4.4, dotyczącym muzyki generatywnej.

Do podobnych wniosków doszedł Mark T. Marshall:

Elementy instrumentu muzycznego, którymi wykonawca manipuluje, aby wytworzyć dźwięk, nazywamy systemami sterującymi. W instrumentach akustycznych są one zintegrowane z systemami generowania dźwięku. Wykonawca tworzy dźwięk na instrumencie akustycznym poprzez bezpośrednie oddziaływanie na mechanizmy produkcji dźwięku⁴⁹.

Jednak, jak zauważa Marshall, w przypadku instrumentów elektronicznych:

Wykonawca oddziałuje na sensory, komputer odczytuje wartości tych sensorów, manipuluje parametrami syntezy, syntezuje dźwięk i przesyła go do oddzielnego systemu głośników, często umieszczonego z dala od wykonawcy⁵⁰.

⁴⁶ *panGenerator* – *Życie i twórczość*, Culture.pl, <https://culture.pl/pl/tworca/pangenerator> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

⁴⁷ *Dodecaudion*, panGenerator, <https://pangenerator.com/projects/dodecaudion/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

⁴⁸ „(...) I was looking for a solution to free the musicians from the constraints of typical laptop setup, which would be a laptop, midicontroller and PA system. This situation creates a metaphor, in which an interface for interaction (i.e. the actual physical actions, like turning knobs and pressing pads) is detached from sound generating device (the computer) and the sound source (PA). (...) This situation is very different from the familiar experience of using an acoustic instrument, where the interface, sound generating device and sound source are the same object. (...) This is a problem not only from the point of view of the performer, but also for audience members – there is no clear correlation between the observed action and the music that is heard” (K. Cybulski, *Feedboxes*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017).

⁴⁹ „In musical instruments the control systems are those portions of the instrument which the performer manipulates to create sound. For acoustic instruments these are integrated with the sound creation systems. The performer creates sound on an acoustic instrument by acting directly on the sound production mechanisms” (M. Marshall, *Physical interface design for digital musical instruments*, 4 stycznia 2008 r.

⁵⁰ „The performer acts on the sensors, the computer reads the sensor values, manipulates synthesis parameters, synthesizes the sound and outputs the sound through a separate speaker system, often located away from the performer” (*ibidem*).

Spostrzeżenia dotyczące problematyki odbioru muzyki elektronicznej wykonywanej za pomocą laptopów poczynił już w 1996 r. Denis Smalley:

Rozdźwięk między tym, co widzialne a tym, co słyszalne, staje się coraz większy, co prowadzi do zerwania powiązań między dźwiękowymi a wizualnymi aspektami gestu. (...) Kontrolery MIDI umożliwiają zmianę mapowania parametrów, co może powodować u obserwatora-słuchacza dezorientację lub trudności z uświadomieniem sobie związków między dźwiękiem a gestem; przetwarzanie sygnału może zmienić dźwięk do tego stopnia, że przestaje on być powiązany ze swoim dostrzegalnym, instrumentalnym źródłem⁵¹.

Smalley konkluduje jednak, iż próby zbytniego upodobnienia zachowania instrumentów cyfrowych do instrumentów tradycyjnych mogą zaowocować niepełnym wykorzystaniem unikalnych możliwości tych pierwszych⁵². Zagadnienie to występuje również w dziedzinie szeroko pojętego projektowania przedmiotów użytkowych, gdzie – chcąc ułatwić obsługę urządzeń wykorzystujących cyfrowy interfejs użytkownika – upodabnia się ich formę do ich fizycznych odpowiedników. Strategia ta znana jest pod nazwą *skeumorfizm*⁵³, a jej przykładem jest choćby wzorowany na projektach Dietera Ramsa wygląd aplikacji Kalkulator w systemie Apple iOS czy też pseudotrójwymiarowa forma przycisku „Start” we wczesnych wersjach systemu operacyjnego Windows. W późniejszych wersjach Windowsa zrezygnowano ze skeumorfizmu, co pozwoliło eksplorować nowe możliwości w dziedzinie czysto cyfrowych interfejsów użytkownika.

Wracając do zagadnienia dysonansu poznawczego czy też – jak można by ten problem nazwać – braku **komunikatywności performatywnej**: Berthaut i Dahl idą o krok dalej, zauważając, że brak przejrzystego przełożenia akcji muzyka laptopowego na wygenerowany przezeń dźwięk może być problemem nie tylko dla odbiorców, ale i dla samych wykonawców: „(...) potencjalny brak wglądu we wkład poszczególnych muzyków w słyszany przez nich dźwięk – czyli »kto gra co« – może zmniejszać ich zdolność do wspólnego grania”⁵⁴. Obserwację tę potwierdzają moje doświadczenia⁵⁵. Berthaut i Dahl proponują rozwiązanie z wykorzystaniem wizualizacji, które jednak, jak już wspominałem, stanowi jedynie *erzac* faktycznego rozwiązania problemu.

Felipe Verdugo i inni rozszerzają zagadnienie percepcji występu na żywo na obszar tradycyjnej orkiestry, proponując system MappEMG, który „(...) pozwala publiczności doświadczyć wysiłku mięśniowego wykonawcy, będącego istotnym elementem wykonania muzycznego, który zazwyczaj nie podlega

⁵¹ „There is an increasing ambiguity between what is seen and what is heard, leading to ruptures in the links between the sounding and visual aspects of gesture. (...) MIDI-controllers permit the remapping of parameters so that the watching listener may be confused about or oblivious to the sound-gesture link; signal processing can transform a sound so far that it is no longer connected to its visible, instrumental source. (D. Smalley, *The listening imagination: Listening in the electroacoustic era*, „Contemporary Music Review” 1996, t. 13, nr 2, DOI: 10.1080/07494469600640071).

⁵² *Ibidem*.

⁵³ D. Norman, *Dizajn na co dzień*, Kraków 2023.

⁵⁴ „(...) the potential lack of visibility into each musician’s respective contribution to the sound they hear, i.e. who is playing what, might impede their capacity to play together” (F. Berthaut, L. Dahl, *The Effect of Visualisation Level and Situational Visibility in Co-located Digital Musical Ensembles*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Auckland 2022).

⁵⁵ W ramach Warsaw Electronic Festival powstała również Warsaw Laptop Orchestra, której kierownikiem artystycznym miałem przyjemność być w latach 2011–2013, doświadczając opisywanego przez Berthaut i Dahla zagadnienia z pierwszej ręki.

bezpośredniej obserwacji wizualnej”⁵⁶. Podkreślają tym samym, jak istotne z punktu widzenia odbiorcy jest zrozumienie relacji między muzykami a instrumentami – nawet w przypadku instrumentów akustycznych, mimo iż obserwacji gry na nich teoretycznie zawsze towarzyszyć powinna **korelacja wzrokowo-słuchowa**.

Powyższe rozważania sugerują, iż z punktu widzenia odbiorcy **komponent performatywny jest nieodłącznym elementem bezpośredniego doświadczania muzyki w sytuacji koncertowej**. Narzędzia cyfrowe – takie jak laptop – posiadają niezaprzeczalne zalety, niemniej wykorzystywanie ich w wersji *sauté* jako instrumentów nie przynosi zadowalających rezultatów. Stąd w moim odczuciu potrzeba umieszczenia ich – czy też szerzej, umieszczenia technologii cyfrowej jako takiej – w kontekście postcyfrowym: połączenia jej najbardziej pożądaných cech z innymi technologiami, uzupełniającymi „cyfrowy szkielet” o elementy taktylne i wizualne oraz – co ma miejsce w przypadku projektu AAAA – akustycznie generowany dźwięk.

Tak jak przed dwiema dekadami przystępne ceny laptopów upowszechniły wykorzystanie tych narzędzi jako instrumentów muzycznych, tak opisane powyżej zagadnienia, wraz z pojawieniem się nowej generacji syntezatorów analogowych i *hardware’owych* narzędzi elektronicznych, stały się przyczyną marginalizacji roli laptopa w *setupie* scenicznym twórców muzyki elektronicznej. W wielu przypadkach problem braku komunikatywności performatywnej pozostaje jednak nierozwiązany.

Laptopy pozostają wciąż głównym narzędziem realizacji *live electronics* w muzyce współczesnej. Elastyczność wizualnych języków programowania dźwięku, takich jak Max/Msp czy Pure Data, czyni z nich platformę umożliwiającą kompozytorom tworzenie własnych wirtualnych narzędzi elektronicznego kształtowania i przetwarzania dźwięku. Tu występuje jeszcze jedno zagadnienie, które tylko zasygnalizuję – do realizacji partii *live electronics* często delegowany jest reżyser dźwięku, a sam laptop znajduje się poza sceną, w okolicach miksera. Z oczywistych względów nie sprzyja to komunikatywności performatywnej, stwarzając nienaturalną sytuację, w której dźwiękom instrumentów widocznych na scenie towarzyszą dodatkowe dźwięki elektroniczne niejako „z offu”, spoza kadru.

1.2.2. Korelacja wzrokowo-słuchowa i dotykowo-słuchowa

Codziennie doświadczanie świata fizycznego uczy nas, że większości akcji, które obserwujemy za pomocą zmysłu wzroku, towarzyszy dźwięk. Dostyc naturalne zatem wydaje się oczekiwanie, że dźwięki, które słyszymy ze sceny, są efektem jakiejś akcji, dającej się zaobserwować również zmysłem wzroku. Kontrolery muzyczne zatem, czy ogólniej – po prostu instrumenty – w idealnej sytuacji powinny dostarczać informacji zwrotnej trzema kanałami:

⁵⁶ „(...) allows the audience to experience the performer’s muscle effort, an essential component of music performance which is typically unavailable to direct visual observation” (F. Verdugo i in., *Feeling the Effort of Classical Musicians – A Pipeline from Electromyography to Smartphone Vibration for Live Music Performance*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression...*).

- z perspektywy odbiorcy, podejmowane przez wykonawcę akcje powinny dać się zaobserwować zarówno wzrokiem, jak i słuchem – zatem spełniać warunek korelacji wzrokowo-słuchowej;
- z perspektywy wykonawcy dobrze, aby dźwiękom generowanym na instrumencie towarzyszyły doznania płynące ze zmysłu dotyku, które stanowią najistotniejsze źródło informacji zwrotnej odnośnie precyzji i skuteczności (powodzenia) przeprowadzenia danej akcji⁵⁷.



Ilustracja 1. Relacja między informacjami zwrotnymi, pochodzącymi z różnych zmysłów

1.2.3. Właściwości brzmieniowe instrumentów akustycznych

Głośnik, czy też system głośników, stanowi jeden z nieodłącznych elementów instrumentu elektronicznego. Fakt ten można oczywiście wykorzystać w sposób twórczy, tak jak to miało miejsce na przykład w przypadku instrumentu Fale Martenota⁵⁸, dla którego powstały specyficzne systemy odstuchowe – *Diffuseur Métallique* i *Diffuseur Palme*, wyposażone odpowiednio w zestaw strun oraz metalowy gong, pełniące funkcję akustycznych urządzeń pogłosowych. Podobnie specyficzną funkcję pełnił stworzony dla potrzeb organów Hammonda głośnik typu *Leslie*, wykorzystujący efekt Dopplera do wytworzenia kojarzącego się nieodmiennie z tym instrumentem efektu vibrato/tremolo.

Powraca tu jednak opisywany przy okazji projektu Feedboxes problem percepcyjny – wynikający ze wspomnianego już, charakterystycznego dla instrumentów elektronicznych, rozdzielenia funkcji kontrolera, generatora drgań (prądu zmiennego) i emitera fali akustycznej. Znajduje on częściowe rozwiązanie w postaci tzw. *embedded acoustic instruments*⁵⁹. Określenie to może jednak wprowadzać w błąd: odnosi się ono do instrumentów elektronicznych wykorzystujących tzw. komputery jednopłytkowe (takie jak Raspberry Pi czy Pocket Beagle, zwane z angielska *embedded computers*), zamontowane we wspólnej obudowie z elementami interfejsu użytkownika (czyli kontrolerem) oraz

⁵⁷ O czym więcej w podrozdziale 1.2.5.

⁵⁸ Współcześnie udane eksperymenty z nowymi głośniko-rezonatorami dla Fal Martenota przeprowadził Peter Kohlmetz Møller, wykorzystując między innymi roztrąb trąbkowy jako tubę akustyczną; wynikowy dźwięk twardo przypomina brzmienie instrumentu dętego blaszanego, zapewne w dużej mierze również dzięki opisywanemu wcześniej rezonansowi blachy roztrąbu (<https://youtu.be/O1fXMnxruQg>). W podobny sposób właściwości akustyczne mosiężnej blachy wykorzystywał John Driscoll, wyposażając swoje instrumenty elektroniczne w głośnik sporządzony z elementu piezoelektrycznego przyklejonego do metalowego pudetka po czekoladkach.

⁵⁹ E. Berdahl, *How to Make Embedded Acoustic Instruments*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2014.

głośnikami. Nie są one zatem instrumentami akustycznymi *sensu stricto* – w tym miejscu jednak, aby zapobiec popadnięciu w niekończące się rozważania dotyczące istoty instrumentów akustycznych, proponuję ich własną definicję:

W instrumencie akustycznym, generator drgań jest jednocześnie źródłem dźwięku, a więc elementem bezpośrednio generującym w powietrzu falę dźwiękową.

W moim rozumieniu bowiem akustyczny generator może być pobudzany do drgań elektrycznie zasilanym czy elektronicznie kontrolowanym mechanizmem lub aktuatorem; istotny jest jednak sam fakt, że generator i źródło dźwięku są ze sobą tożsame. Definicja ta różni się od innych, zakładających, że instrumenty akustyczne nie wykorzystują komponentów elektronicznych – najpowszechniej spotykane definicje są z reguły tożsame z poniżej cytowaną, pochodzącą ze słownika Grove Music Online:

Termin wykorzystywany dla określenia instrumentu, który nie wykorzystuje przetworników lub mikrofonów do elektronicznego wzmocnienia lub przetworzenia dźwięku. Zazwyczaj używany tylko wtedy, gdy konieczne jest rozróżnienie między instrumentem danego typu a instrumentem podobnym, wykorzystującym przetworniki lub mikrofony, na przykład (...) „gitara akustyczna” w przeciwieństwie do „gitary elektrycznej”⁶⁰.

Różnica między powyższymi definicjami będzie istotna w podrozdziale 3.4, przy omawianiu jednego ze skonstruowanych przeze mnie instrumentów – *Post-Digital Sax*.

Ważną cechą instrumentów akustycznych jest pełne zespolenie wibracji źródła z korpusem instrumentu i akustyką pomieszczenia, w którym instrument ten produkuje dźwięki, emitując je w przestrzeń. Charakterystyki kierunkowe instrumentów akustycznych wykazują duże różnice – zarówno pod względem ogólnego wolumenu, jak i widma częstotliwościowego – w zależności od położenia instrumentu względem punktu odsłuchu lub pomiaru. Właściwości te dają słuchaczowi możliwość obserwowania subtelnych, żywych zmian barwy, głośności i przestrzenności dźwięku, w zależności od rejestru, techniki gry i rodzaju słuchanego instrumentu^{61,62}. W przypadku dźwięków instrumentów elektronicznych, emitowanych przez głośniki, w projektowaniu których dąży się na ogół do wyrównania charakterystyk częstotliwościowych i kierunkowych – szczególnie w płaszczyznach frontalnych, naturalność brzmienia na ogół nie jest priorytetem.

Kolejną istotną cechą jest znaczna rozpiętość dynamiczna instrumentów akustycznych, dochodząca w grupie instrumentów orkiestry symfonicznej do 60 dB (najcichsze piano klarnetu ~58 dB, fortissimo rogu – blisko 118 dB). Wprawdzie rozpiętość wolumenu brzmienia pojedynczych instrumentów jest mniejsza, ale muzyczne odczucie dynamiki gry w największej mierze zależy od wyrazistych zmian barwy,

⁶⁰ „A term used for an instrument that does not incorporate pickups or microphones for the purpose of electronic amplification or manipulation. It is normally used only when it is necessary to distinguish between such an instrument and one of the same or a similar type that does incorporate pickups or microphones: for example (...) ‘acoustic guitar’ as opposed to ‘electric guitar’” (L. Libin, *Acoustic (instruments)*, t. 1, Oxford 2014).

⁶¹ J. Meyer, *Acoustics and the Performance of Music*, New York, NY 2009.

⁶² J. Pätynen, T. Lokki, *Directivities of Symphony Orchestra Instruments*, „Acta Acustica united with Acustica” 2010, t. 96, nr 1, DOI: 10.3813/AAA.918265.

jakie powodowane są różnicami w intensywności pobudzania instrumentu do brzmienia, czyli grą *piano* lub *forte*.

Wymienione powyżej czynniki stanowią w moim odczuciu o unikalności doświadczenia, jakim jest odbiór muzyki wykonywanej na instrumentach akustycznych. Ich wypadkową może być subiektywne odczucie „intymności”, „naturalności” czy też „kameralności” doznań, znacznie rzadziej towarzyszące odbiorowi muzyki za pośrednictwem głośników.

Oczywiście wykorzystywanie instrumentów elektronicznych – czy chociażby amplifikacja instrumentów akustycznych – dostarcza możliwości elastycznej modyfikacji brzmienia czy proporcji dynamicznych między poszczególnymi instrumentami. Kształtowanie brzmienia instrumentów akustycznych – traktowanych indywidualnie czy jako *ensemble* – wymaga z kolei każdorazowo fizycznej modyfikacji samych instrumentów. Proces ten – który można nazwać **reżyserią dźwięku akustycznego** – zostanie szczegółowo opisany w rozdziale drugim, na przykładzie instrumentów wchodzących w skład projektu AAAA.

Zasygnalizowane już powyżej zjawisko korelacji dotykowo-słuchowej, towarzyszące wykonawcom w kontakcie z instrumentami akustycznymi, jest istotnym elementem relacji między muzykiem a jego narzędziem. Satysfakcja wykonawcy zaś – szczególnie w muzyce improwizowanej – przekłada się na jakość powstającej muzyki, a ta z kolei na satysfakcję odbiorcy. Niemniej jednak doświadczenie wykonawcy w kontakcie z instrumentem jest istotne samo w sobie, poświęcę zatem temu zagadnieniu kolejny podrozdział.

1.2.4. *Relacja instrument – wykonawca*

Wymieniona przed chwilą *intymność*, choć wydaje się niezbyt naukową kategorią, pojawia się jednak niejednokrotnie w kontekście relacji między wykonawcą a instrumentem, będącym punktem wyjścia bieżącego podrozdziału. Marshall przywołuje intymność kilkakrotnie we wstępie do cytowanej wcześniej pracy, jako cechę właściwą dla kontaktów z instrumentami akustycznymi i generowanymi przez nie doznaniem dotykowym⁶³. F. Richard Moore używa sformułowania *control intimacy*, opisując głębię relacji między muzykiem a instrumentem, zależną od informacji zwrotnej dostarczanej przez instrument⁶⁴, w podobnym kontekście zwrotu tego używa również Perry R. Cook⁶⁵.

W tym kontekście można postrzegać instrument muzyczny jako swoiste **przedłużenie ciała wykonawcy** (a osiągnięcie tego stanu jest wypadkową cech samego instrumentu oraz wypracowanej przez wykonawcę techniki gry, której głównym składnikiem jest internalizacja czy też automatyzacja czynności manualnych). Sformułowanie to pojawia się wręcz *explicite* w tytule publikacji Luca Nijsa i innych⁶⁶,

⁶³ M. Marshall, *Physical interface design for digital musical instruments...*

⁶⁴ F. Moore, *The dysfunctions of MIDI*, „Computer Music Journal” 1988, t. 12, DOI: 10.2307/3679834.

⁶⁵ P. Cook, *Remutualizing the Musical Instrument: Co-Design of Synthesis Algorithms and Controllers*, „Journal of New Music Research” t. 33 (2004), DOI: 10.1080/0929821042000317877.

⁶⁶ L. Nijs, M. Lesaffre, M. Leman, *The musical instrument as a natural extension of the musician*, [w:] *Music and its instruments*, Sampzon 2013.

stanowi też – wraz z pojęciem intymności – motyw przewodni przekrojowej publikacji Andrew McMillana i Fabia Morreale⁶⁷. Ujęcie to znajduje również odbicie w teoriach takich jak poznanie ucieleśnione⁶⁸ (*embodied cognition, embodiment*), które, jak wykazują Joaquín Pérez i Isabel Martínez⁶⁹, jest również istotną perspektywą dla postrzegania improwizacji muzycznej. Z pojęciem ucieleśnienia powiązany jest również obecny we współczesnym dizajnie⁷⁰ nurt fenomenologiczny^{71,72}, którego niektóre elementy znajdują odbicie w najnowszych badaniach i eksperymentach dotyczących wykorzystania AI w muzyce.

Istotność bliskiej relacji wykonawcy z instrumentem trafnie i zwięźle ujmują Thor Magnusson i inni: „Po wielu dziesięcioleciach korzystania z systemów cyfrowych ludzie coraz częściej chcą eksplorować dźwięk i złożoność w namacalnej formie”⁷³.

1.2.5. Dlaczego dotyk?

Przy okazji wcześniejszych rozważań dotyczących aspektu performatywnego wykonawstwa muzyki elektronicznej opisałem pokrótce zagadnienie wykorzystywania zewnętrznych (w stosunku do laptopa) kontrolerów MIDI. Ich rola nie ogranicza się oczywiście wyłącznie do zwiększenia komunikatywności performatywnej, ale również do zapewnienia wykonawcom wygodniejszej i bardziej bezpośredniej kontroli nad generowanymi cyfrowo dźwiękami. Mimo iż kontrolery MIDI (w szczególności zaś te z nich, które nie posiadają formy klawiatury, pokręteł czy suwaków) pojawiły się stosunkowo niedawno, a zagadnienie wykorzystywania kontrolerów w muzyce laptopowej jest jeszcze młodsze, Rovan i Hayward już w 2000 r., obserwując wczesne przykłady alternatywnych, bezdotykowych kontrolerów, doszli do istotnej konkluzji:

Począwszy od Theremina, (...) wiele z tych alternatywnych interfejsów performatywnych starano się uwolnić wykonawcę „z oków” fizycznych ograniczeń, wynikających z trzymania, dotykania i manipulowania instrumentem. (...) Pozbawieni konieczności dokonywania fizycznych manipulacji (...) ci bezdotykowi wykonawcy w magiczny sposób wyczarowują muzykę „z powietrza”. Pomimo swobody, jaką oferują tego rodzaju „powietrzne” kontrolery, eliminują one jeden z kluczowych kanałów komunikacji, za pośrednictwem którego wykonawcy oceniają reakcję instrumentu oraz precyzję swoich działań performatywnych: wrażenia dotykowe⁷⁴.

⁶⁷ A. McMillan, F. Morreale, *Designing accessible musical instruments by addressing musician-instrument relationships*, „Frontiers in Computer Science” 2023, t. 5, DOI: 10.3389/fcomp.2023.1153232.

⁶⁸ L. Shapiro, S. Spaulding, *Embodied Cognition*, [w:] E.N. Zalta, U. Nodelman (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University, Stanford 2021.

⁶⁹ J. Pérez, I.C. Martínez, *Music Improvisation as an Embodied Activity. The Performer-Environment Interaction*, [w:] POMI – *Perspectives on Musical Improvisation Conference*, Oxford 2012.

⁷⁰ W niniejszej pracy używam spolszczonej wersji angielskiego słowa „design”, które ma znaczenie nieco szersze niż polskie odpowiedniki, takie jak „projektowanie” czy „wzornictwo”. Tę różnicę znaczeniową, usprawiedliwiającą wykorzystanie słowa „dizajn” w polskich tekstach, zauważa między innymi Aleksandra Cieślíkowa w pierwszym numerze kwartalnika „2+3 D” – zob. A. Cieślíkowa, *Design czy Dizajn?, „2+3D” 2001*.

⁷¹ C. Hummels, P. Lévy, *Matter of transformation: designing an alternative tomorrow inspired by phenomenology*, „Interactions” 2013, t. 20, DOI: 10.1145/2533713.

⁷² J. Stienstra, *Embodying Phenomenology in Interaction Design Research*, „Interactions” 2015, t. 22, DOI: 10.1145/2685364.

⁷³ „After decades of digital systems, people are increasingly wanting to explore sound and complexity in tactile form” (T. Magnusson, C. Kiefer, H. Ulfarsson, *Reflexions upon Feedback*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*...).

⁷⁴ „Beginning with the Theremin, (...) many of these alternative performance interfaces have sought to »unchain« the performer from the physical constraints of holding, touching and manipulating an instrument. (...) Without the necessity of manipulating

Kontrolery tego rodzaju – stosujące ultradźwiękowe czujniki odległości, fotorezystory czy wiązki lasera – mogą być bardzo efektowne performatywnie; opanowanie gry na nich stanowi jednak istotne wyzwanie dla wykonawców. Jak dalej dowodzą Rovani i Hayward, bodźce pochodzące ze zmysłu dotyku stanowią najbardziej bezpośredni element w pętli sprzężenia zwrotnego pomiędzy wykonywaniem czynności a ewaluacją jej powodzenia; umożliwiając zarówno kontrolę gry w czasie rzeczywistym, jak i korektę oraz rozwój techniki gry w dłuższej perspektywie⁷⁵. Z tego zapewne powodu wspomniany Theremin nie doczekał się wielu wirtuozów⁷⁶, a kolejne instrumenty elektroniczne – choćby generujący dźwięk na zbliżonej zasadzie Fale Martenota – wyposażone były już w interfejs fizyczny, w odróżnieniu od powietrza stawiający pewien opór grającemu, umożliwiając opanowanie gry w stopniu znacznie doskonalszym. Wspomniany wcześniej *Dodecaudion* posiadał, niestety, tę samą wadę – brak jakiegokolwiek informacji zwrotnej przenoszonej drogą zmysłu dotyku, w znacznym stopniu utrudniał wykorzystanie go jako faktycznego instrumentu.

Interfejsy bezdotykowe są oczywiście przypadkiem skrajnym, niemniej jednak nawet znacznie powszechniejsze ekrany dotykowe (czy wręcz klawiatury laptopowe, szczególnie te zainstalowane we współczesnych komputerach Apple) dostarczają znikomych informacji zwrotnych drogą dotykową: te pierwsze co najwyżej w postaci niespecyficznych wibracji, te drugie – w formie płytkiego, „zero-jedynkowego” skoku, w żadnym stopniu nieodzwierciedlającego niuansów generowanego za ich pomocą dźwięku.

Ekran dotykowy współczesnych smartfonów i tabletów jest oczywiście niezwykle użytecznym rozwiązaniem: umożliwia on z jednej strony elastyczne, cyfrowe kształtowanie interfejsu użytkownika – przetaczanie się między różnymi aplikacjami (czy pozycjami menu tej samej aplikacji) nie wymaga dzięki temu odrębnego, fizycznego kontrolera dla każdego zestawu wirtualnych „kontrolerek”. Oczywiście podobne rozwiązanie istniało już w przypadku bezdotykowych interfejsów klasycznych stacjonarnych komputerów czy też laptopów, tam jednak interakcja zachodziła za pośrednictwem myszy (ewentualnie touchpada), stanowiących rodzaj zdalnego, fizycznego manipulatora. W przypadku interfejsów dotykowych palce użytkownika wchodzi w bezpośredni kontakt z wirtualnym suwakiem lub przyciskiem. Zjawisko to wykorzystywane bywa oczywiście również do celów muzycznych, poczynając od pionierskiego kontrolera *Lemur*; jego popularność zmalowała jednak gwałtownie wraz z rozwojem tabletów i smartfonów⁷⁷ oraz dedykowanych im aplikacji do tworzenia własnych interfejsów

an instrument, these touchless performers magically conjure music from »thin air«. In spite of the freedom such open-air controllers allow, however, at the same time they have eliminated one of the key channels of information through which performers gauge the response of their instrument and the accuracy of their performance: haptic sensations” (J. Rovani, V. Hayward, *Typology of Tactile Sounds and their Synthesis in Gesture-Driven Computer Music Performance*, [w:] *Trends in Gestural Control of Music*, Paris 2000).

⁷⁵ *Ibidem*.

⁷⁶ „(...) few things since have matched the nuance in Clara Rockmore's lyrical dynamics on this essentially monotimbral, monophonic device” (J.A. Paradiso, N. Gershenfeld, *Musical Applications of Electric Field Sensing*, „Computer Music Journal” 1997, t. 21, nr 2, DOI: 10.2307/3681109).

⁷⁷ B. Rogerson, *JazzMutant Lemur to be discontinued*, „MusicRadar”, 16 listopada 2010 r., <https://www.musicradar.com/news/tech/jazzmutant-lemur-to-be-discontinued-301774> [dostęp: 6 maja 2024 r.].

dotykowych, np. *TouchOSC*. Korzystając z tego rodzaju interfejsów, nie otrzymujemy jednak informacji zwrotnej za pośrednictwem zmysłu dotyku.

O ile jednak w przypadku obsługi smartfona, czy nawet dotykowego kontrolera muzycznego, ewentualny brak precyzyjnej kontroli czy jednoznacznej informacji zwrotnej nie stanowi jeszcze znacznego problemu⁷⁸, o tyle wykorzystywanie ekranów dotykowych w motoryzacji może być już przyczyną realnego zagrożenia. Klasyczne pokrętła i przełączniki umożliwiały wykorzystanie pamięci proceduralnej (zwanej kolokwialnie pamięcią mięśniową) do automatyzacji i internalizacji tych czynności – dłoń kierującego, sięgając pokrętła, w momencie zetknięcia z nim rozpoznawała jego kształt; korekta danego parametru następowała już odruchowo. Ekran dotykowy powodują konieczność odrywania wzroku od jezdni przy wykonywaniu nawet tak trywialnej czynności, jak zmiana stacji radiowej; w związku z tym ich rola jako głównego elementu tablicy rozdzielczej samochodów stopniowo ulega marginalizacji, ustępując miejsca kolejnej generacji interfejsów taktylnych⁷⁹.

Wykonywanie każdej złożonej czynności manualnej – czy to prowadzenia pojazdu, czy też gry na instrumencie – wymaga właśnie zautomatyzowania części niezbędnych dla danej czynności procesów. Dobrze zaprojektowany interfejs powinien zatem automatyzacji tej sprzyjać, umożliwiając sprawną internalizację czynności niezbędnych do jego obsługi⁸⁰.

W przypadku interfejsów dotykowych istnieje jednak możliwość symulowania wrażeń taktylnych za pomocą wibracji – technika ta wykorzystywana jest chociażby w przypadku smartfonów czy też touchpadów w nowszych modelach laptopów firmy Apple. Informacji zwrotnej zmysłowi propriocepcji dostarczają z kolei kontrolery do gier z funkcją *force feedback*, symulującą doznania towarzyszące obcowaniu z prawdziwą kierownicą czy wolantem. Podobnie – wracając już do instrumentów muzycznych – istnieją kontrolery MIDI, przy projektowaniu których zadbano o dostarczenie zmysłowi dotyku wykonawcy odpowiedniej dozy informacji zwrotnej (choćby klawiatury z mechanizmem imitującym akcję mechanizmu młoteczkowego)⁸¹.

Instrumenty akustyczne dostarczają jednak informacji zwrotnej poprzez zmysł dotyku w stopniu najgłębszym – nie tylko bowiem kontakt ze struną czy stroikiem daje wykonawcy bezpośredni wpływ na „parametry pracy generatora dźwięku”, wraz z natychmiastową informacją zwrotną w postaci fizycznego oporu stawianego przez ów generator; **wykonawca odczuwa również bezpośrednio zmysłem dotyku drgania samego generatora**. Cecha ta w punkcie wyjścia nie towarzyszy oczywiście

⁷⁸ Choć uniemożliwia na przykład pisanie esemesów bez spoglądania na ekran, co byto jednak możliwe we wcześniejszej generacji telefonów komórkowych, wyposażonych w fizyczną klawiaturę.

⁷⁹ M. Abd El Ghani i in., *Tangible Interaction with In-Car Smart Intelligence*, [w:] *AutomotiveUI '22: Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, New York 2022.

⁸⁰ Do tematu tego będę jeszcze wracał w podrozdziale 1.3.

⁸¹ Doskonałym przykładem postcyfrowego podejścia do opisywanych powyżej zagadnień jest instrument *The BladeAxe*, w którym dźwięk generowany jest z wykorzystaniem syntezy Karplusa-Stronga – wysokość dźwięków instrumentu kontrolowana jest za pomocą ekranu dotykowego; pobudzające wirtualny rezonator transjenty generowane są jednak akustycznie za pośrednictwem dotykowego, fizycznego interfejsu. Zob. R. Michon, J. Smith, *A Hybrid Guitar Physical Model Controller: The BladeAxe*, 2014 r., <https://ccrma.stanford.edu/~rmichon/publications/doc/ICMC14-BladeAxe.pdf> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

instrumentom elektronicznym. Przywołane na początku podrozdziału publikacje Marshalla, Moore'a i Cooka odnoszą się do kategorii intymności właśnie w tym kontekście – wskazując ów brak jako istotną wadę instrumentów cyfrowych (czy ogólnie – elektronicznych). Jak zauważa Marshall:

W przeciwieństwie do instrumentów akustycznych, cyfrowe instrumenty muzyczne nie posiadają sprzężenia między systemem generowania dźwięku a fizycznym interfejsem, z którym wykonawca wchodzi w interakcję. W rezultacie instrumenty te nie oferują wykonawcy bezpośredniej, fizycznej informacji zwrotnej, obecnej w przypadku instrumentów akustycznych. W gruncie rzeczy, w odróżnieniu od instrumentów akustycznych, cyfrowe instrumenty muzyczne co do zasady nie oferują informacji zwrotnej w postaci bodźców dotykowych i wibracji, co przyczynia się do niesatysfakcjonujących odczuć w obcowaniu z instrumentem⁸².

Marshall w cytowanej pracy dokonuje systematycznego przeglądu cyfrowych instrumentów i kontrolerów, oferujących informację zwrotną w postaci mechatronicznie symulowanych wibracji; opisuje również własny eksperymentalny instrument o podobnej funkcjonalności, *Viblotar*. Tematykę roli dotyku w interakcji z instrumentami muzycznymi w przekrojowej formie porusza również dogłębnie publikacja *Musical Haptics*⁸³, na którą składają się także opisy kolejnych praktycznych rozwiązań wyżej wymienionego zagadnienia w obszarze instrumentów cyfrowych^{84,85,86}.

W przypadku wielu z wymienionych rozwiązań feedback taktylny jest jednak wyłącznie symulacją – z pewnością kompensującą całkowity brak wibracji odczuwanych zmysłem dotyku, niemniej jednak będącą jedynie substytutem faktycznych doznań towarzyszących grze na instrumencie akustycznym. Symulowanie fizycznych doznań w instrumentach elektronicznych poprzez zastosowanie aktuatorów i elementów mechatronicznych może jednak wykraczać poza prostą imitację zjawisk znanych z instrumentów akustycznych – technologie takie jak *force feedback*, czy wręcz tworzenie ruchomych, mechatronicznych interfejsów, otwierają nowe pole rozwoju w dziedzinie interakcji wykonawcy z instrumentem^{87,88,89}.

Instrumenty akustyczne niejako z natury rzeczy oferują natychmiastową reakcję na działania i gesty wykonawcy, dostarczając zmysłami słuchu i dotyku bezpośredniej informacji zwrotnej. Stąd też towarzysząca mi motywacja, aby – miast symulować ich naturalne zalety na drodze cyfrowo-mechatronicznych zabiegów – wykorzystać je *per se*, łącząc je w duchu postcyfrowości z elementami technologii cyfrowej, oferującymi innego rodzaju funkcjonalności.

⁸² „Unlike acoustic instruments, digital musical instruments have no coupling between the sound generation system and the physical interface with which the performer interacts. As a result of this, such instruments also lack the direct physical feedback to the performer which is present in an acoustic instrument. In fact in contrast to acoustic musical instruments, haptic and vibrotactile feedback is generally not present in a DMI contributing to a poor feel for the instrument” (M. Marshall, *Physical interface design for digital musical instruments...*).

⁸³ S. Papetti, C. Saitis (red.), *Musical Haptics*, Cham 2018.

⁸⁴ S. Papetti i in., *Implementation and Characterization of Vibrotactile Interfaces*, [w:] *ibidem*.

⁸⁵ M. Giordano, J. Sullivan, M. Wanderley, *Design of Vibrotactile Feedback and Stimulation for Music Performance*, [w:] *ibidem*.

⁸⁶ E. Berdahl i in., *Force-Feedback Instruments for the Laptop Orchestra of Louisiana*, [w:] *ibidem*.

⁸⁷ K. Tahiroğlu, *NOISA: Network of Intelligent Sonic Agents*, Linz 2019.

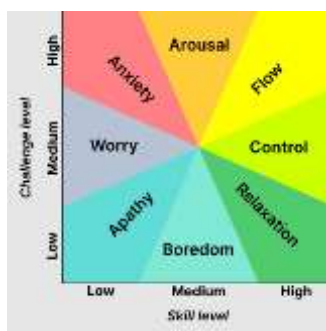
⁸⁸ *MEMO/MOVE*, [w:] *ibidem*.

⁸⁹ Patrząc na powyższe zagadnienia z perspektywy skeumorfizmu, należy zauważyć, że nowo projektowane interfejsy nie powinny abstrahować od instrumentów istniejących, choć innowacyjne instrumenty muzyczne często wymagają nowych, nietypowych interfejsów, nienaśladujących żadnego ze znanych instrumentów tradycyjnych. W takim przypadku projektant powinien jednak zadbać o ergonomię oraz dostarczenie wykonawcy odpowiedniej dozy informacji zwrotnej.

1.2.6. Flow

W tym miejscu warto omówić sygnalizowane już kilkakrotnie pojęcie „flow”. Za jego sformułowanie odpowiada Mihály Csíkszentmihályi, węgiersko-amerykański psycholog badający zagadnienia kreatywności i psychologii pozytywnej, który w publikacji *FLOW: The Psychology of Optimal Experience* zdefiniował *flow* jako „stan koncentracji tak intensywnej, że zbliża się on do całkowitego pochłonięcia uprawianą aktywnością”⁹⁰. *Flow to* zatem stan pełnego zatopienia w wykonywanej czynności, któremu towarzyszy utrata poczucia czasu oraz samoświadomości, a rezultatem jest uczucie głębokiej satysfakcji. Stanowi *flow* towarzyszy „poczucie głębokiej przyjemności, które jest tak satysfakcjonujące, że ludzie czują, iż warto ponieść duży wydatek energetyczny tylko po to, aby móc go doświadczyć”⁹¹. Jak jednak zauważa dalej Csíkszentmihályi, „optymalne doświadczenia zdarzają się podczas realizacji sekwencji działań ukierunkowanych na cel i ograniczonych zasadami – działań, które wymagają inwestycji energii psychicznej (uwagi) i które nie mogłyby być wykonane bez określonych umiejętności”⁹².

Osiągnięcie stanu *flow* wymaga zatem spełnienia określonych warunków, które w ogólnym zarysie sprowadzają się do odpowiedniego wyważenia stopnia trudności wykonywanego zadania w stosunku do poziomu umiejętności potrzebnych do jego zrealizowania.



Ilustracja 2. Wykres obrazujący wzajemne wptywanie na siebie dwóch czynników: poziomu wyzwania stawianego przed daną osobą oraz poziomu umiejętności w danej dziedzinie, posiadanych przez tę osobę. Różne kombinacje obu czynników owocują różnymi stanami emocjonalnymi; *flow* występuje wyłącznie przy kombinacji „duże wyzwanie – duże umiejętności”⁹³

Aktywność, jaką jest gra na instrumencie muzycznym, sprzyja powstawaniu stanu *flow* – swobodna gra wymaga wysokiego poziomu umiejętności, wypracowanych w toku wielogodzinnych ćwiczeń; samo zadanie (zależnie od okoliczności) stanowi z reguły mniejsze lub większe wyzwanie. Co z punktu widzenia niniejszej pracy istotne, stan *flow* jest nieodłącznie związany z improwizacją, a pojawianie się go w kontekście twórczości artystycznej jest prawdopodobnie tożsame ze stanem, który kolokwialnie zwie się „natchnieniem”. Sam Csíkszentmihályi o *flow* w kontekście improwizacji pisał niedługo po

⁹⁰ „(...) a state of concentration so focused that it amounts to absolute absorption in an activity” (M. Csíkszentmihályi, *Flow. The Psychology of Optimal Experience*, New York 1990).

⁹¹ „(...) a sense of deep enjoyment that is so rewarding people feel that expending a great deal of energy is worthwhile simply to be able to feel it” (*ibidem*).

⁹² „Optimal experiences are reported to occur within sequences of activities that are goal-directed and bounded by rules--activities that require the investment of psychic energy (attention) and that could not be done without skills” (*ibidem*).

⁹³ *Idem*, *Finding Flow. The Psychology of Engagement With Everyday Life*, New York 1998.

ukonstytuowaniu samego pojęcia⁹⁴, temat połączenia tych dwóch zagadnień doczekał się zresztą wielu opracowań^{95,96}, a improwizacja w formie *jam session* okazuje się bardzo przydatną platformą do badania zjawiska *grupowego stanu flow*, trudnego do uchwycenia w innych warunkach⁹⁷. Do tego tematu będę jeszcze wracał w podrozdziale 1.5.3, dotyczącym relacji między kompozycją a improwizacją.

Z perspektywy niniejszego podrozdziału istotna jest jednak obserwacja, iż uzyskanie stanu *flow* podczas gry na instrumencie jest ściśle powiązane z bliską (intymną) relacją między instrumentem a wykonawcą. McMillan i Morreale piszą o stanie *flow* wielokrotnie, zauważając choćby, że:

pozytywna, satysfakcjonująca i konstruktywna relacja między muzykiem a instrumentem opiera się na braku przeszkód w postaci trudności technicznych, lęku przed występem lub problemów z dostępnością do gry na instrumencie⁹⁸. Przeszkody te w ostatecznym rezultacie wpływają nie tylko na możliwość czerpania satysfakcji z praktyki twórczej, lecz mogą również być przeszkodą w osiągnięciu stanu *flow*, będącego najwyższym stopniem utraty samoświadomości⁹⁹ podczas realizacji zadania¹⁰⁰.

Konkludując powyższy wywód – instrument zbyt trudny w obsłudze uniemożliwia wytworzenie się stanu *flow*; wykonawca znajduje się wówczas w lewym górnym rogu przedstawionego na ilustracji 2 wykresu – towarzyszy mu stres i lęk. Niektórzy kompozytorzy, kojarzeni z nurtem *new complexity*, usiłują celowo wprowadzić wykonawcę w ten stan, upatrując w silnych negatywnych emocjach źródła wartościowych zjawisk scenicznych. *Time and Motion Study II* Briana Ferneyhough¹⁰¹ na wiolonczelę, głos i *live electronics* wymaga od pojedynczego wykonawcy – oprócz gry na instrumencie – obsługi dwóch kontrolerów nożnych oraz śpiewu za pośrednictwem przymocowanego do szyi mikrofonu; utwór zapisany jest na kilku systemach – osobnych dla każdej z kończyn oraz głosu. Biorąc dodatkowo pod uwagę skomplikowany rytmicznie zapis, charakterystyczny dla Ferneyhough, utwór wydaje się niemal niewykonalny. Wymagana od pojedynczego wykonawcy obsługa kombinacji kontrolerów nożnych i wiolonczeli może być porównana z grą na jednym niezwykle wymagającym i nieprzyjaznym instrumencie. Znam jednak wiolonczelistę wirtuoza, który utwory Ferneyhough uwielbia – traktuje pracę nad nimi jako ekscytujące wyzwanie; prawdopodobnie wysoki poziom umiejętności pozwala wspomnianemu wiolonczeliście uzyskać stan *flow* jedynie przy zetknięciu z tak wymagającymi utworami.

⁹⁴ M. Csikszentmihályi, G. Rich, *Musical Improvisation: A Systems Approach*, [w:] *Creativity in Performance*, London 1997.

⁹⁵ F.A. Seddon, *Modes of communication during jazz improvisation*, „British Journal of Music Education” 2005, t. 22, nr 1, DOI: 10.1017/S0265051704005984.

⁹⁶ K. Korošec, B. Sušić, K. Habe, *Improvisation as the Foundation of Flow in Music Education: Connections to Attitudes, Gender and Genre*, „Revija za elementarno izobraževanje” 2022, t. 15, DOI: 10.18690/rei.15.3.339-356.2022.

⁹⁷ E. Hart, Z. Di Blasi, *Combined flow in musical jam sessions: A pilot qualitative study*, „Psychology of Music” 2015, t. 43, nr 2, DOI: 10.1177/0305735613502374.

⁹⁸ W domyśle: dostępności dla osób z niepełnosprawnościami, których po części dotyczy cytowana publikacja.

⁹⁹ Samoświadomość i jej utrata w procesie improwizacji będzie jeszcze omawiana w podrozdziale 1.5.3.

¹⁰⁰ „A positive, satisfying, and constructive relationship between a musician and the instrument relies on not being hindered or obstructed by technical difficulties, performance anxiety, or accessibility in playing an instrument. These obstacles will ultimately affect not only the positive experience of creative practice but interrupt the flow state, which is the ultimate loss of awareness of oneself when performing a task” (A. McMillan, F. Morreale, *Designing accessible musical instruments by addressing musician-instrument relationships...*).

¹⁰¹ C. Utz, *Time-Space Experience in Works for Solo Cello by Lachenmann, Xenakis and Ferneyhough: a Performance-Sensitive Approach to Morphosyntactic Musical Analysis: A Performance-Sensitive Approach to Morphosyntactic Analysis*, „Music Analysis” 2016, t. 36, DOI: 10.1111/musa.12076.

Jednak z punktu widzenia większości instrumentalistów to właśnie instrumenty dobrze zaprojektowane, inspirujące i umożliwiające wytworzenie intymnej relacji z wykonawcą sprzyjają pojawianiu się stanu *flow*, a zatem powstawaniu w toku improwizacji interesującej muzyki.

Warto zatem spojrzeć jeszcze na instrumenty z perspektywy nie tylko wykonawcy i słuchacza (co już poprzednio uczyniłem), ale i ich twórcy, przy okazji poruszając kilka zagadnień z zakresu dizajnu i UX-u¹⁰²; wzięcie pod uwagę poruszonych powyżej zagadnień interakcji i *flow* jest niezwykle istotne przy projektowaniu nowych instrumentów.

1.3. Instrument muzyczny i jego interfejs użytkownika

Projektowanie instrumentów muzycznych można postrzegać jako jeden z aspektów szeroko pojmowanego dizajnu; można zatem rozważać instrumenty jako urządzenia lub też przedmioty użytkowe, stosując właściwe dla tej kategorii terminy, takie jak *interfejs użytkownika*. Użycie tego terminu, oznaczającego element danego urządzenia lub programu komputerowego, z którymi użytkownik wchodzi w bezpośrednią interakcję, nie budzi kontrowersji w przypadku instrumentów elektronicznych, opartych na technologii cyfrowej¹⁰³. Z pewnością wiąże się to z faktem, iż ów termin znalazł się w potocznym słownictwie w ostatnich latach głównie za sprawą upowszechnienia się technologii cyfrowej. Postrzeganie instrumentów akustycznych przez pryzmat interfejsu użytkownika wydaje się w pierwszej chwili mniej oczywiste, choć korzenie tego podejścia sięgają co najmniej drugiej połowy XX w.¹⁰⁴ Po głębszym namyśle otwiera ono jednak interesujące możliwości, zarówno jako narzędzie analizy istniejących instrumentów, jak i – przede wszystkim – jako sposób myślenia o projektowaniu instrumentów nowych.

Można stwierdzić, że analiza instrumentów muzycznych przez pryzmat interfejsu użytkownika jest jednym z przejawów podejścia postcyfrowego – narzędzia poznawcze, które w pełni rozwinęły się dopiero w epoce cyfrowej, z dzisiejszej, zdystansowanej już nieco perspektywy, ujawniają swą przydatność do badania zjawisk spoza tego obszaru. Próba wyodrębnienia interfejsu użytkownika jako osobnego zagadnienia zainspirowana jest oczywiście współczesną perspektywą; w tym właśnie sensie jest tendencją postcyfrową. Pierwsze próby takiego spojrzenia są jednak znacznie starsze – pojawiają się już w pracach Ludwika Bielawskiego z lat 70. XX w.¹⁰⁵

W przypadku instrumentów muzycznych możliwość analitycznego wyodrębnienia funkcji interfejsu użytkownika od pozostałych funkcji zależna jest od konkretnego instrumentu. Rozważmy dwa skrajne przypadki:

¹⁰² D. Norman, J. Nielsen, *The Definition of User Experience (UX)*, Nielsen Norman Group, 8 sierpnia 1998 r., <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/> [dostęp: 7 maja 2024 r.].

¹⁰³ W przypadku których w znakomitej większości mamy do czynienia z faktycznym rozdzieleniem elementów generujących dźwięk – zazwyczaj posiadających formę wirtualną, *software'ową* – od właściwego interfejsu, będącego fizycznym kontrolerem, którego elementy można skonfigurować w dowolny sposób.

¹⁰⁴ Bielawski, 1979, [za:] T. Kvifte, *Musical Instrument User Interfaces: the Digital Background of the Analogue Revolution*, Oslo 2013.

¹⁰⁵ *Ibidem*.

- a) trąbki i rogi naturalne: jedynym elementem umożliwiającym interakcję jest ustnik – będący *de facto* równocześnie generatorem dźwięku – w praktyce oczywiście generatorem są same wargi grającego, ale ustnik do tego stopnia spaja obie funkcje (umożliwienie generowania dźwięku, wpływ na barwę instrumentu, wygodę wydobycia jednych dźwięków kosztem innych, na przykład wysokich zamiast niskich), że w praktyce trudno wyodrębnić element będący interfejsem w czystej postaci;
- b) instrumenty klawiszowe: w przypadku fortepianu elementy generujące dźwięk i wpływające na jego barwę (struny, płyta rezonansowa, materiał, którym obite są młoteczki) ukryte są wewnątrz instrumentu, na zewnątrz zaś umiejscowiona jest klawiatura, będąca niemal całkowicie arbitralną reprezentacją układu dźwięków, dostosowaną do manualnych uwarunkowań przeciętnego wykonawcy, będąca zatem interfejsem *sensu stricto*. Klawiatura fortepianu, choć zaprojektowana przede wszystkim z punktu widzenia ergonomii, a więc wygodę wykonawcy¹⁰⁶, odzwierciedla jeszcze swoim układem sposób, w jaki zorganizowane są faktyczne generatory dźwięku, a więc ukryte we wnętrzu instrumentu struny. W przypadku czelesty czy organów kolejność rozmieszczenia generatorów jest już zupełnie niezależna od układu klawiatury. W każdym z tych przypadków interfejs jest jednak sprzężony z generatorami poprzez mechanikę, której konstrukcja musi brać pod uwagę zarówno wygodę wykonawcy, jak i umożliwić odpowiednie pobudzenie generatorów. Interfejs użytkownika w przypadku fortepianu nie jest zatem całkowicie odizolowany od generatorów dźwięku¹⁰⁷. Klasyczny układ klawiatury fortepianowej faworyzuje tonację C-dur, co odzwierciedla częste u laików pytanie „do czego służą czarne klawisze” (skoro na białych da się zagrać gamę C-dur, to pozostałe wydają się zbędne). Inne układy klawiatury – na przykład klawiatura Janko bądź powszechne w przypadku akordeonów klawiatury guzikowe – nie faworyzują żadnej z tonacji, co więcej, ułatwiają transpozycję, zachowujące to samo palcowanie niezależnie od tonacji. W przypadku akordeonu, szczególnie wykorzystywanego przez profesjonalnych muzyków, układ guzikowy zdaje się dominować; w przypadku fortepianu, tego typu układy klawiatury jednak nie przyjęły się, pozostały zjawiskiem niszowym, choć z punktu widzenia ergonomii tak zorganizowany interfejs użytkownika wydaje się korzystniejszy. Próbując spojrzeć z jeszcze innej strony – patrząc na instrument jak na urządzenie – klawiatura guzikowa znów wydawałaby się bardziej naturalna; jej klawisze przypominają przyciski znane z innych urządzeń, ich rozmiary i kształt sugerują, w którym miejscu i czym (palcem) należy je naciskać. Tradycyjny klawisz fortepianowy jest rodzajem dźwigni; nie sugeruje, w którym miejscu najlepiej go nacisnąć, jego ruch jest wahliwy, miast poddawać się wciskaniu w identyczny sposób na całej długości, najłatwiej daje się wcisnąć przy krawędzi. Mimo to klasyczna czarno-biała klawiatura jest wciąż dominującym interfejsem. Być może zatem

¹⁰⁶ Co też nie do końca jest prawdą – rozstaw klawiszy odpowiada gabarytom przeciętnej męskiej dłoni, utrudniając wykonanie szerokich wspaniałych (powyżej oktawy) osobom o mniejszych dłoniach, a więc większości kobiet, sprzyjając ich wykluczeniu z kręgów wirtuozowskich.

¹⁰⁷ Inaczej sprawa wygląda w przypadku organów, szczególnie współczesnych, bez traktury mechanicznej, gdzie akcja klawiatury jest zupełnie niezależna od mechaniki działania generatorów.

decydującym czynnikiem jest myślenie o skali C-dur jako o centralnym punkcie odniesienia oraz odzwierciedlający to samo założenie zapis nutowy (białe klawisze – nuty bez znaków chromatycznych, czarne – nuty ze znakami), co sprzyja utrzymaniu *status quo*.

1.3.1. Ewolucja interfejsów instrumentów muzycznych

W przypadku większości instrumentów jesteśmy w stanie wyodrębnić elementy będące interfejsem użytkownika spośród pozostałych elementów pełniących inne funkcje. Wraz z rozwojem instrumentów wzrastał zazwyczaj poziom odrębności tych elementów – na przykład rudymenarny interfejs wczesnych fletów (w postaci otworów bocznych, będących w gruncie rzeczy odkryciem z pogranicza ergonomii i akustyki, umożliwiającym zmianę wysokości dźwięku we względnie wygodny sposób) podlegał rozwojowi wraz z potrzebą poszerzania skali instrumentu oraz jego chromatyzacji, poprzez dodawanie mechanizmów klapowych. Proces ten sprzyjał wygodzie wykonawcy, jednocześnie odseparowując umiejscowienie elementów interfejsu (przycisków poruszających klapami) od wynikającego z uwarunkowań akustycznych rozmieszczenia właściwych otworów.

Bliższe przyjrzenie się ewolucji niektórych instrumentów muzycznych ukazuje sposób, w jaki – równoległe do rozwoju możliwości muzycznych i brzmieniowych tychże – ewoluował również interfejs użytkownika, a więc te elementy instrumentów, które wchodzi w bezpośredni kontakt z ciałem (kończynami, ustami) wykonawcy. Świadczy to o tym, że dbałość o wygodę, ergonomię i intuicyjność obsługi instrumentu, a więc i postrzeganie tych elementów jako do pewnego stopnia odrębnych od kluczowej funkcji generowania dźwięku, występowała na długo przed pojawieniem się terminu „interfejs użytkownika”. Zjawisko to można zaobserwować chociażby na przykładzie chrotty i waltorni:

- a) chrotta – zwana również rottą (lub w oryginalnej walijskiej formie *crwth*), jest formą pośrednią między grecką kitarą (odmianą liry) a późniejszymi instrumentami smyczkowymi z rodziny skrzypiec. Kitarra początkowo umożliwiała wydobywanie jedynie dźwięków pustych strun, zatem liczba możliwych do wydobywania dźwięków była ściśle powiązana z liczbą strun i ich strojem. W przypadku tego rodzaju instrumentów dotykanie strun palcami powoduje tłumienie ich dźwięku. Taka forma skracania strun okazała się jednak efektywna w przypadku zbliżonych konstrukcyjnie instrumentów, w których zastosowano podstawek umożliwiającą grę smyczkiem (do przykładów należą między innymi fińskie *jouhikko* oraz szwedzka *talharpa*). Dotykanie strun w różnych punktach umożliwiło zmianę wysokości ich dźwięku. Tym samym korzystne stało się dopasowanie formy instrumentu i rozstawu strun do nowej techniki gry, jednocześnie umożliwiając zmniejszenie liczby strun. Proces ten doprowadził do wykształcenia się gryfu, ułatwiającego skracanie strun poprzez dociskanie ich do podstrunnicy. Chrotta jako taka nie rozwijała się już dalej, ale zarysowany przez powyższy proces kierunek rozwoju skutkowało jej wyparciem przez instrumenty wzorowane

na arabskich instrumentach smyczkowych, kładąc podwaliny pod współczesną rodzinę skrzypiec¹⁰⁸;

- b) waltornia – pierwotnie występowała w formie rogu naturalnego, umożliwiając zatem wykonanie jedynie dźwięków znajdujących się w naturalnym szeregu harmonicznym dla danej długości piszczałki. Wraz z rozwojem muzyki dostrzeżono konieczność uzupełnienia skali waltorni o brakujące dźwięki (znajdujące się pomiędzy naturalnie występującymi dźwiękami szeregu harmonicznego). Najwcześniejszym sposobem na obniżanie dźwięku waltorni (a przez to uzyskanie dźwięków pośrednich) było przedłużanie jej piszczałki poprzez umieszczenie w roztrąbie dłoni z palcami ułożonymi w kształcie rurki; kolejną innowacją były tzw. krąglik, czyli krótkie, zwinięte koliście odcinki rurki, umożliwiające obniżenie dźwięku o różne interwały. Szybka wymiana tychże w trakcie gry była jednak niemożliwa, kolejną zatem innowacją stały się tzw. inwencje – umieszczone w połowie głównej piszczałki krótkie odcinki rurki w kształcie litery „U”, dające się swobodnie wsuwać i wysuwać i przez to obniżyć dźwięk o pożądany interwał. Widać zatem, że rozwiązania techniczne w zakresie chromatyzacji instrumentu brały pod uwagę zarówno skuteczność, jak i wygodę użytkownika. Krąglik i inwencje były wystarczające pod względem skuteczności, uniemożliwiały jednak szybką (krąglik) lub precyzyjną (inwencje) zmianę wysokości dźwięku, zostały zatem wyparte przez najdoskonalsze jak dotąd rozwiązanie, jakim są wentyle^{109,110}.

1.3.2. Instrumenty a dizajn

Jednym z kluczowych pojęć dla współczesnej nauki o dizajnie jest afordancja (ang. *affordance*) – ten wprowadzony przez Dona Normana¹¹¹ termin oznacza sposób, w jaki dany obiekt manifestuje swoje funkcje¹¹². Możemy zatem mówić o wysokiej afordancji wówczas, kiedy przystawiony rzut oka na nowy dla nas przedmiot wystarcza, abyśmy zrozumieli jego podstawową funkcję i sposób, w jaki należy wejść z nim w interakcję. Niska afordancja występuje wówczas, gdy obsłużenie danego obiektu czy urządzenia wymaga dłuższego procesu, na przykład zbadania funkcji urządzenia metodą prób i błędów lub też przeczytania instrukcji obsługi. Analizę afordancji w konkretnym przypadku możemy przeprowadzić na przykładzie gitary akustycznej – instrument ten dość wyraźnie pokazuje, w jak dużym stopniu poziom wiedzy i umiejętności odbiorcy wpływa na możliwość właściwego odczytania afordancji obiektu.

¹⁰⁸ B. Miles, R. Evans, *Crwth*, [w:] *Grove Music Online*...

¹⁰⁹ M. Drobner, *Instrumentoznawstwo i akustyka*, Warszawa 1993.

¹¹⁰ Zarówno krąglik, jak i inwencje – mimo powszechnego występowania mechanizmów wentylowych – są wciąż wykorzystywane w wielu instrumentach dętych blaszanych, choć do nieco innych celów: inwencje do precyzyjnego dostrajania niektórych dźwięków (w szczególności 7. harmonicznego lub korygowania zawyżonego dźwięku występującego w przypadku jednoczesnego wciśnięcia dwóch lub trzech wentyli), krąglik do tymczasowego przestrojenia całego instrumentu (wówczas krąglik występuje często także w postaci prostej, jako tzw. *lead pipe*; przestrojeniu instrumentu za pomocą krąglika towarzyszy również konieczność skorygowania długości rurek poszczególnych wentyli, czego dokonuje się za pomocą dedykowanych inwencji).

¹¹¹ D. Norman, *Dizajn na co dzień*...

¹¹² Don Norman pierwotnie rozumiał afordancję jako rzeczywisty zasób funkcji danego obiektu/urządzenia, natomiast rolę elementów manifestujących owe funkcje przypisywał znacznikom (*signifiers*). Obecnie w potocznym języku słowo „afordancja” przejęło *de facto* znaczenie słowa „znacznik”.

Z moich obserwacji wynika, iż osoby bez doświadczenia muzycznego, mimo że przecież dysponują pewną wiedzą o gitarze (że jest to instrument muzyczny, że jej struny mają potencjał wydawania dźwięków), choć zazwyczaj w intuicyjny sposób szarpiają struny instrumentu prawą ręką, słusznie odczytując zamysł projektanta, nieczęsto jednak odgadują rolę, jaką odgrywać powinna ręka lewa. Z reguły przy takim spontanicznym zetknięciu z instrumentem używają jej również do szarpania strun, choć wydawałoby się, że kształt gryfu dość wyraźnie sugeruje, że daje się on objąć lewą dłonią; obecność progów z pewnością nie jest przypadkowa, na pewno pełnić muszą jakąś istotną funkcję; niewielka liczba strun i, co za tym idzie, dźwięków możliwych do wydobywania przez samo szarpanie powinna naprowadzać odbiorcę na myśl, że musi istnieć jakiś sposób na wydobywanie również innych dźwięków niż te wynikające ze stroju pustych strun.

Z pewnością jednak osoba będąca muzykiem, nawet pochodząca z innego kręgu kulturowego i widząca gitarę po raz pierwszy, jest w stanie wyciągnąć wnioski z tych niewątpliwych podpowiedzi, jakich dostarcza sama forma gitary. Znajomość innych instrumentów strunowych niewątpliwie sprzyja właściwemu odczytaniu afordancji gitary. Ale nawet brak wcześniejszej styczności z chordofonami nie musi być przeszkodą we właściwym ich odczytaniu – sam wymieniony powyżej fakt stosunkowo niewielkiej liczby strun i obecności progów, sugerujących wyraźnie jakąś konkretną funkcję, może być wystarczający.

Konkluzja powyższa zbieżna jest z tezą postawioną przez Maurice'a Merleau-Ponty'ego, głoszącą, że świat zewnętrzny nabiera znaczenia poprzez interakcję z obserwatorem, a perspektywa obserwatora zależy od jego poziomu wiedzy i umiejętności¹¹³. Stąd założenie, iż możliwe jest zaprojektowanie instrumentu muzycznego o stopniu afordancji umożliwiającym grę na nim osobom o zerowym doświadczeniu, jest utopijne. Możliwe jest jednak takie kształtowanie interfejsu instrumentu, aby tzw. próg wejścia był jak najniższy, a więc odbiorca o pewnym – podstawowym nawet – poziomie wiedzy o rzeczywistości był w stanie w sposób intuicyjny obsłużyć dany instrument zgodnie z intencją projektanta. Można jednak założyć, że absolutnie minimalne warunki, jakie musi spełnić „interaktor”, są następujące:

- a) musi wiedzieć, że dany obiekt może służyć do generowania dźwięków;
- b) musi wiedzieć, że w celu wygenerowania dźwięków za pośrednictwem danego obiektu konieczne jest wykonanie jakiejś akcji, tj. wejście w fizyczny kontakt z obiektem.

Jak zauważają Hummels i Lévy, „projektowanie może być postrzegane jako akt stwarzania okazji do zaistnienia znaczeń w określonym, społeczno-kulturowym kontekście”¹¹⁴. Stwierdzenie to, zakładające, iż projektant jest tylko jedną z sił sprawczych (drugą pozostaje odbiorca), może wydawać się dość radykalne, w istocie jednak projektant nie jest w stanie narzucić swojej woli odbiorcom. Jeśli wykorzystują oni dzieło (obiekt, urządzenie, instrument) w sposób niezgodny z założeniami projektanta, bądź też nie są w stanie odgadnąć jego intencji, świadczy to raczej o nieudolności projektanta niż

¹¹³ C. Hummels, P. Lévy, *Matter of transformation...*

¹¹⁴ *Ibidem*.

odbiorców. Spojrzenie to jest również jednym z głównych wątków pracy Normana¹¹⁵. Nie da się więc, projektując instrument, abstrahować całkowicie od kontekstu, w którym instrument ten ma docelowo funkcjonować.

Przy tworzeniu nowych instrumentów projektant musi zatem wziąć pod uwagę w równym stopniu własne motywacje, co potrzeby odbiorcy, w tym poziom jego umiejętności, i dopiero z takiego podejścia może wytworzyć się znaczenie, czyli możliwość wykorzystania instrumentu do celów twórczych. Celowo nie używam tu sformułowania „właściwe wykorzystanie”, gdyż z powyższych rozważań wynika, że sposób, w jaki instrument zostanie wykorzystany, nigdy nie może być z góry narzucony; mówiąc kolokwialnie: to się po prostu nie uda. Instrument może oczywiście umożliwiać czy wręcz prowokować do określonych sposobów wykorzystania. Ostatecznie jednak znaczenie, czyli konstruktywne (w tym przypadku twórcze) wykorzystanie instrumentu, jest zawsze wypadkową możliwości stwarzanych przez instrument oraz intencji, preferencji i umiejętności wykonawcy. Z powyższego wynika, że projektant powinien z góry założyć, do jakiej „grupy docelowej” adresowany jest nowo powstający instrument. Inaczej zaplanowany zostanie instrument przeznaczony dla osób początkujących (dzieci, amatorów) – jego afordancje muszą być bardziej oczywiste, uzyskanie interesujących rezultatów muzycznych musi być stosunkowo łatwe, czego skutkiem ubocznym jest z reguły zawężenie możliwości indywidualnej ekspresji wykonawcy. Inaczej z kolei zaprojektowany zostanie interfejs instrumentu przeznaczonego dla doświadczonych muzyków: będzie umożliwiał większą kontrolę nad różnymi parametrami dźwięku: brzmieniem, wysokością, rytmem, dynamiką; wydobywanie dźwięku lub stworzenie dowolnej struktury muzycznej wymagać będzie jednak większych umiejętności. Można zatem powiedzieć, że taki instrument będzie miał wyższy „próg wejścia”, czy też bardziej stromą krzywą uczenia się (ang. *steep learning curve*). Na podstawie własnych doświadczeń w obszarze projektowania instrumentów i interaktywnych obiektów dźwiękowych mogę stwierdzić, że łatwość obsługi jest zawsze odwrotnie proporcjonalna do możliwości pełnej kontroli nad instrumentem^{116,117}. Co nie oznacza, że nie mogą istnieć mniej udane rozwiązania, na przykład takie, które posiadają wysoki próg wejścia (są trudne w obsłudze), ale wciąż umożliwiają tylko niewielki stopień kontroli. Sytuacja odwrotna – niski próg wejścia przy wysokiej kontroli – praktycznie nie występuje.

Projektowanie instrumentów wymaga zatem ciągłych konsultacji z użytkownikami; doświadczenie zdobyte przy pracy nad jednym instrumentem może zaowocować doskonalszym zaprojektowaniem kolejnych. Nic nie zastąpi jednak wniosków, które wyciągnąć można z obserwacji instrumentu w jego naturalnym środowisku – czyli w rękach wykonawcy.

Twórca instrumentów, ale i szerzej – dizajner dowolnych przedmiotów użytkowych – musi być zatem wyposażony zarówno w szeroką wiedzę z dziedzin ściśle związanych z przedmiotem jego

¹¹⁵ D. Norman, *Dizajn na co dzień...*

¹¹⁶ Wątek ten powróci jeszcze w podrozdziale 1.4.7 w formie rozważań nad AI oraz w konkluzji podrozdziału 1.4.8 o sztuce generatywnej.

¹¹⁷ Jak już zaznaczałem we wstępie, zagadnienie to w swoich pracach poruszają Gregorio i Kim – zob. J. Gregorio, Y.E. Kim, *Evaluation of Timbre-Based Control of a Parametric Synthesizer...*

zainteresowania, rozumieniem materii, w której się porusza, jak i otwartością na wszelkie *zabiegi*, którym jego dzieła są ostatecznie poddawane przez odbiorców, oraz płynące z tych doświadczeń wnioski.

Instrumenty zatem – w idealnych okolicznościach – powinny sprzyjać wytworzeniu się intymnej relacji z wykonawcą. Szerzej patrząc, powinny być zaprojektowane w sposób, który umożliwi wytworzenie stanu *flow*, a zatem:

- powinny być zaprojektowane i wykonane ergonomicznie;
- powinny dostarczać dostatecznej ilości informacji zwrotnej – przede wszystkim zmysłem słuchu i dotyku, ale i propriocepcji oraz wzroku;
- powinny umożliwiać osiągnięcie biegłości technicznej i uzyskania poczucia „zespolenia” z instrumentem;
- powinny być inspirujące dla wykonawcy – pod względem zarówno brzmieniowym, jak i manualnym; kolokwialnie mówiąc – powinno się chcieć na nich grać.

1.4. Muzyka generatywna, czyli część logiczna

Opisana we wcześniejszych podrozdziałach relacja wykonawcy z instrumentem może posiadać jeszcze jeden aspekt, w uwypukleniu którego szczególnie przydatna staje się technologia cyfrowa. Instrumenty z komponentami mechatronicznymi – czy to instrumenty *hybrydowe*, czy też w postaci fizycznych kontrolerów dla instrumentów elektronicznych / cyfrowych – mogą wykazywać pewien element autonomii, który wprowadza wykonawcę w rodzaj dialogu (czy wręcz zabawy) z instrumentem. Zjawisko to występuje nawet w przypadku niektórych tradycyjnych instrumentów akustycznych – przykładem niech będą dzwonki typu *chimes*: pobudzenie instrumentu poprzez przesunięcie dłoni wzdłuż swobodnie zwisających metalowych pręcików uruchamia złożone fizyczne interakcje między nimi. Wykonawca może do pewnego stopnia przewidzieć ich zachowanie, ale bywa ono również zaskakujące, co umożliwia wytworzenie swoistego dialogu między wykonawcą a instrumentem. Dzwonki *chimes* są zatem w pewnym sensie prostym **systemem generatywnym**.

Innym przykładem tego rodzaju dialogu między wykonawcą a instrumentem jest zjawisko sprzężenia zwrotnego, czyli efekt Larsena, pierwotnie wykorzystywane głównie przez gitarzystów elektrycznych – wywołanie sprzężenia między gitarą a wzmacniaczem umożliwia wydłużenie wybrzmienia dźwięku, ale pojawiające się przy okazji nieprzewidywalne składowe harmoniczne mogą inspirować wykonawcę właśnie na drodze dialogu z instrumentem. Zainteresowanie sprzężeniem przeżywa obecnie swoisty renesans, a instrumenty strunowe wykorzystujące to zjawisko wykorzystywane są jako podstawowy wehikuł w wielu badaniach dotyczących relacji między instrumentem, wykonawcą a sztuczną inteligencją¹¹⁸. Jak zauważają Magnusson i inni na podstawie wywiadów z muzykami na temat interakcji z instrumentami wykorzystującymi sprzężenie zwrotne:

¹¹⁸ Więcej na ten temat w podrozdziale 2.3.

(...) wykorzystanie sprzężenia zwrotnego do celów muzycznych nie jest oparte na sprawowaniu kontroli, lecz na jej oddawaniu: na „zabawie (z) instrumentem”, a nie „graniu na instrumencie”¹¹⁹.

McMillan i Morreale zauważają z kolei, iż wykonawca jest nie tylko użytkownikiem instrumentu, ale i jednym z elementów szerszej sytuacji muzycznej:

Muzycy powinni być postrzegani nie tyle jako użytkownicy, ale raczej pełnoprawni uczestnicy muzycznych ekologii. (...) praktyki twórcze mogą być postrzegane jako sieć sprawczości, obejmująca ludzkich i nieludzkich uczestników¹²⁰.

Wykorzystanie technologii cyfrowej i komponentów mechatronicznych umożliwia obecnie zaprojektowanie bardziej złożonych fizycznych interakcji między wykonawcą a instrumentem. Połączenie tradycyjnych instrumentów ze współczesną technologią może być oczywiście realizowane na wielu poziomach – najbardziej oczywistym wydaje się cyfrowe przetwarzanie wygenerowanego akustycznie dźwięku; inną często stosowaną techniką jest wyposażenie istniejących instrumentów akustycznych w kontrolowane cyfrowo mechanizmy, umożliwiające odtwarzanie cyfrowych sekwencji dźwięków za pomocą tak powstałych instrumentów robotycznych. Samo wykorzystanie mechanizmów nie wystarcza jednak do stworzenia interesującego, symbiotycznego połączenia świata fizycznego z cyfrowym – stąd też poniżej nastąpi przegląd technik, które ukazują w nieco szerszym spektrum zagadnienie połączenia sztuki i technologii czy też wykorzystania zautomatyzowanych procesów jako elementów generujących dzieła artystyczne. Myślą przewodnią kolejnych podrozdziałów będzie zatem sztuka generatywna – temat sam w sobie na tyle pojemny, że wyczerpanie go wymagałoby co najmniej odrębnej pracy doktorskiej. Niemniej postaram się zarysować główne dotyczące go zagadnienia.

1.4.1. Sztuka generatywna – definicje

Sformułowanie „sztuka generatywna” budzi natychmiastowe skojarzenia – termin sugeruje, że mamy do czynienia ze sztuką w jakiś sposób *wygenerowaną*, a więc nie wymyśloną czy stworzoną w stu procentach przez człowieka, ale częściowo chociaż powstałą w sposób automatyczny, maszynowy, nieludzki. Intuicja ta w dużej mierze jest słuszna, choć faktyczne definicje sztuki generatywnej sugerują konieczność zachowania równowagi pomiędzy czynnikiem automatyzującym a wkładem żywego twórcy. Refleksja nad własną praktyką twórczą z ostatnich kilkunastu lat doprowadziła mnie do sformułowania, które w gruncie rzeczy mógłbym potraktować jako własną definicję muzyki generatywnej. Brzmiałaby ona następująco:

Stwarzanie warunków pozwalających muzyce powstawać w sposób samoistny poprzez tworzenie specyficznych narzędzi, które to z kolei tworzą docelowy utwór muzyczny.

¹¹⁹ Zręczność powyższego sformułowania wynika z dwuznaczności anglojęzycznego słowa *play*, oznaczającego zarówno grę na instrumencie, jak i grę w sensie zabawy: „(...) feedback musicianship is not about exercising control but rather about giving it away: about playing »with an instrument« and not »playing on an instrument«” (T. Magnusson, C. Kiefer, H. Ulfarsson, *Reflexions upon Feedback...*).

¹²⁰ „(...) musicians should not be considered users, but rather agents in musical ecologies. (...) creative practices can be framed as an agency network, which includes human and non-human agents” (A. McMillan, F. Morreale, *Designing accessible musical instruments by addressing musician-instrument relationships...*).

Nieco podobnie swoją praktykę twórczą definiował Sol LeWitt: „(...) pomysł (idea) staje się maszyną, która tworzy sztukę”¹²¹.

Philip Galanter, specjalizujący się w zagadnieniach z obszaru sztuki generatywnej, jest autorem bodaj najczęściej cytowanej definicji¹²² – nieco bardziej wyczerpującej, ale w praktyce sprowadzającej sztukę generatywną do podobnych pryncypiów:

Sztuka generatywna odnosi się do każdej praktyki artystycznej, w której artysta używa systemu, takiego jak zestaw reguł języka naturalnego, program komputerowy, maszyna lub inny wynalazek proceduralny, który zostaje wprowadzony w ruch z pewnym stopniem autonomii, czego rezultatem jest przyczynienie się do powstania (lub powstanie) ukończonego dzieła sztuki¹²³.

Trafna jest również jego obserwacja, iż „cechą definiującą sztuką generatywną wydaje się wykorzystanie autonomicznego systemu do działań artystycznych”¹²⁴.

W praktyce zatem, w sztuce generatywnej rola twórcy ulega pewnemu przesunięciu w stosunku do tradycyjnego procesu twórczego – praca nad ostatecznym rezultatem ma charakter nie bezpośredni, a pośredni – głównym obszarem jego działań jest zaprojektowanie i wprowadzenie w ruch *procesu generatywnego*. W odpowiedzi na wygenerowane przez ten proces rezultaty twórca może dokonywać modyfikacji szczegółów procesu – jego warunków brzegowych, wykorzystywanych w nim algorytmów czy też fizycznej modyfikacji jego analogowych, czy mechanicznych komponentów, aż do uzyskania satysfakcjonujących rezultatów artystycznych. Benefitem płynącym z takiego podejścia jest możliwość tworzenia artefaktów o dużym stopniu złożoności, bez konieczności sprawowania bezpośredniej (manualnej, intelektualnej czy po prostu świadomej) pieczy nad wszystkimi poszczególnymi częściami składowymi wspomnianego artefaktu. Czerpie więc ów twórca korzyść z charakterystycznego dla procesów generatywnych zjawiska, w którym suma składników jest większa, niż by na to wskazywała prosta arytmetyka.

Dobrze zaprojektowany proces generatywny – a więc prosty, łatwy do sformułowania zestaw reguł, dający w rezultacie interesujące i złożone rezultaty estetyczne – charakteryzuje się zatem swoistą elegancją i ekonomicznością.

Przykładem procesu generatywnego opartego na prostym algorytmie może być *Game of Life* Johna Conwaya – zaliczany do tzw. *Cellular Automata* symulator zachowania żywych organizmów. Symulację można prowadzić na kartce w kratkę według przejrzystego zestawu reguł, kontrolujących zachowanie komórek – zamalowywanych na czarno kratak; w kolejnych turach zestaw reguł pozwala zdeterminować zachowanie poszczególnych komórek w oparciu o to, z jaką liczbą zamalowanych komórek sąsiadują.

¹²¹ „The idea becomes a machine that makes the art” (S. LeWitt, *Paragraphs on Conceptual Art*, „Artforum” 1967).

¹²² P. Galanter, *Generative Art Theory*, [w:] C. Paul (red.), *A Companion to Digital Art*, New York 2016.

¹²³ „Generative art refers to any art practice where the artist uses a system, such as a set of natural language rules, a computer program, a machine, or other procedural invention, which is set into motion with some degree of autonomy contributing to or resulting in a completed work of art” (P. Galanter, *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory*, 2003 r., http://philipgalanter.com/downloads/ga2003_paper.pdf [dostęp: 19 maja 2024 r.]).

¹²⁴ „(...) the defining aspect of generative art seems to be the use of an autonomous system for art making” (*ibidem*).

Algorytm, pierwotnie realizowany ręcznie, doczekał się szybko licznych wersji cyfrowych umożliwiających jego automatyczną egzekucję; bywa zresztą wykorzystywany do celów muzycznych dzięki *software’owym* sekwencerom wykorzystujących Conwayowski zestaw reguł. Sam Conway dopracowywał jednak algorytm przez kilka lat – tyle czasu zajęło mu znalezienie algorytmu, który umożliwiłby zrównoważony rozwój komórek (taki, w którym populacja ani zbyt szybko się nie rozrasta, ani nie wymiera).

Game of Life można zresztą traktować również jako symulację zjawisk emergentnych. Emergencja – w znaczeniu ścisłym – opisuje sposób, w jaki proste zestawy reguł mogą generować złożone zjawiska, takie jak zachowanie ławicy ryb lub kluczy ptaków. Dzięki wnioskom z analizy naturalnych zjawisk emergentnych wiele z tych zachowań udaje się skutecznie symulować za pomocą oprogramowania. Koncepcja emergencji przy pierwszym kontakcie może być kontrintuicyjna: jak to możliwe, że tak złożone zjawisko, jak płynnie zmiany kształtu ławicy ryb, da się opisać trzema prostymi regułami¹²⁵? Możliwą przyczyną owego braku intuicyjności mogą być nasze ograniczenia percepcyjne: nie potrafimy przeanalizować ruchu setek ryb jednocześnie, obserwując go, nie dostrzegamy poszczególnych osobników, zauważamy raczej ruch całej ławicy. Skupienie uwagi na pojedynczym osobniku umożliwia zaobserwowanie pewnych przejawów reguł, leżących u podstaw zachowania ławicy. Jednak podążanie wzrokiem już za kilkoma rybami staje się trudne. Złożoność całej ławicy przekracza całkowicie możliwości ludzkiej percepcji.

Co istotne, pojęcie emergencji może być wykorzystane nie tylko do analizy istniejących w przyrodzie złożonych zjawisk czy do ich rekonstrukcji, ale – co z mojej perspektywy szczególnie istotne – do konstrukcji zjawisk nowych. Wracając z kolei do meritum niniejszego podrozdziału –symulacje zjawisk emergentnych są jednym z przykładów na skuteczność wykorzystania procesów generatywnych, opartych na prostych zestawach reguł, do wytwarzania zjawisk o satysfakcjonującej złożoności. Ekstremalnym przypadkiem znacznej złożoności, wynikającej z prosto sformułowanego problemu, jest *problem Collatza* – jeden z ważniejszych nierozwiązanych do dzisiaj problemów matematycznych, dający się opisać stosunkowo prostym wzorem¹²⁶.

Wspomniane z kolei przed chwilą przekraczanie możliwości percepcji wydaje się powiązane, a przynajmniej skorelowane, z odczuciem satysfakcjonującej złożoności: zjawiska nieznacznie przekraczające nasze możliwości percepcyjne odbieramy jako najbardziej interesujące; myśl ta znajduje odbicie w opisywanym podrozdziale 1.4.4 zjawisku *optymalnej złożoności*.

1.4.2. Sztuka algorytmiczna / generatywna / procesualna – próba zdefiniowania granic

Warto w tym miejscu podjąć się zdefiniowania dwóch pokrewnych sztuce generatywnej pojęć – sztuki algorytmicznej oraz sztuki procesu. Jak wynika z powyższych rozważań, sztuka generatywna wymaga

¹²⁵ *Flocking*, Wikipedia, 2024 r.

¹²⁶ J.C. Lagarias, *The Ultimate Challenge: The 3x+1 Problem*, Providence 2010.

częściowej automatyzacji procesu twórczego; funkcję czynnika automatyzującego może pełnić na przykład ściśle określony algorytm – precyzyjny przepis, na podstawie którego realizowane jest docelowe dzieło. Przepis ów może mieć zarówno formę czysto konceptualną, jak i zapisanego na kartce zestawu reguł; może mieć wreszcie postać algorytmu realizowanego w domenie cyfrowej – programu komputerowego. Ważnym elementem sztuki generatywnej jest czynnik losowy – *randomizacja*; niemniej jednak niektóre realizacje spełniające kryteria sztuki algorytmicznej zakładają całkowitą eliminację przypadku, stąd tylko część sztuki algorytmicznej stanowi w moim rozumieniu podzbiór sztuki generatywnej.

Galanter próbuje definiować sztukę generatywną również poprzez kontradycję – przytaczając szereg przykładów dzieł, które zarówno spełniają, jak i nie spełniają kryteriów sztuki generatywnej. Przykładowo, zdaniem Galantera, twórczości Jacksona Pollocka, wykorzystująca fizyczne właściwości strużek farby skapujących z pędzla, nie powinno się zaliczać do obszaru sztuki generatywnej, gdyż „każde dzieło sztuki opiera się na zjawiskach fizycznych, zatem gdyby ich wykorzystanie było kluczowym wyznacznikiem, każda sztuka musiałaby być nazywana sztuką generatywną”¹²⁷. W moim odczuciu działanie Pollocka można jednak skategoryzować jako *sztukę procesu*.

Podsumowując – sztuka algorytmiczna oparta jest na ścisłych, deterministycznych algorytmach; sztuka generatywna – na częściowo niedeterministycznych procesach, sztuka procesualna wreszcie – na niedeterministycznych zachowaniach ludzkich wykonawców, mniej lub bardziej ściśle realizujących określony zestaw reguł. Podstawowe cechy wyróżniające te trzy kategorie zawarłem w poniższej tabeli:

SZTUKA ALGORYTMICZNA	SZTUKA GENERATYWNA	SZTUKA PROCESU
<ul style="list-style-type: none"> • ścisła realizacja algorytmu; • każdorazowa realizacja wyjściowych założeń przynosi identyczny efekt. 	<ul style="list-style-type: none"> • algorytm stanowi jeden z elementów procesu; • wykorzystanie czynników randomizujących; • każdorazowa realizacja wyjściowych założeń przynosi nieco inny efekt, rozpoznawalny jednak jako kolejna wariacja tego samego dzieła. 	<ul style="list-style-type: none"> • proces oparty na niezbyt ścisłych umownych założeniach; • realizacja zakłada istotny wkład wykonawcy – jego intuicji i arbitralnych decyzji; • każdorazowa realizacja może przynieść zbliżone efekty, w ekstremalnych przypadkach jednak bardzo odległe od wcześniejszych realizacji

1.4.3. Sztuka algorytmiczna

Przykładem sztuki algorytmicznej mogą być niektóre prace Ryszarda Winiarskiego, stworzone według ściśle sformułowanego przepisu, na przykład *Dziesiąta gra 9x9* z 1981 r. W pracy tej kwadratowe płótno podzielone jest na 81 średniej wielkości kwadratów (w tytułowym układzie 9 x 9), a każdy z tych kwadratów podzielony jest ponownie na 81 małych. Białe płótno wypełniane jest czarną farbą według prostej reguły – w ramach każdego ze średnich kwadratów, zamalowywany jest co dziesiąty mały kwadrat, dając w rezultacie rozpixselowany, rastrowy gradient. Zasada, według której ma postępować

¹²⁷ „All artwork has underlying physics, and if that were the measure then all art would have to be called generative art” (P. Galanter, *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory...*).

realizator płótna, jest na tyle prosta i precyzyjna, że każdorazowe powtórzenie procedury przyniesie identyczny efekt końcowy. Celowo użyłem sformułowania „realizator”, a nie „artysta” – aktem twórczym bowiem jest w tym przypadku samo zaprojektowanie procesu generatywnego, a jego realizacja pozostaje formalnością, czynnością w zasadzie automatyczną, choć niezbędną do zmaterializowania wyżej opisanego procesu.

Innym powszechnie znanym przykładem może być praca *Variations of Incomplete Open Cubes* Sola LeWitta¹²⁸ – artysta, biorąc jako punkt wyjścia krawędzie sześciianu, podjął się zadania wytworzenia wszelkich możliwych sześciianów z niepełną liczbą krawędzi – od trzech do jedenastu. Liczba kombinacji jest skończona i policzalna, zatem tak sformułowany problem zawsze przyniesie identyczny zestaw 122 figur. Wariacji podlega jedynie kolejność ich przedstawienia, ewentualne posegregowanie w oparciu o liczbę krawędzi, oraz forma realizacji – LeWitt prezentował efekty zaprojektowanego przez siebie procesu generatywnego zarówno w formie rysunków, jak i form przestrzennych o różnej skali.

W pewnym sensie za muzyczny ekwiwalent dzieła LeWitta można uznać kompozycję fortepianową *Chords Catalogue* Toma Johnsona. Za punkt wyjścia kompozytor postawił sobie zadanie systematycznego wypisania wszystkich akordów (od dwu- do trzynastodźwięków) możliwych do zagrania w granicach pojedynczej oktawy. Przy tak precyzyjnie zdefiniowanym założeniu wstępnym wykonawca – chcąc wiernie zrealizować utwór – nie ma możliwości ingerencji w materiał muzyczny, ale – co istotne – kompozytor również. W momencie sprecyzowania algorytmu, według którego tworzone są kolejne akordy, kompozytor – chcąc trzymać się ściśle założeń – może jedynie sporządzić zapis nutowy będący odzwierciedleniem tegoż algorytmu. W praktyce partytura mieści się na jednej stronie, gdyż zawiera jedynie pierwsze kilkaset akordów – Johnson słusznie uznał, że wypisywanie wszystkich jest zbędne; wykonawca po zagranii serii dwu- i trójdzźwięków zapisanych w partyturze zaznajamia się z procedurą na tyle, że jest w stanie zrealizować pozostałe współbrzmienia we własnym zakresie.

Pojawiająca się zatem często w kontekście sztuki generatywnej wątpliwość dotycząca autorstwa właściwego dzieła jest w moim odczuciu rozwiewana poprzez fakt, iż to twórca musi wpiąć proces generatywny zaprojektować, wytworzyć (takimi czy innymi środkami), następnie dostroić jego parametry i dopiero wówczas zaakceptować i uznać za skończone dzieło wygenerowane w tym procesie rezultaty estetyczne. Tak jak w tradycyjnej twórczości bez twórcy nie ma dzieła, tak i tutaj – bez twórcy i stworzonego przezeń procesu dzieła również nie będzie.

Tu pojawia się kolejny kontekst interpretacyjny dotyczący sztuki generowanej przez AI – intuicja podpowiada, że głównym twórcą powstających w tej technice obrazów czy utworów pozostaje jednak twórca samego oprogramowania, czyli właściwej sieci neuronowej – temat oczywiście nie jest aż tak prosty, bo: po pierwsze, sieci muszą być wytrenowane na ogromnej ilości danych, czyli zdjęć i obrazów, stworzonych przez innych twórców; po drugie, można przeprowadzić tu analogię do twórczości

¹²⁸ M. Fabrizi, „*Irrational Thoughts Should be Followed Absolutely and Logically*”... – *SOCKS*, 15 czerwca 2016 r., <https://socks-studio.com/2016/06/15/irrational-thoughts-should-be-followed-absolutely-and-logically-sol-lewitts-variations-of-incomplete-open-cubes-1974/> [dostęp: 1 maja 2024 r.].

filmowej: czy reżyser jest twórcą filmu, jeżeli w praktyce często bazuje na cudzym scenariuszu, a niemal zawsze na pracy operatorów i aktorów? Jego rolą jest zatem posiadanie i egzekwowanie ogólnej wizji skończonego dzieła, ewentualnie chwytanie w locie wydarzających się przypadkowo podczas pracy „szczęśliwych przypadków”. Podobnie więc osoba korzystająca z narzędzia AI może dopracowywać słowne polecenie w sposób świadomy i konsekwentny, a wygenerowane na tej podstawie obrazy poddać ścisłej selekcji, akceptując tylko te spełniające jej wizję czy też standardy estetyczne. Dyskusja na ten temat może nie mieć końca, choć nie pozostaje bez precedensu w dziejach mariażu sztuki i technologii – na przykład traktowanie fotografa jako artysty również mogło początkowo budzić spore wątpliwości – z punktu widzenia ówczesnych malarzy proces wykonywania zdjęcia jawił się jako czysto automatyczny. W praktyce artyści fotografowie znaleźli jednak liczne obszary, w których mogli dać upust swojej kreatywności – od tak oczywistych, jak dobór odpowiedniego kadru czy tematu, do stosowania odpowiednich ustawień samego aparatu (głębia ostrości, ekspozycja) oraz technik ciemniowych czy retuszu.

1.4.4. Sztuka generatywna – szerzej

Philip Galanter wykorzystuje w swoich rozważaniach elementy teorii złożoności (*complexity theory*), pisząc o strumieniach danych posiadających różny stopień nieprzewidywalności: strumień całkowicie przewidywalny – na przykład złożony z pojedynczej litery, powtarzanej w równych odstępach czasu, niesie ze sobą znikomą ilość informacji i jako taki posiada niewielką złożoność, jest też mało interesujący z perspektywy odbiorcy. Z drugiej strony całkowicie losowy strumień liter, emitowany w nieregularnych odstępach czasu, z punktu widzenia teorii złożoności zawiera maksymalną możliwość informacji, z punktu widzenia ludzkiego odbiorcy jest jednak równie bezużyteczny, jak ten pierwszy. Jak zauważa Galanter, „z punktu widzenia naszej ludzkiej zdolności do wydobywania sensu z danego doświadczenia potrzebujemy mieszanki zaskoczenia i redundancji, czyli sygnału znajdującego się gdzieś pomiędzy skrajnym porządkiem a chaosem”¹²⁹. Optymalną kombinację przewidywalności i nieprzewidywalności Galanter nazywa *effective complexity*, co można przetłumaczyć jako **optymalna złożoność**. Cecha ta jest istotnym elementem satysfakcjonującego dzieła sztuki, a jej osiągnięcie stanowi główne wyzwanie przy projektowaniu procesów generatywnych; osiągnięcie jej wymaga zachowania odpowiedniej proporcji między elementami porządkującymi (algorytmami) a randomizującymi.

Wspomniana optymalna złożoność jest niewątpliwie elementem sprzyjającym atrakcyjności dzieła artystycznego. Fred Lerdahl wprowadził rozróżnienie między złożonością a komplikacją dzieła muzycznego¹³⁰ (*complexity vs. complicatedness*) na przykładzie serializmu¹³¹, dowodząc, że podczas gdy złożoność jest zjawiskiem korzystnym, komplikacja materiału muzycznego nie zwiększa

¹²⁹ „In terms of our human ability to extract meaning from a given experience we require a mix of surprise and redundancy, i.e. a signal somewhere between extreme order and disorder” (P. Galanter, *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory...*).

¹³⁰ F. Lerdahl, *Cognitive Constraints on Compositional Systems*, „Contemporary Music Review” 2009, t. 6, DOI: 10.1080/07494469200640161.

¹³¹ Prace Lerdahla zostały co prawda poddane krytyce ze względu na nieprzekonujące analogie między analizą muzyczną a lingwistyką, jednak powyższa obserwacja w moim odczuciu pozostaje w mocy.

atrakcyjności jego odbioru. Można zatem uznać – przez pryzmat Galanterowskiego rozumienia teorii złożoności – że komplikacja jest krokiem w stronę zwiększenia randomizacji, a więc przesuwana nas w spektrum porządek – chaos w stronę tego ostatniego.

Przykłady czynników porządkujących proces – zestawów reguł, czyli algorytmów – zostały już omówione. Czynniki randomizujące z kolei mogą mieć różną postać, najbardziej oczywisty może być choćby rzut kostką. Metoda ta jest zresztą historycznie istotna – prowokuje również do ważnej refleksji: mimo iż sam termin „sztuka generatywna” jest stosunkowo młody, wykorzystywanie zjawisk losowych do tworzenia generatywnych dzieł ma długą historię. Warto tu przywołać chociażby *Musikalisches Würfelspiel* Mozarta, umożliwiające tworzenie kompozycji w oparciu o krótkie, skomponowane przez Mozarta motywy, których kolejność determinował rzut kostki właśnie¹³². Metoda ta wykorzystywana była również w kompozycji Włodzimierza Kotońskiego *AELA*¹³³ oraz w wielu pracach Ryszarda Winiarskiego. Wracając jednak do czynników randomizujących – obejmują one szerokie spektrum, od analogowych generatorów takich jak kostka, poprzez generowanie liczb losowych w domenie cyfrowej (co samo w sobie nie jest trywialnym zagadnieniem), aż po wykorzystanie procesów zachodzących w świecie realnym, fizycznym, które – ze względu na niedoskonałość pomiaru – tworzą zjawiska chaotyczne:

Zachowania chaotyczne są często elementem systemów złożonych, co oznacza, że dynamika tych systemów jest nieliniowa i trudna do przewidzenia w dłuższej perspektywie czasowej, mimo iż same systemy są deterministycznymi mechanizmami podążającymi za ścisłą sekwencją przyczyn i skutków. Nieliniowość systemów chaotycznych powoduje amplifikację subtelnych różnic, co sprawia, że wraz z upływającym czasem zachowanie takich systemów staje się coraz trudniejsze do przewidzenia¹³⁴.

W praktyce zjawisko to występuje na przykład w przypadku wykorzystywania kilku pętli taśmy magnetycznej jednocześnie – niedoskonałość pomiaru ich długości (a zatem niemożliwość sklejenia kilku pętli o dokładnie tej samej długości) owocuje stopniowym rozmijaniem się odtwarzanych z tych pętli nagrań. Zjawisko to może zostać wykorzystane jako element randomizujący w procesie generatywnym, czego przykładem będzie *Music for Airports* Briana Eno oraz *It's Gonna Rain* Steve'a Reicha (do obu utworów będę w niniejszym podrozdziale jeszcze wracał).

Mój własny projekt o nazwie *Feedboxes*¹³⁵ jest *de facto* efektem eksperymentu, jaki przeprowadziłem w celu zweryfikowania problemu badawczego, który można by sformułować następująco:

Urządzenie elektroakustyczne posiadające głośnik i mikrofon, w którym sygnał z mikrofonu po wzmocnieniu wysyłany jest do głośnika, umożliwia wytworzenie sprzężenia akustycznego (efektu Larsena). Dwa takie urządzenia, nasłuchujące siebie nawzajem, również – w teorii – powinny wywoływać podobne sprzężenie. Czy sprzężenie będzie nadal występować (a jeśli tak, to w jakiej postaci?), jeśli

¹³² R. Gradim, P. Duarte Pestana, *Overview of Generative Processes in the work of Brian Eno, 11th Workshop on Ubiquitous Music (UbiMus 2021)*, Matosinhos 2021.

¹³³ *Warszawska Jesień 2015 – AELA – Włodzimierz Kotoński*, <http://archiwum.warsaw-autumn.art.pl/wj2015/program-i-bilety/utwory/1573855144> [dostęp: 23 czerwca 2024 r.].

¹³⁴ „Complex systems often include chaotic behavior, which is to say that the dynamics of these systems are nonlinear and difficult to predict over time, even while the systems themselves are deterministic machines following a strict sequence of cause and effect. The nonlinearity of chaotic systems results in the amplification of small differences, and this is what makes them increasingly difficult to predict over time” (P. Galanter, *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory...*).

¹³⁵ K. Cybulski, *Feedboxes...*

głośniki, miast odtwarzać nieprzetworzony sygnał z mikrofonu, będą generować struktury muzyczne, których jeden lub kilka parametrów (na przykład głośność, gęstość faktury, rejestr wysokościowy) zależą od wybranych parametrów dźwięku przechwytywanego przez mikrofon?

W toku eksperymentu udało się udzielić na powyższe pytanie odpowiedzi twierdzącej. Feedboxes można rozpatrywać jako system generatywny – mamy wszak do czynienia ze złożonym efektem współdziałania prostych elementów składowych: jasno sformułowane algorytmy, realizowane w domenie cyfrowej, wraz z kilkoma ustawianymi ręcznie parametrami, pozwalają na samoistne powstawanie struktur muzycznych, każdorazowo różnych i zależnych od warunków wyjściowych. Występuje tu również element *embodied interaction* – fizyczna forma instrumentów oraz możliwość zmiany parametrów procesu poprzez fizyczną manipulację (przestawianie urządzeń, ręczną zmianę położenia mikrofonów względem głośników) pozwala na intuicyjną modyfikację procesu generatywnego. „Samonośność” obiektów (brak kabli, zamontowanie źródeł dźwięku – głośników – w samych urządzeniach) sprzyja wytworzeniu bezpośredniej relacji między wykonawcą i instrumentami oraz stworzenie prostego modelu mentalnego ich zasady działania.

Pętla sprzężenia jest zatem w przypadku Feedboxes dość złożona: cyfrowo wygenerowany dźwięk podlega konwersji na sygnał analogowy, ten z kolei – po wzmocnieniu – w ruch membrany głośnika, wprawiający w drgania powietrze; tą drogą dźwięk dociera do mikrofonu sąsiedniego urządzenia, gdzie następuje ponownie konwersja – najpierw energii akustycznej na ruch membrany mikrofonu, wytwarzającej w cewce zmienny prąd elektryczny, który po wzmocnieniu zostaje przekonwertowany na dane cyfrowe.

Wobec powyższego trzeba zwrócić uwagę na ważny szczegół: **o ile procesy zachodzące w domenie cyfrowej podlegają ściśle określonym zasadom i w istocie poddają się łatwej modyfikacji poprzez zmiany parametrów prostego algorytmu, o tyle zjawiska występujące w domenie analogowej, a szczególnie akustycznej, są znacznie trudniejsze do kontrolowania.** Minimalna zmiana usytuowania mikrofonu wobec membrany głośnika może wpłynąć znacząco na powstające sprzężenie zwrotne; powrót do wcześniejszej konfiguracji graniczy z niemożliwością.

Jest to kolejny przykład (po opisanych powyżej pętlach taśmy niejednakowej długości) zjawiska chaotycznego w ścisłym tego słowa znaczeniu – wzajemne położenie mikrofonów i głośników jest teoretycznie możliwe do precyzyjnego odtworzenia, ale w praktyce jest to niewykonalne ze względu na zbyt małą dokładność dostępnych narzędzi pomiarowych czy manipulatorów (rąk). Zatem złożoność całego układu wynika w dużej mierze ze zjawisk niepoddających się precyzyjnej kontroli wykonawcy. Niemniej jednak wykonawca ma poczucie dostatecznego wpływu na całość układu: mniej subtelne działania przynoszą spodziewane rezultaty, a niedeterministyczne zachowania wynikające z wyżej wymienionych, niekontrolowalnych zjawisk, powodują poczucie obcowania z pseudointeligentnym systemem generatywnym, żyjącym do pewnego stopnia własnym życiem.

Mamy tu do czynienia ze zjawiskiem zwanym czarną skrzynką (*black box*)¹³⁶ – zachowanie pewnej części układu jest niepoznawalne, co nie przeszkadza jednak w wykorzystaniu go do własnych celów. Proporcje kontroli w stosunku do jej braku są jednak zupełnie inne niż w przypadku sztucznych sieci neuronowych¹³⁷, znacznie lepiej symulujących inteligencję. Co istotne, „zawartość czarnej skrzynki” w przypadku sztucznych sieci neuronowych jest w praktyce niepoznawalna, co stanowi jedno z większych wyzwań tej technologii – problem *interpretowalności AI*¹³⁸.

Wspomniany już niejednokrotnie Brian Eno miał niebagatelny wpływ na rozwój muzyki generatywnej – nie tylko poprzez spopularyzowanie samego terminu, ale przede wszystkim ze względu na ogromny wkład w tę dziedzinę. Godny odnotowania jest fakt, iż wiele rozwiązań, których wynalezienie przypisuje się Eno, nie było w istocie jego dziełem – kompozycje, wykorzystujące spopularyzowane przez niego techniki, powstawały choćby w Studio Eksperymentalnym Polskiego Radia już na przełomie lat 60. i 70. XX w.¹³⁹ Sam Eno zresztą chętnie przyznawał się do inspiracji chociażby kompozycją *It's Gonna Rain* Steve Reicha¹⁴⁰. Niemniej jednak niewątpliwą zasługą Eno było wprowadzenie tych technik do muzyki głównego nurtu oraz niezwykle kreatywne ich wykorzystanie.

Eno jest zresztą jednym z pierwszych przedstawicieli opisywanej wcześniej kategorii twórców-producentów – sam przyznaje, że:

(...) nie znam nut, nie potrafię również dobrze grać na żadnym instrumencie. Trudno sobie wyobrazić, aby kiedykolwiek wcześniej [zanim nastąpił zaawansowany rozwój technik rejestracji dźwięku] ktoś taki jak ja mógł być kompozytorem¹⁴¹.

Umiejętność wchodzenia w dialog z narzędziem (w przypadku opisywanych poniżej dzieł reprezentowanym przez magnetofony i syntezatory analogowe) umożliwiła mu jednak wytworzenie specyficznego procesu kreatywnego, którego efektami są istotne dzieła muzyki generatywnej oraz ukonstytuowanie nowego na owe czasy zjawiska, jakim jest muzyka *ambient*. Z punktu widzenia niniejszej pracy najistotniejsze będą dwa utwory Briana Eno: wspomniany już *Music for Airports* oraz *Three Variations on the Pachelbel Canon*.

Eno zresztą – jak wspominałem we wstępie – opisując strategię twórcze zbliżone do zaproponowanych przeze mnie kategorii A i B, wykorzystał metafory architekta i ogrodnika:

Architekt, przynajmniej w tradycyjnym tego słowa znaczeniu, jest kimś, kto ma w głowie szczegółową koncepcję końcowego rezultatu i którego zadaniem jest kontrolowanie natury w sposób na tyle skuteczny, aby tę koncepcję udało się zrealizować. (...) Ogródnik pracuje w zupełnie inny sposób (...) poszukuje

¹³⁶ *Black box*, Wikipedia, 2024 r.

¹³⁷ Zjawisko to występuje bardzo wyraźnie w przypadku generatywnych systemów opartych na AI, o czym będzie jeszcze mowa.

¹³⁸ D. Castelvocchi, *Can we open the black box of AI?*, „Nature” 2016, t. 538, nr 7623, DOI: 10.1038/538020a.

¹³⁹ Na przykład *Sculpture* i *Solitaire* Arne Nordheim, *Monodram*, *E.S. Jazz* i *BlueS* Bogustawa Schaeffera czy *Mobile* Eugeniusza Rudnika: D. Crowley, *Ultra sounds: the sonic art of Polish Radio Experimental Studio*, Karlsruhe–Warsaw–Łódź–Heidelberg–Berlin 2019.

¹⁴⁰ B. Eno, *Composers as Gardeners...*

¹⁴¹ „(...) I can neither read nor write music, and I can't play any instruments really well, either. You can't imagine a situation prior to this [the advance in recording technology] where anyone like me could have been a composer” (B. Eno, *Studio as Compositional Tool. Part I*, „Downbeat” 1983, nr 50, s. 57, [za:] C. Sun, *Resisting the airport: Bang on a can performs Brian Eno*, „Musicology Australia” 2007, t. 29, nr 1, DOI: 10.1080/08145857.2007.10416592).

nasion, sadzi je starannie i pozwala im żyć własnym życiem. I życie to niekoniecznie będzie dokładnie takie, jak się dla nich pierwotnie przewidywało (...) współpracuje się ze złożonymi i nieprzewidywalnymi procesami natury. (...) Wykorzystuje się dynamikę systemu, aby zostać poprowadzonym w kierunku, który chciało się osiągnąć¹⁴².

Podobieństwo między *It's Gonna Rain* a *Music for Airports* wynika z zastosowania w obu utworach wielu pętli taśmy magnetycznej o różnych długościach jako czynnika randomizującego proces generatywny, choć pod względem czysto muzycznym oba utwory różnią się od siebie znacząco. Najbardziej charakterystyczny fragment kompozycji na taśmę *It's Gonna Rain* Reicha stanowi nagranie tytułowego zdania, wypowiedzianego przez ulicznego proroka¹⁴³. Ze skopiowanego dwukrotnie na taśmie magnetycznej nagrania sporządzono następnie dwie niemal identycznej długości pętli. Jednak błąd pomiaru – nieunikniony w świecie materialnym – powoduje, iż jednocześnie odtworzone z dwóch magnetofonów pętli stopniowo się rozmiągają, czego rezultatem są skomplikowane relacje rytmiczne między dwiema kopiami zapętłonego nagrania.

Eno w *Music for Airports* zastosował znacznie dłuższe, kilkudziesięciosekundowe pętli, zawierające nagrania pojedynczych nut i krótkich fraz instrumentalnych i wokalnych. Różne długości pętli jednak i w tym przypadku powodują ciągłe rozmiąganie się odtwarzanych fraz – poszczególne motywy melodyczne powracają regularnie w trakcie trwania utworów, ale koincydencja motywów odtwarzanych z poszczególnych pętli jest za każdym razem inna¹⁴⁴.

Music for Airports z oczywistych względów funkcjonowało pierwotnie wyłącznie w formie statycznej rejestracji – „utworu na taśmę”. Po dwudziestu latach utwór doczekał się jednak wykonania na żywo za sprawą precyzyjnej, nutowej transkrypcji, dokonanej przez członków ansamblu Bang on a Can. W wersji koncertowej utwór uzyskał z pewnością nowy poziom głębi – przynajmniej w warstwie brzmieniowej i performatywnej. Jednak kwestia struktury samej kompozycji, a w zasadzie sposobu jej odtworzenia – czyli wykorzystania do tego celu standardowej partytury – stawia w moim odczuciu pod znakiem zapytania zasadność przeprowadzonego przez Bang on a Can przedsięwzięcia.

Przykład *Music for Airports* w wersji Eno i Bang on a Can pokazuje, że proste kategoryzowanie zjawisk – jakiego dopuściłem się we wstępie pracy, wyodrębniając dwa typy kompozytorów – sprawdza się tylko na krótką metę. Postawa Eno wypełnia bowiem w przypadku wspomnianego dzieła większość kryteriów Kompozytora A: Eno stworzył w warunkach studyjnych utwór „na taśmę”, bez intencji jego publicznej prezentacji w formie innej niż odstuch gotowego nagrania. Band on a Can z kolei „ożywiło” kompozycję poprzez doprowadzenie do jej publicznych wykonań przez żywych muzyków. Ale pod wieloma względami to właśnie wersja Eno jest wersją żywą – powstała organicznie, na skutek autonomicznego

¹⁴² „An architect, at least in the traditional sense, is somebody who has an in-detail concept of the final result in their head, and their task is to control the rest of nature sufficiently to get that built. (...) A gardener doesn't really work like that. (...) finding seeds, carefully planting them and then letting them have their life. And that life isn't necessarily exactly what you'd envisaged for them (...) what one is doing is working in collaboration with the complex and unpredictable processes of nature. (...) Use the dynamics of the system to take you in the direction you wanted to go” (B. Eno, *Composers as Gardeners...*).

¹⁴³ *It's Gonna Rain*, Wikipedia, 2023 r.

¹⁴⁴ *How Brian Eno Created „Ambient 1: Music For Airports”*, 11 lipca 2019 r., <https://reverbmachine.com/blog/deconstructing-brian-eno-music-for-airports/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

działania procesu generatywnego. Każde kolejne wykonanie utworu z wykorzystaniem oryginalnego procesu – choć z przyczyn praktycznych trudne do przeprowadzenia – zaowocowałoby jego nową, różniącą się w szczegółach wariacją.

Z kolei członkowie ansamblu Bang on a Can w pewnym sensie spłycili oryginalny charakter *Music for Airports*; kompozycja wykonywana na żywo na podstawie transkrypcji nie oddaje ducha pierwotnego procesu generatywnego. Ożywienie dzieła poprzez wykonanie na instrumentach akustycznych ma charakter jedynie powierzchowny – nie ma w sobie nic z elegancji oryginalnego rozwiązania, w którym trafnie zaprojektowany proces był w stanie wygenerować złożony, kilkunastominutowy utwór. W wersji Bang on a Can zrealizowanie tego samego utworu wymaga pełnej, wielotaktowej partytury i niemałego aparatu wykonawczego, którego członkowie jednak pełnią rolę czysto odtwórczą.

Co interesujące, David Lang, który dokonał transkrypcji jednego z utworów na potrzeby wykonania przez Bang on a Can, opisując oryginalne dzieło Eno, stwierdził, że:

(...) to ktoś, kto w gruncie rzeczy wykorzystuje ten sam rodzaj muzycznego procesu myślowego, który zachodził u wszystkich innych, ekscytujących kompozytorów w tamtym czasie. [Proces ten] rozwija się w piękny i niespieszny sposób, i po pewnym czasie zdajesz sobie sprawę, że znajduje się tam naprawdę starannie skonstruowana architektura¹⁴⁵.

Istotne jest tu błędne przypisywanie Eno roli architekta, podczas gdy on sam się od tej roli (zresztą precyzyjnie tak właśnie nazwanej) odżegnywał.

1.4.5. Sztuka procesu

Sztuka procesu może być realizowana różnymi środkami – może wykorzystywać rozwiązania technologiczne, może bazować na właściwościach fizycznych wykorzystywanego medium (jak wspomniane strużki farb u Jacksona Pollocka), może wreszcie opierać się o umowne, mniej lub bardziej ściśle określone zestawy reguł. W moim rozumieniu główną cechą sztuki procesu jest jej realizacja przez żywych wykonawców, którzy podejmują decyzję o stopniu ścisłości zastosowania wyjściowych reguł.

Charakterystycznym przykładem muzyki procesu w moim rozumieniu jest technika aleatoryzmu kontrolowanego, wykorzystana przez Witolda Lutosławskiego w kompozycji *Gry Weneckie* – tylko niektóre z parametrów wykonania są ściśle określone w partyturze; realizacja pozostałych parametrów pozostawiona jest swobodnej interpretacji wykonawców.

Przykładem podobnego procesu jest inny utwór Eno – *Three Variations on the Pachelbel Canon*¹⁴⁶, który, jak sama nazwa wskazuje, odnosi się do Kanonu D-dur Johanna Pachelbela. Eno stosuje tu w zasadzie technikę aleatoryzmu kontrolowanego – oryginalny zapis nutowy Kanonu D-dur został opatrzony

¹⁴⁵ „(...) it's someone who actually is working with the same kind of musical thought process that was going on for all the other exciting composers at the time. It sort of unfolds in this beautiful and lazy way, and after awhile you realize there is this really tightly made architecture to it” (Ch. Twomey, *Eno's Music for Airports Process or Preference*, „Musicworks” 1999, t. 39, [za:] C. Sun, *Resisting the airport...*).

¹⁴⁶ *Discreet Music Liner Notes*, http://music.hyperreal.org/artists/brian_eno/discreet-txt.html [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

adnotacjami, stanowiącymi luźne instrukcje dla wykonawców. W każdej z wariacji stosowane są odmienne reguły, sprowadzające się na przykład do wydłużania lub skracania określonych wartości rytmicznych, stosowania fermaty *ad libitum*. *Three Variations...* zachowuje pewne cechy oryginalnej kompozycji Pachelbela, jednak każda z wariacji posiada swój odrębny, unikalny charakter.

Co ciekawe, utwór ten również doczekał się po latach „żywego” wykonania, którego dokonał Anthony Fiumara¹⁴⁷. Jest ono jednak znacznie wierniejsze oryginalnemu procesowi Eno, niż miało to miejsce w przypadku opisywanej wcześniej rekonstrukcji *Music for Airports*. Fiumara – miast podejść do wykonania *Three Variations...* metodą *Bang on a Can*, czyli z wykorzystaniem partytury odtwarzającej wszelkie szczegóły zarejestrowanej wersji utworu – podjął się rekonstrukcji oryginalnych, zaproponowanych przez Eno reguł. Reguły te posłużyły następnie do ponownego wykonania, które – zgodnie z przewidywaniami – różni się w szczegółach od oryginalnej wersji Eno, pozostaje jednak bezsprzecznie kolejną realizacją oryginalnego procesu, zatem również i kolejnym wykonaniem tej samej kompozycji.

Istotnym przykładem muzyki procesu jest *Pendulum Music*¹⁴⁸ Steve’a Reicha; podstawowym założeniem utworu jest zawieszenie nad głośnikami kilku mikrofonów na kablach o różnej długości; poziom wzmocnienia dźwięku z mikrofonu ustawiony jest tak, że sprzężenie zwrotne występuje tylko w momencie, w którym mikrofon znajduje się bezpośrednio nad głośnikiem. Podczas wykonania mikrofony – pierwotnie wychylone z pozycji spoczynkowej – poruszają się swobodnie ruchem wahadłowym. Różne długości kabli powodują inny okres drgania każdego z wahadeł, wytwarzając rozmijające się fazowo zdarzenia dźwiękowe. Jak zauważa sam Reich: „It's the ultimate process piece”¹⁴⁹ – utwór ten jest w dużej mierze kwintesencją muzyki procesu: wykorzystuje proste założenie techniczne i performatywne, których rezultatem jest złożone zjawisko audiowizualne. Założenia wstępne są na tyle swobodne, że kolejne wykonania mogą się od siebie znacznie różnić, jednak i na tyle ścisłe, że każde wykonanie nie pozostawia wątpliwości co do tożsamości utworu.

1.4.6. Muzyka procesu a improwizacja

Jak ukazywał pierwszy z przytoczonych w niniejszym podrozdziale przykładów – *Gry Weneckie* Lutostawskiego – granica między muzyką procesu a improwizacją w oparciu o zaplanowaną *a priori* strukturę jest dość płynna. Najpowszechniej chyba występującym przykładem muzyki, w której częścią procesu generatywnego są żywi wykonawcy, jest usankcjonowany wieloletnią tradycją sposób praktycznej realizacji stosowanego powszechnie w jazzie zapisu zwanego *lead sheet*¹⁵⁰. Mamy tu do czynienia ze szczątkowym zapisem w postaci głównej linii melodycznej (tematu) oraz zapisanych symbolicznie akordów; ewentualnie również tempa i ramowo określonej stylistyki (*latin, swing, funk*), z rzadka skonkretyzowanych *voicingów* niektórych akordów lub zaznaczonych akcentów rytmicznych,

¹⁴⁷ A. Fiumara, *Anthony Fiumara | Three Variations (Brian Eno)*, <https://www.anthoniyfiumara.com//music//pachelbel.html> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].

¹⁴⁸ *Steve Reich interview – Pendulum Music*, <https://www.furious.com/perfect/ohm/reich.html> [dostęp: 1 maja 2024 r.].

¹⁴⁹ *Ibidem*.

¹⁵⁰ Można również zetknąć się z nazwą *real book* oraz rodzimym sformułowaniem *prymka*.

które mają być zrealizowane nie tylko przez instrument melodyczny, ale i sekcję rytmiczną. Realizacja pozostałych elementów utworu pozostaje w gestii wykonawców – od konkretnego składu instrumentalnego (choć tradycja i wymogi stylistyczne sugerują pewną pulę instrumentów), przez czas trwania i formę utworu. Pewne elementy – pozostające wciąż w sferze domysłu – są jednak stałe: realizowany na żywo według *lead sheet* utwór zazwyczaj zaczyna się i kończy odegranym przez instrumenty melodyczne tematem, po którym następują partie solowe poszczególnych instrumentów, zaimprovizowane w oparciu o zapętloną progresję harmoniczną, zapisaną w temacie. Tu już pojawia się większa doza swobody – zarówno w obszarze melodyki, jak i czasu trwania poszczególnych improwizowanych partii (solówek) czy wreszcie kolejności instrumentów je realizujących. Całość wieńczy temat, sama jednak koda znowu jest otwarta – może zostać zrealizowana w oparciu o kilka powszechnie znanych muzykom jazzowym schematów. Co więcej, idiom zakłada, że w domyśle pozostają również funkcje i charakterystyczne elementy partii danego instrumentu, choć szczegóły zależne są do pewnego stopnia od lakonicznie zapisanej w *lead sheet* stylistyki (na przykład *swing*, *latin*, *funk*).

Jak więc widać, w praktyce znacznie więcej elementów realizowanego w idiomatyczny sposób utworu jazzowego pozostaje w gestii wykonawców niż kompozytora. Niemniej jednak odtworzony na początku i końcu utworu temat oraz towarzysząca mu przez cały utwór progresja harmoniczną stanowią niezaprzeczalny wkład kompozytora i decydują o tożsamości i rozpoznawalności danego utworu.

Opisana powyżej formuła stosowana jest dziś z reguły głównie w okolicznościach *jam session* – spotykający się niejednokrotnie po raz pierwszy muzycy mogą wybrać utwór z puli standardów jazzowych, stanowiących niepisany kanon, i – stosując się do powyższych niepisanych reguł – zagrać mniej lub bardziej ustrukturyzowany koncert bądź *set*. Swoboda realizacyjna pozwala na wiele odstępstw od tego, usankcjonowanego gruntownie przez dziesięciolecia, sposobu odtworzenia danego utworu: wykonawcy mogą umówić się na dowolny stopień „czystości stylistycznej”, wraz z całkowitym niemal porzuceniem lub jedynie szczątkowym zaprezentowaniem zawartych w *lead sheet* wskazówek melodycznych i harmonicznym – temat pozostaje wówczas jedynie sugestią czy też inspiracją do tworzonego na bieżąco utworu. Kompozytor oczywiście może być – i często bywa – jednym z wykonawców, co nie musi przeszkodzić mu w daleko posuniętym odejściu od własnych wytycznych, zawartych w szczątkowym zapisie kompozycji. Przykładem może być chociażby sposób, w jaki kompozycje lidera traktował Wayne Shorter Quartet, często jedynie w szczątkowej formie cytując temat danej kompozycji, traktując wyjściowy zamysł jako punkt wyjścia do swobodnej grupowej improwizacji. Zespoły czy muzycy grający ze sobą na co dzień, czy wreszcie stawiający sobie za cel przede wszystkim wykonywanie własnych kompozycji, z reguły rezygnują z tej – dość jednak zachowawczej – formuły; kompozytorzy jazzowi mogą od razu komponować z zamysłem, że utwór nie jest określony ściśle, a oparty na mniej lub bardziej swobodnych zestawach reguł (przykładem może być kompozycja *Spanish Key* Milesa Davisa).

1.4.7. Dlaczego nie AI?

Niezwyczajnie dynamiczny rozwój narzędzi generatywnych, opartych na sztucznych sieciach neuronowych, jest jednym z nieodłącznych elementów rzeczywistości trzeciej dekady XXI w. Sztuczna inteligencja w pobieżnym dyskursie jawi się jako rodzaj „szwajcarskiego szczyryka”, zdolnego wykonać każde zadanie i rozwiązać każdy problem¹⁵¹. W istocie efekty pracy narzędzi AI, generujących obrazy, filmy, a i coraz częściej muzykę, imponują stopniem zaawansowania, niewyobrażalnym jeszcze rok czy dwa lata temu. Wydawać się zatem może, że wykorzystanie AI jest jedynym możliwym kierunkiem rozwoju sztuki w mariażu z technologią. Trend ten zdają się potwierdzać prace badawcze nad relacjami między muzyką a sztuczną inteligencją, prowadzone w wielu czołowych instytucjach zajmujących się technologią muzyczną^{152,153}.

Niemniej jednak wykorzystanie AI, w szczególności zaś gotowych narzędzi generatywnych opartych na tej technologii, nasuwa wątpliwości dotyczące chociażby autorstwa powstających dzieł czy też kwestii w moim odczuciu jeszcze istotniejszej, szczególnie z perspektywy twórcy: czy mianowicie generatywne systemy AI są rzeczywiście **narzędziami**? Temat jest szeroki i zasługuje na odrębną dyskusję, choć swoją perspektywę na ten obszar próbowałem już zarysować w ramach wykładu *Post-AI, czyli wygoda versus sprawczość* podczas sympozjum Reżyseria Dźwięku w Nowych Mediach na AMFN¹⁵⁴. Tytułowa wygoda i sprawczość tworzą w moim rozumieniu spektrum, po którym porusza się każdy twórca, dobierając właściwe dla danego dzieła czy procesu twórczego narzędzia. Poczucie kontroli nad materiały występuje w najwyższym stopniu przy zastosowaniu narzędzi wymagających specjalistycznych umiejętności; z kolei narzędzia przeznaczone dla twórców nieprofesjonalnych oferują większą łatwość stosowania, odbierając jednak częściowo poczucie sprawczości. Z tej perspektywy systemy generatywne oparte na wielkich sieciach neuronowych znajdują się na skraju spektrum – oferują maksimum wygody przy minimum poczucia sprawczości. Przystają zatem być narzędziami *per se*, stając się czymś w rodzaju „wirtualnych podwykonawców”.

Z perspektywy projektu AAAA najistotniejsza jednak jest jeszcze inna, sygnalizowana już wcześniej perspektywa: mianowicie **problem interpretowalności AI**¹⁵⁵. W wielkim skrócie – rozproszona struktura sztucznych sieci neuronowych, będąca źródłem ich wysokiej skuteczności, utrudnia jednocześnie analizę ich wewnętrznych mechanizmów, a zrozumienie, jakie zachodzące wewnątrz sieci procesy doprowadziły do wygenerowania konkretnej odpowiedzi, obrazu czy dźwięku, jest tym trudniejsze, im większa jest złożoność danej sieci.

¹⁵¹ F. Alizadeh, G. Stevens, M. Esau, *I Don't Know, Is AI Also Used in Airbags?: An Empirical Study of Folk Concepts and People's Expectations of Current and Future Artificial Intelligence*, „i-com” 2021, t. 20, nr 1, DOI: 10.1515/icom-2021-0009.

¹⁵² *Augmented Instruments Laboratory*, <https://instrumentslab.org/> [dostęp: 17 czerwca 2024 r.].

¹⁵³ *Intelligent Instruments Lab*, <https://iil.is> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

¹⁵⁴ *Reżyseria Dźwięku w Nowych Mediach*, 2023 r., <https://www.youtube.com/watch?v=yKYFQHB5T5M> [dostęp: 17 czerwca 2024 r.].

¹⁵⁵ D. Castelvechi, *Can we open the black box of AI?...*

Wszystkie części składowe projektu AAAA – fizyczne instrumenty, cyfrowe algorytmy, ludzcy operatorzy (czyli wykonawcy) – stanowią nieodłączne, wpływające wzajemnie na siebie elementy globalnego systemu generatywnego. Zgodnie z przywoływaną już teorią złożoności prawidłowo zaprojektowany system generatywny powinien posiadać zarówno elementy zapewniające przewidywalne, strukturotwórcze zachowania, jak i elementy randomizujące. **W przypadku AAAA czynniki fizyczny i ludzki są do pewnego stopnia nieprzewidywalne – stanowią zatem w dużej mierze źródło zdarzeń przypadkowych; zastosowane do kontroli zachowania instrumentów algorytmy muszą zatem być przejrzyste i łatwo interpretowalne, aby cały system generatywny nie popadł w zachowania chaotyczne.**

1.4.8. Sztuka generatywna, algorytmiczna i procesualna – zamiast podsumowania

Powyżej zarysowane spektrum technik i strategii, mieszczących się pod terminem sztuka generatywna, pozwala nam spojrzeć na przypadek Kompozytora B – na przykładzie opisanego we wstępie eksperymentu DJ Pierre’a – z następującej perspektywy:

- zapisane w sekwenserze TB-303 linie melodyczne stanowią element muzyki **algorytmicznej** – przy każdorazowym odtworzeniu ich struktura muzyczna pozostaje niezmienna: raz zaprogramowana, utrzymuje swoją formę aż do momentu świadomej i intencjonalnej modyfikacji;
- pozostałe elementy kontrolne syntezatora stanowią element muzyki **generatywnej** – ustawienie kombinacji kilku potencjometrów daje w przybliżeniu przewidywalne rezultaty, ich wzajemne relacje tworzą jednak sporą złożoność; analogowość parametrów – zatem brak dających się łatwo powtórzyć ustawień – uniemożliwia w praktyce stuprocentowe odtworzenie wcześniej ustawionego brzmienia, co stanowi jednak o interesującej złożoności, czyli organiczności brzmienia;
- swobodna interakcja między instrumentem a jego operatorem, reagującym kreatywnie na płynnie zmieniające się brzmienie instrumentu, jest elementem muzyki **procesu** – czynnik ludzki wprowadza element niedeterministyczny, ale intencja operatora (chęć poruszania się w określonych granicach parametrów, aby brzmienie mieściło się w subiektywnie właściwych ramach) jest do pewnego stopnia stała i przewidywalna; może jednak ulec zmianie, co wprowadza element nieprzewidywalności do całego systemu.

Przytoczone powyżej przykłady nie wyczerpują oczywiście tematu muzyki generatywnej; dotychczas proponowałem utożsamianie tej postawy twórczej ze sposobem myślenia Kompozytora B. Niemniej jednak w kolejnym podrozdziale podam przykłady Kompozytorów A stosujących również techniki generatywne, co jest kolejnym przykładem złożoności i nieuchwytności relacji między muzyką a szeroko pojętą technologią.

1.5. Kompozycja a improwizacja

Istnieje tendencja do postrzegania improwizacji i kompozycji jako odrębnych lub wręcz kontrastujących ze sobą form ekspresji muzycznej. Mimo iż przez stulecia improwizacja była istotnym elementem praktyki wykonawczej (choćby w formie realizacji zapisu basu cyfrowanego czy improwizowanych kadencji), jak wykazuje Davisson¹⁵⁶, od początku XIX w. widziana jest jako aktywność stojąca w opozycji do kompozycji, często w sensie pejoratywnym. Kulminację tego podejścia w XX w. Davisson ilustruje opiniami Ferruccia Busoniego i Arnolda Schoenberga – praktycznie równoletków, posiadających jednak kontrastujące spojrzenie na improwizację: Busoni dostrzegał wartość improwizacji jako formy aktywności muzycznej – w jego mniemaniu o jeden krok bliższej abstrakcyjnemu, wyidealizowanemu zamysłowi muzycznemu niż kompozycja. Z kolei, jak zauważa Davisson:

(...) Schoenberg ceni skonkretyzowane dzieła muzyczne – które będziemy nazywać *narrow-sense composition* (kompozycją w sensie wąskim) – wyżej niż improwizację, co odpowiada jego przekonaniu o przewadze autorytetu kompozytora nad wykonawcą. Ten pierwszy jest posiadaczem siły sprawczej i artystycznej licencji, podczas gdy ten drugi jest jedynie niewolnikiem podążającym za wolą kompozytora¹⁵⁷.

Davisson w powyższym cytacie przywołuje pojęcie *narrow-sense composition*, zasygnalizowane już we wstępie niniejszej pracy. Będzie ono – wraz z towarzyszącym mu pojęciem *broad-sense composition* – jedną z dwóch idei porządkujących niniejszy rozdział. Zanim jednak w pełni rozwinę wywód dotyczący relacji między kompozycją a improwizacją – korzystając z faktu, iż przywołałem już postać Arnolda Schoenberga – jeszcze parę słów o serializmie w kontekście zasygnalizowanym w poprzednim akapicie.

1.5.1. Serializm a muzyka generatywna

Perspektywę Schoenberga, w szczególności zaś przy postrzeganiu jej przez pryzmat twórczości kompozytora z okresu dojrzałego serializmu, dość łatwo zrozumieć – w przypadku utworów skonstruowanych na bazie tak precyzyjnie dookreślonego systemu trudno wyobrazić sobie przestrzeń dla improwizacji. Choć oczywiście sam proces komponowania nierzadko zawiera w sobie elementy improwizacji – w końcu skomponowanie konkretnego motywu następuje często spontanicznie, nie zaś wyłącznie na skutek podążania za precyzyjnie określonymi regułami. W kontekście procesu komponowania utworu dodekafonicznego – opartego każdorazowo o nowo powstały zestaw reguł w postaci serii – można jednak zadać pytanie, na ile sam Schoenberg (lub dowolny inny kompozytor stosujący serię jako punkt wyjścia) był w stanie spontanicznie tworzyć swoje utwory na bazie skonstruowanych uprzednio serii – i czy możliwe jest w ogóle przyswojenie zaprojektowanej przez siebie serii w stopniu umożliwiającym swobodną improwizację na jej bazie? Istnieją co prawda przykłady wykorzystywania inspiracji serializmem w muzyce jazzowej – choćby w twórczości muzyków takich jak

¹⁵⁶ K. Davisson, *Improvisation as a Method of Composition...*

¹⁵⁷ „(...) Schoenberg places established musical works – or what we will come to know as narrow-sense compositions – above improvisation, which parallels his belief in the authority of the composer over the performer. The former is the sole agent with artistic licence, while the latter is only slave to his wishes” (*ibidem*).

Paul Bley, Cecil Taylor czy Anthony Braxton¹⁵⁸ – a w bardziej ścisłym znaczeniu podejście to wdrożył w ostatnich latach John G. Gunther, tworząc cykl improwizowanych utworów w oparciu o serie pozyskane z *Pięciu Utworów na Fortepian, op. 23* Schoenberga. Proces ten zapewne wymagał przyswojenia sobie materiału muzycznego powyższej serii w podobny sposób, jak początkujący muzycy jazzowi przyswajają sobie skale – a więc poprzez ćwiczenie w różnych konfiguracjach i przewrotach, mających na celu właśnie *zinternalizowanie* tychże skal, co ma umożliwić swobodną, spontaniczną improwizację na ich bazie¹⁵⁹. Trudno jednak wyobrazić sobie, aby kompozytor muzyki serialnej, skonstruowawszy skalę, spędzał następnie tygodnie na opanowywaniu jej w stopniu umożliwiającym jej internalizację¹⁶⁰.

W dotychczasowym wywodzie wskazywałem Kompozytora A jako twórcę stosującego podejście arbitralne, dążącego do przeniesienia wyobrazonego w najdrobniejszych detalach utworu wprost „z głowy” do postaci dźwiękowej; Kompozytora B z kolei jako skłonnego do wchodzenia w dialog z narzędziem i materiałem, choćby reprezentowanych przez system generatywny. Kompozytor A może jednak stosować systemy generatywne do wytworzenia ściśle zanotowanej partytury – w tym przypadku sam proces twórczy może przebiegać w dialogu z narzędziem, dalszy ciąg procesu pozostaje jednak niezmienny – rolę wykonawcy (ludzkiego lub wirtualnego) pozostaje wyłączenie ściśle odtworzenie zapisu nutowego. Idąc dalej, można stwierdzić, że korzystanie z technik serialnych jest procesem generatywnym – serię można potraktować do pewnego stopnia jako algorytm, choć oczywiście sama seria nie determinuje ostatecznego kształtu struktur muzycznych – kompozytor ma możliwość wyboru, odwołując się do niej jedynie jako do narzędzia porządkującego materiał muzyczny. Współcześnie podobne podejście stosuje Johannes Kreidler, wykorzystując przy tworzeniu niektórych swoich utworów własnoręcznie zaprogramowany w środowisku *Pure Data* system generatywny COIT¹⁶¹. Na podstawie stworzonych z wykorzystaniem COIT struktur Kreidler generuje jednak partytury, realizowane docelowo w sposób ścisły przez wykonawców.

Zatem dychotomia Kompozytor A – Kompozytor B nie wyklucza w przypadku żadnego z nich wykorzystania narzędzi generatywnych – **kluczowe jest jednak to, w jaki sposób i w którym momencie aktu twórczego** (czy w zaciszu pracowni, czy też na oczach publiczności) **ów proces generatywny jest uruchamiany**.

Wracając jednak do relacji między kompozycją a improwizacją – Davisson opisuje w swojej publikacji dwie niezwykle interesujące perspektywy – jedną z nich jest koncepcja *estetyki niedoskonałości*

¹⁵⁸ J.G. Gunther, *Improvising with Tones: Connecting Jazz Improvisation and Serial Music Through Spooky Actions*, New York 2008.

¹⁵⁹ *Ibidem*.

¹⁶⁰ Tu co prawda przyjęć w sukurs może technologia – a zatem stworzenie procesu generatywnego, w którym seria będzie wyjściowym algorytmem. Sam skorzystałem z podobnej – choć nie ściśle serialnej – techniki między innymi w przypadku kompozycji *ABBBEEEIKKR* z 2013 r., jako materiał wyjściowy wykorzystując szeregi harmoniczne wyekstrahowane z litewskiej pieśni tradycyjnej *Bėk Bare Bėki*; stworzony na potrzeby pracy nad kompozycją w oprogramowaniu Reaktor *patch* umożliwił zmianę szeregu harmonicznych za pomocą jednej klawiatury midi, co „podstawiło” właściwe dla danego szeregu dźwięki pod klawisze drugiej klawiatury, umożliwiając swobodną improwizację z wykorzystaniem automatycznie podstawionych, właściwych dźwięków. Zob. K. Cybulski, *ABBBEEEIKKR*, <https://krzysztofcybulski.com/ab.php> [dostęp: 12 maja 2024 r.].

¹⁶¹ J. Kreidler, *COIT*, <http://www.kreidler-net.de/theorie/coit.htm> [dostęp: 12 maja 2024 r.].

(*aesthetic of imperfection*), drugą postrzeganie improwizacji przez pryzmat koncepcji *narrow- and broad-sense composition*.

1.5.2. Estetyka niedoskonałości

Koncepcja ta, pierwotnie zaproponowana przez Teda Gioia, zakłada, iż nieodłącznym elementem improwizowanych działań twórczych są błędy i niedoskonałości, ale ich istnienie należy traktować jako nieodłączny skutek uboczny spontanicznego procesu kreatywnego, będącego sensem i największą wartością improwizacji jako takiej:

(...) „estetyka niedoskonałości” (...) przyjmuje improwizację jako swój paradygmat, w przeciwieństwie do „estetyki doskonałości”, której punktem odniesienia jest skomponowany utwór. Rezultatem spojrzenia przez pryzmat estetyki niedoskonałości Gioia jest stwierdzenie, iż prawdziwa spontaniczność jest nierozdzielnie związana z elementem ryzyka, które nieuchronnie wprowadza błędy do procesu improwizacji¹⁶².

Istotne jest również spostrzeżenie samego Gioia, iż „(...) gotowy produkt będzie zawierał momenty rzadko spotykanego piękna, przeplatające się z technicznymi błędami i bezcelowymi pasażami”¹⁶³.

Spostrzeżenie to potwierdza chociażby obserwacja Joe Zawinula, dotycząca działalności koncertowej jego zespołu Weather Report, opartej w pierwszych latach istnienia grupy w dużej mierze na zespołowej improwizacji:

Nie byłem szczególnie zachwycony żadnym z dwóch pierwszych składów zespołu. Jednego wieczora graliśmy jak najlepsi muzycy na świecie, kolejnego nie mogliśmy oderwać się od ziemi. Wiele wieczorów było niesamowitych, ale jeśli nie udawało się wytworzyć magii, była to katastrofa¹⁶⁴.

Ryzyko niepowodzenia jest zatem nieodłącznym elementem improwizacji:

Należy podkreślić, że ryzyko ma fundamentalne znaczenie dla estetyki improwizacji i – zgodnie z poglądem Gioia – błędy, które wkradają się w improwizację, są nieuniknionym elementem tej estetyki. Ryzyko jest również obecne w procesie komponowania, ma jednak inny charakter ze względu na fakt, iż proces ów odbywa się poza czasem rzeczywistym, a ryzyko nie jest postrzegane jako jego pozytywny element¹⁶⁵.

Ryzyko i niepewność towarzyszące improwizacji leżą zapewne u źródła postawy, będącej punktem wyjścia niniejszego podrozdziału – postawy, w której kompozycja ceniona jest wyżej niż improwizacja. Sam bowiem proces komponowania – czyli redagowania i porządkowania myśli muzycznej – jest

¹⁶² „(...) the ‘aesthetic of imperfection’, (...) takes improvisation as its paradigm, and the opposing ‘aesthetic of perfection’ is exemplified by the composed work. Gioia’s aesthetic of imperfection states that true spontaneity is inextricable from an element of risk, which inevitably introduces error into the improvisation” (K. Davison, *Improvisation as a Method of Composition...*).

¹⁶³ „(...) the finished product will show moments of rare beauty intermixed with technical mistakes and aimless passages” (T. Gioia, *The imperfect art: reflections on jazz and modern culture*, Oxford 1988, s. 66, [za:] *ibidem*).

¹⁶⁴ „I was not superbly happy with either one of these [1971–1972] bands. One night we played like the best musicians in the world and other nights we couldn’t get off the ground. Many nights it was incredible, but if the magic wasn’t on it was a catastrophe” (C. Silvert, *Joe Zawinul: Wayfaring Genius – Part II*, „Down Beat” 1978, s. 20–22, 52–53, 56, 58, [za:] *Sweetnighter*, <https://www.weatherreportdiscography.org/sweetnighter/> [dostęp: 13 maja 2024 r.]).

¹⁶⁵ „It is crucial to note that risk is fundamental to the aesthetic of improvisation and, in line with Gioia’s view, the errors that creep into such improvisations are part of this aesthetic and not to be shied away from. Risk is also present in composition, but it is of a different nature due to it taking place outside of ‘real time’ and is not considered a positive component of the practice” (K. Davison, *Improvisation as a Method of Composition...*).

w gruncie rzeczy taktyką okiełznania nieprzewidywalności procesu kreatywnego oraz redukcji ryzyka i niepewności.

Postrzegając improwizację szerzej – jako jeden z przejawów spontanicznej kreatywności – można odnaleźć niechęć do niepewności i ryzyka jako jeden z motywów przewodnich w badaniach dotyczących kreatywności jako takiej: Csíkszentmihályi we wstępie do dzieła zebranych przywołuje obserwacje dokonane we wczesnych latach badań nad kreatywnością:

Jacob Getzels (...) i Philip Jackson przeprowadzili badania, w których porównywali uczniów o wysokim poziomie inteligencji i kreatywności (...) z dziećmi równie inteligentnymi, ale o niskim poziomie kreatywności. Pierwsza grupa była pod wieloma względami bardziej interesująca i obiecująca, jednak ta druga była preferowana i zdecydowanie wyżej ceniona przez nauczycieli¹⁶⁶.

Mająca zapewne korzenie w potrzebie redukcji niepewności i ryzyka, opisana powyżej postawa nauczycieli znajduje również odbicie we współczesnych badaniach nad kreatywnością prowadzonych na Cornell University, choćby w artykule zatytułowanym znanym imiennem *The Bias Against Creativity: Why People Desire But Reject Creative Ideas*:

(...) ludzie mogą odczuwać uprzedzenia wobec kreatywności (...), które aktywują się pod wpływem motywacji do zredukowania uczucia niepewności¹⁶⁷.

Jako odbiorcy muzyki improwizowanej doświadczamy procesu kreatywnego w czystej postaci – jesteśmy zatem świadkami zarówno jej jasnych, jak i ciemnych stron. To samo tyczy się wszelkich działań eksperymentalnych czy badań podstawowych, zarówno z obszaru sztuki, jak i nauki – badacz czy twórca, kierując się przeczuciem, szuka sposobów na jego potwierdzenie; po drodze napotyka jednak na ślepe uliczki, a tylko nieliczne z odnóg prowadzą do faktycznych odkryć czy satysfakcjonujących rezultatów. Zarówno jednak w przypadku improwizacji, jak i innych eksperymentalnych działań twórczych czy badawczych ów żmudny proces bywa często jedyną drogą do uzyskania wspomnianych rezultatów i odkryć, czy też zaskakujących zjawisk estetycznych (jak chociażby w przypadku wspomnianego *acid house*).

Z opisanych powyżej względów **twórcy poszukują sposobów na wykorzystanie najlepszych cech improwizacji – występujących rzadko i w sposób nieprzewidywalny momentów inspiracji i przejawów spontanicznej kreatywności – przy jednoczesnym zminimalizowaniu nieodłącznie towarzyszących jej cech niepożądanych – ryzyka i niepewności**. W dalszej części pracy dokonam przeglądu stosowanych w tym celu taktyk. Co istotne dla dzieła będącego przedmiotem niniejszej pracy,

¹⁶⁶ „Jacob Getzels (...) and his colleague Philip Jackson reported research where they compared students high in intelligence and high in creativity (...), with children equally high in intelligence but low on creativity. The first group was in many respects more interesting and more promising than the second, yet the latter was preferred and esteemed much more by teachers” (M. Csíkszentmihályi, *The Systems Model of Creativity: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*, Dordrecht 2014, s. XVIII).

¹⁶⁷ „(...) people can hold a bias against creativity (...) which is activated when people experience a motivation to reduce uncertainty” (J.S. Mueller, S. Melwani, J.A. Goncalo, *The Bias Against Creativity: Why People Desire But Reject Creative Ideas*, „Psychological Science” 2010, t. 23, nr 1, <https://hdl.handle.net/1813/74949> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.]).

wykorzystanie technik generatywnych w projekcie AAAA jest również próbą zredukowania opisanych wyżej niepożądanych czynników.

1.5.3. Kompozycja, improwizacja, psychologia

Z perspektywy wykonawcy różnice pomiędzy wykonywaniem utworów na podstawie zapisu nutowego a spontanicznym ich tworzeniem w toku improwizacji widoczne są nawet na poziomie neurofizjologicznym – obu tym czynnościom towarzyszy aktywność innych obszarów mózgu, a więc i inny stan emocjonalny czy percepcja rzeczywistości przez wykonawcę.

Przy odczycie zapisu nutowego wyraźnie aktywują się obszary mózgu odpowiedzialne zarówno za kategoryzację symboli graficznych (których aktywność towarzyszy również odczytowi standardowego pisma), jak i za percepcję obiektów w przestrzeni, co może mieć związek ze swoistą cechą zapisu nutowego – znaczenie ma nie tylko sam kształt symbolu, ale i jego relacja do punktu odniesienia, czyli pięciolinii¹⁶⁸. W przypadku improwizacji natomiast daje się zaobserwować aktywność obszarów odpowiedzialnych między innymi za myślenie dywergencyjne¹⁶⁹ i immersję¹⁷⁰. Co jednak szczególnie istotne, spada aktywność obszarów odpowiedzialnych za kontrolę poznawczą, czyli obserwację, regulację i monitoring, umożliwiających ewaluację i modyfikację własnych działań¹⁷¹. Ów stan braku samoświadomości (w znaczeniu krytycznej obserwacji efektów własnych działań) jest charakterystyczny dla procesu improwizacji, jak również dla stanu *flow*.

Jak wspomniałem w podrozdziale dotyczącym stanu *flow*, szczególna forma interakcji, zachodząca podczas spontanicznej improwizacji grupowej, okazała się użyteczną platformą do badań nad stanem *grupowego flow*, trudnym do uchwycenia w innych warunkach. Badający to zjawisko Hart i Di Blasi wykazują interesujący konflikt między aktywnością części zadaniowopoztywnej i zadaniownegatywnej mózgu – ta pierwsza uaktywnia się podczas improwizacji, umożliwiając pełne „zanurzenie się” w wykonywanej czynności; z drugiej jednak strony, aspekt społeczny improwizacji grupowej (szczególnie w przypadku spontanicznych *jam sessions* z udziałem nieznanących się wzajemnie muzyków), a zatem konieczność odnalezienia swojej roli w powstałej *ad hoc* grupie, wymaga aktywacji drugiego z wymienionych obszarów mózgu, odpowiedzialnego między innymi za świadomą korektę własnych działań w oparciu o informacje zwrotne płynące z zewnątrz. Hart i Di Blasi wyszczególniają zresztą pięć etapów mogących zachodzić w opisywanych, szczególnych warunkach – każdy z tych etapów charakteryzują inne proporcje powyższych aktywności mózgu, a więc i sposobu przeżywania rzeczywistości, przy czym właściwy stan *flow* może występować tylko w etapie środkowym¹⁷².

¹⁶⁸ K. Czernecka, *Korelaty mózgowie wykonawstwa muzycznego*, [w:] *Psychologia muzyki*, Warszawa 2020.

¹⁶⁹ M.A. Runco, S. Acar, *Divergent Thinking*, [w:] J.C. Kaufman, R.J. Sternberg (red.), *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge 2019.

¹⁷⁰ C. Limb, A. Braun, *Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation*, „PloS one” 2008, t. 3, DOI: 10.1371/journal.pone.0001679.

¹⁷¹ K. Czernecka, *Korelaty mózgowie wykonawstwa muzycznego...*

¹⁷² E. Hart, Z. Di Blasi, *Combined flow in musical jam sessions...*

Można pokusić się o stwierdzenie, że jednym z czynników odróżniającym kompozycję od improwizacji jest stan *flow*, który improwizacji nierzadko towarzyszy. Oczywiście – jak już sygnalizowałem – proces komponowania zawiera w sobie elementy improwizacji – towarzyszy mu jednak nieodłącznie element autokorekty czy zgoła autocenzury – poprawianie czy modyfikowanie na bieżąco powstających spontanicznie fraz czy motywów. W toku improwizacji taka możliwość nie istnieje – to, co zostało wyimprowizowane, wybrzmiewa w eterze (czy w sali koncertowej w obliczu publiczności) i nie podlega korekcie, ale natychmiast staje się przeszłością, a improwizator może wpływać jedynie na moment teraźniejszy. Można zatem przeformułować popularne stwierdzenie „improwizacja to kompozycja czasu rzeczywistego” na „**kompozycja to improwizacja czasu nierzeczywistego**” – komponując, improwizujemy co prawda, ale właśnie owa samoświadomość, wyrażająca się w ciągłym ocenianiu i korygowaniu fragmentów powstającej spontanicznie muzyki, może utrudniać osiągnięcie stanu *flow*. Davisson czyni podobne spostrzeżenie:

Obok wcześniejszego stwierdzenia, że „nie istnieje muzyka, która w jakimś sensie nie byłaby skomponowana”, można postawić inne, równie prawdziwe stwierdzenie: nie ma muzyki (stworzonej przez człowieka), która w pewnym sensie nie byłaby improwizowana. Jeśli bowiem improwizacja jest kompozycją w sensie szerokim i odbywającym się równocześnie wykonaniem, jak wobec tego można komponować bez improwizacji¹⁷³?

Z perspektywy *flow* szczególnie interesującym przypadkiem jest twórczość Richarda Barretta, kompozytora zaliczanego do nurtu *new complexity* – opisywanego wcześniej na przykładzie twórczości Briana Ferneyhough nurtu, będącego swoistą antytezą improwizacji – stosującego niezwykle szczegółowy i skomplikowany zapis graficzny, stawiający przed wykonawcami niebagatelne wymagania. Wspominana kompozycja *Time and Motion Study II* Ferneyhough zdaje się celowo zaprojektowana w sposób uniemożliwiający wykonawcy uzyskanie stanu *flow*. Richard Barrett jednakże od improwizacji nie stroni, a szczególne miejsce w jego dorobku zajmują utwory łączące w sobie fragmenty o ścisłym zapisie z fragmentami improwizowanymi, takie jak *Construction* czy *Codex XII*¹⁷⁴. Być może celem zestawienia w jednym utworze dwóch tak różnych form ekspresji wykonawczej jest właśnie ich zderzenie – nawiązując wszak do proponowanego przeze mnie podziału postaw twórczych, można pokusić się o stwierdzenie, iż Barrett (biorący nierzadko czynny udział w wykonaniach swoich kompozycji) w przypadku powyższych utworów występuje na przemian w roli Kompozytora A i Kompozytora B.

1.5.4. Improwizacja jako kompozycja w sensie wąskim i szerokim

Davisson opisuje zasygnalizowane wcześniej postrzeżenie kompozycji w sensie wąskim i szerokim w następujący sposób:

(...) najświeższe badania ujawniają bardziej zniuansowaną relację między kompozycją a improwizacją, w której kompozycja może być postrzegana na dwa sposoby: jako kompozycja w sensie wąskim

¹⁷³ „Alongside the earlier claim that ‘there is no music that has not, in some sense, been composed’ sits an equally true claim: there is no (man-made) music that has not, in some sense, been improvised. If improvisation is simultaneous broad-sense composition and performance, how does one compose without improvising?” (K. Davisson, *Improvisation as a Method of Composition...*).

¹⁷⁴ R. Barrett, *Ensemble compositions*, <https://richardbarrettmusic.com/scores2ensemble.html> [dostęp: 13 maja 2024 r.].

i szerokim. Kompozycja w sensie wąskim odnosi się do muzycznych „dzieł”, (...) tworzonych najczęściej przy biurku – mających postać zapisu [nutowego]. (...) Kompozycja w sensie szerokim obejmuje proces łączenia elementów muzycznych w satysfakcjonującą pod względem estetycznym formę. W tym szerokim ujęciu kompozycja obejmuje między innymi efekty improwizacji oraz utwory generowane przez sztuczną inteligencję¹⁷⁵.

Podejścia te odpowiadają w dużej mierze postawom kompozytorów A i B, a kompozycja w sensie szerokim (*broad-sense composition*) staje się użytecznym terminem na opisanie wszelkich praktyk *niepartyturowych*, w tym kompozycji algorytmicznej, generatywnej i procesualnej czy wreszcie improwizacji. Jak jednak twierdzi dalej Davisson, w określonych warunkach improwizacja może również spełniać kryteria kompozycji w sensie wąskim:

(...) improwizacja może być również metodą kompozycji w sensie wąskim. Stwierdzenie to może budzić pewne kontrowersje. (...) W tym ujęciu proces kompozycji nie zachodzi w momencie tworzenia muzyki, który jest jedynie początkiem procesu kompozycji. Improwizacja może jednak stać się kompozycją w sensie wąskim – czy też „dziełem” – dopiero poprzez utrwalenie w formie nagrania czy zapisu nutowego, a następnie poddanie analizie – innymi słowy: dopiero wówczas, gdy zostanie potraktowana w ten sam sposób, w jaki traktuje się dzieła spełniające kryteria kompozycji w tradycyjnym, wąskim sensie¹⁷⁶.

Spróbujmy zacząć od drugiego z opisywanych przypadków – czyli **improwizacji jako kompozycji w znaczeniu wąskim** – opisując to podejście w oparciu o konkretny przykład, w którym po raz kolejny technologia stała się katalizatorem nowej strategii twórczej (kolejne przykłady będą dotyczyć zagadnienia improwizacji jako kompozycji w coraz szerszym znaczeniu).

W opisywanym przypadku – którym jest utwór *Nubian Sundance* zespołu Weather Report z 1974 r. – fonografia, a konkretnie powszechna już wówczas dostępność sprzętu do rejestracji dźwięku, umożliwiła Joe Zawinulowi zarejestrowanie zaimprovizowanego w warunkach domowych utworu, na podstawie którego Zawinul sporządził następnie tradycyjną partyturę. Kompozycja ujrzała światło dzienne już w wersji zagranej przez Weather Report w oparciu zapis nutowy. Ciekawym zwieńczeniem tego procesu jest fakt, iż wiele lat później (w 2008 r.) – prawdopodobnie na podstawie tej zapośredniczonej, studyjnej wersji – powstała kolejna partytura, stworzona na potrzeby Metropole Orkest i wykonana na żywo podczas North Sea Jazz Festival¹⁷⁷.

Nubian Sundance jest przykładem praktycznej realizacji opisywanej przez Davisson sytuacji, w której to swobodna improwizacja przeradza się w ściśle zapisany utwór orkiestrowy. Znacznie częściej sytuacja „improwizacji jako kompozycji w sensie wąskim” przybiera formę „utworu na taśmę” – czyli po prostu

¹⁷⁵ „(...) recent scholarship has sought to expose the reality of a more nuanced relationship between composition and improvisation, in which composition has two senses: narrow and broad. The former involves musical ‘works’, (...) which are most frequently desk-produced and notated. (...) The latter is broader and involves combining musical elements in an aesthetically rewarding form. Composition in such a broad guise includes the products of improvisation and AI-generated composition, among others” (K. Davisson, *Improvisation as a Method of Composition...*).

¹⁷⁶ „(...) improvisation can also be a method of narrow-sense composition. This claim is more controversial. (...) Composition in this sense does not take place at the time of the music’s creation – this is merely the start of the compositional process. Instead, improvisations can become narrow-sense compositions or ‘works’ when they are solidified through recording and notation, and are subsequently analyzed – namely, they are treated as compositions in the traditional narrow sense” (*ibidem*).

¹⁷⁷ *The Metropole Orkest conducted by Vince Mendoza „A Tribute to Joe Zawinul”*, NN North Sea Jazz Festival, <http://www.northseajazz.com/nl/programma/2008/vrijdag-11-juli/6450-the-metropole-orkest-conducted-by-vince-mendoza/> [dostęp: 13 maja 2024 r.].

fonograficznej wersji utworu, powstałej na podstawie zarejestrowanej improwizacji, poddanej następnie edycji i innym zabiegom studyjnym, mającym na celu nadanie utworowi uporządkowanej struktury.

Charakterystycznym przykładem, a jednocześnie jedną z pierwszych praktycznych realizacji takiego podejścia, stanowi płyta *Bitches Brew* Milesa Davisa, a w szczególności utwór tytułowy oraz *Pharaoh's Dance*. Punktem wyjścia dla obu utworów był co prawda mniej lub bardziej ścisty zapis nutowy, jednak jądro obu ponad dwudziestominutowych kompozycji stanowią fragmenty grupowej improwizacji; Davis w ścisłej współpracy z producentem Teo Macero uwypuklił jednak niektóre fragmenty – interesujące, wyimprowizowane motywy melodyczne poprzez zabiegi edycyjne poddane są repetycji czy zapętleniu, mniej interesujące fragmenty czy „dłużyzny” zostały wycięte.

Szczególny przypadek takiego podejścia stanowi utwór *SHHH / Peaceful* z wcześniejszej płyty Davisa, *In a Silent Way*. Porównanie płytowej wersji utworu z oryginalnymi, niepoddanymi edycji *take'ami*¹⁷⁸ ujawnia zastosowanie dość radykalnego zabiegu. Kompozycja w wersji oryginalnej – zapisanej w postaci partytury – posiadała konkretną, dość złożoną formę, z wyraźnym melodycznym tematem oraz rozpisanymi partiami dla sekcji rytmicznej. W wersji docelowej Davis i Macero pozbawili nagranie jakichkolwiek elementów wyjściowej kompozycji (z wyjątkiem jednego, czteronutowego fragmentu w okolicach 10'43"), pozostawiając jako esencję utworu długi *jam session*, oparty na akordzie D7 i ostinacie kontrabasów oraz *hi-hatu*. Struktura formalna docelowej wersji utworu wytworzona jest niejako sztucznie – funkcję tematu pełni wyodrębniona w procesie edycji i postprodukcji solowa partia trąbki Davisa, umieszczona na początku i na końcu utworu.

Część albumów z „elektrycznego okresu” działalności Milesa Davisa, czyli lat 1968–1975, opatrzona była nagłówkiem „Directions in music by Miles Davis”. Frazę tę można rozumieć dwojako – przede wszystkim Davis, niebezpiecznie zresztą, uważał się za jednego z najważniejszych przedstawicieli ówczesnej jazzowej awangardy, wytyczającego kierunki, w jakich muzyka ta będzie podążać w przyszłości¹⁷⁹. Można jednak również doszukiwać się powinowactwa między słowami „directions” a „director” w znaczeniu „reżyser” – a taką rolę *de facto* odgrywał Davis w opisywanym powyżej procesie tworzenia muzyki – nieco podobnie jak wspomniany Orson Welles stwarzał wykonawcom warunki swobodnej ekspresji, licząc na wystąpienie owych *divine accidents*, które następnie wychwytywał z nagrań i edytował w formy utworów (co można uznać za ekwiwalent montażu filmowego).

Z podobną taktyką „wynoszenia muzyki powstałej w toku improwizacji do rangi kompozycji” można spotkać się również w kontekście muzyki rockowej i popowej – przykładem niech będzie chociażby utwór *The Mincer* King Crimson, stworzony na bazie kilkunastuminutowego wycinka zarejestrowanej podczas koncertu improwizacji, do której następnie dokończono partię wokalną, dograną *post factum* w studiu. Przykładem podobnej taktyki jest płyta *Remain in Light* Talking Heads, której utwory oparte są o struktury wyimprowizowane w toku studyjnych *jam sessions*.

¹⁷⁸ Opublikowanymi ponad 30 lat po oryginalnej wersji na wydawnictwie *The Complete In a Silent Way Sessions*.

¹⁷⁹ Nie był on zresztą pierwszym jazzmanem ogłaszającym za pośrednictwem okładek płytowych swoją domniemaną profetyczną rolę w wytyczaniu kierunków rozwoju jazzu – wypada przywołać chociażby Ornette'a Colemana i jego album zatytułowany *The Shape of Jazz to Come* z 1959 r.

Opisywane powyżej przykłady dotyczą głównie improwizacji jazzowej, która – jak już sygnalizowałem przy okazji podrozdziału dotyczącego muzyki procesu – przebiega z reguły w oparciu o mniej lub bardziej ściśle zanotowaną wyjściową kompozycję. Przy przyjęciu zaproponowanej przeze mnie wcześniej definicji muzyki procesu (muzyki opartej o luźno zdefiniowany zestaw reguł realizowanych swobodnie przez *ludzkich wykonawców*), można uznać, że improwizacja na bazie *lead sheet* wypełnia jej znamiona. Dodatkowym elementem realizacji wykonań standardów jazzowych może być *head arrangement* – ustalenie kluczowych elementów formalnych wykonywanego utworu w formie słownej, bez faktycznej aranżacji w formie zapisu nutowego. Istnieją oczywiście swobodniejsze podejścia do improwizacji jazzowej – od utworów opartych na luźno zdefiniowanych zestawach reguł (na przykład *Spanish Key* Davisa), przez free jazz (czasem również z luźno zaplanowaną strukturą, czego przykładem mogą być *fanfary* rozdzielające partie solowe w utworze *Free Jazz* Ornette’a Colemana, czasami zupełnie bez niej), aż po swobodną improwizację nieodnoszącą się w jednoznaczny sposób ani do jazzu, ani do żadnej innej konkretnej stylistyki – *free impro*.

Opisane powyżej strategie nadawania muzyce improwizowanej struktury i ram można podzielić na dwie kategorie:

- *post-factum* – edycja lub spisywanie do postaci nutowej zarejestrowanych improwizacji;
- „*pre-factum*” – improwizacja w oparciu o punkt wyjścia w postaci luźnego zapisu, zestawu reguł czy *head arrangement*.

Oczywiście istnieją również sposoby na to, aby swobodną improwizację porządkować i strukturyzować w trakcie jej trwania. Powszechnym zjawiskiem, występującym szczególnie w przypadku grup muzyków grających ze sobą regularnie, jest strukturotwórcze wykorzystywanie nieformalnej relacji czy komunikacji między muzykami, wynikającej wprost z wieloletniej praktyki wspólnego grania (gdy na przykład porozumiewawcze spojrzenia pozwalają na ustrukturyzowanie czy wywołanie określonej reakcji u współimprowizatorów, a znajomość nawyków i tendencji umożliwia antycypację tego, co współwykonawca zagra). Niemniej jednak w przypadku improwizacji grupowej *per se*, w której nic nie jest z góry ustalone, istnieją również całkiem skuteczne rozwiązania na to, aby improwizację tę ustrukturyzować, choćby w postaci *systemów dyrygowania improwizacją* – najbardziej znane to *Conduction* Lawrence’a Butcha Morrisa¹⁸⁰, *Soundpainting* Waltera Thompsona oraz rozwiązania stosowane przez Johna Zorna¹⁸¹.

W przypadku powyższych systemów z reguły nie mamy do czynienia z zaplanowaną z góry strukturą utworu, realizowaną następnie przez wykonawców, a raczej ze spontanicznym procesem kreatywnym, którego dyrygent jest częścią – reagując *ad hoc* na przebieg utworu, próbując wychwytywać i uwypuklać interesujące wątki muzyczne. Umowne symbole i gesty cechuje siłą rzeczy pewien poziom ogólności i podatności na interpretację. W toku dyrygowanej improwizacji między sugestiami dyrygenta

¹⁸⁰ B. Long, *Morris, Butch [Lawrence (Douglas)]*, t. 1, Oxford 2013.

¹⁸¹ N.P.A. Larsen, *Conducted improvisation. A study of the effect of the concept of signs on musical creativity*, Malmö 2015.

a muzycznymi odpowiedziami wykonawców powstaje rodzaj sprężenia zwrotnego, a sam proces charakteryzuje ciągłe zaskakiwanie i inspirowanie się nawzajem.

Granica między dyrygowanym *free impro* a luźno ustrukturyzowanymi utworami zaliczanymi do obszaru muzyki współczesnej jest płynna, a same utwory znajdujące się na pograniczu tych praktyk bazują na różnych kombinacjach swobodnej improwizacji, notacji (ściślej i graficznej) oraz różnych formach dyrygowania czy kierowania spontanicznych procesów grupowych. Spośród twórców działających na styku tych obszarów wypada wymienić choćby takich artystów, jak Anthony Braxton czy Tyshawn Sorey.

Rozdział 2. Projekt AAAA na tle aktualnego stanu badań

Podstawowe założenia projektu AAAA, będącego przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej, zostały wstępnie zarysowane w abstrakcie. Poniżej przedstawię je bardziej szczegółowo, w formie tez badawczych przyjętych przeze mnie podczas prac nad przedsięwzięciem.

2.1. Tezy badawcze

Projekt AAAA zakłada stworzenie systemu generatywnego, składającego się z trzech hybrydowych akustyczno-cyfrowych instrumentów. Wysokość granych na nich dźwięków ma podlegać kontroli za pośrednictwem oprogramowania wykorzystującego serię algorytmów o różnym stopniu ingerencji w akcje wykonawców. Pozostałe parametry dźwięku – barwa, dynamika, artykulacja i rytm – pozostają pod pełną kontrolą wykonawców.

Jednym z celów projektu jest badanie granic między improwizacją a kompozycją, łączące poszukiwanie minimalnej liczby czynników konstytuujących kompozycję z działaniami z obszaru sztuki generatywnej. Powstałe instrumenty mają prowokować wykonawców do wyboru określonych dźwięków lub w dynamiczny sposób zawężać wybór nut do określonych skal, co stanowi niejako ekwiwalent zapisu aleatorycznego. Składający się z instrumentów, zestawu algorytmów oraz improwizujących wykonawców system generatywny ma wykorzystywać spontaniczne zachowania muzyków jako jeden z czynników randomizujących. Stworzenie nowych instrumentów, prócz chęci uzyskania nowego brzmienia, ma zatem na celu również prowokowanie wykonawców do określonych działań muzycznych, sugerowanie określonych rozwiązań, a ucyfrowienie instrumentów ma umożliwić płynną zmianę ich oddziaływania na zachowanie improwizatorów.

Projekt zakłada mój czynny udział jako wykonawcy wykorzystującego jeden z nowo zbudowanych instrumentów.

Problemy i hipotezy badawcze

- Wpływ na zachowanie improwizujących wykonawców poprzez stopniowe przesuwanie granic pomiędzy pełną kontrolą a brakiem kontroli nad wysokością granych dźwięków.
- Wpływ sprzężenia zwrotnego między instrumentami na kształtowanie generatywnej kompozycji w czasie rzeczywistym.
- Poszukiwanie nowych metod integracji dźwięku akustycznego z technologią cyfrową.
- Badanie granicy między improwizacją i kompozycją poprzez różne stopnie interwencji cyfrowej w zachowanie instrumentów, pośrednio wpływające na sposób gry wykonawców.

- Badanie złożonego sprzężenia zwrotnego z wykorzystaniem instrumentów „nasłuchujących” dźwięków otoczenia, a więc reagujących na dźwięki sąsiednich instrumentów.
- Praktyczna weryfikacja teoretycznych założeń konstrukcyjno-akustycznych poprzez zbudowanie nowych instrumentów muzycznych.

Indywidualne tezy badawcze dla każdego z instrumentów

Autoviola:

- wykorzystanie cyfrowo kontrolowanych mechanizmów do selektywnego tłumienia dwunastu nastrojonych chromatycznie strun, co ma umożliwić pełną kontrolę nad granymi wielodźwiękami;
- cyfrowa kontrola mechanizmów tłumiących ma umożliwić zastosowanie cyfrowych augmentacji, takich jak automatyczne tworzenie akordów czy zdalne sterowanie współbrzmieniami na podstawie algorytmów;
- instrument ma umożliwiać grę *arco*;
- konstrukcja pudła rezonansowego ma wykorzystywać pływającą płytę wierzchnią z drewna balsa.

Aeromembranophone:

- instrument perkusyjny o określonej wysokości dźwięku, stanowiący pełnoprawny element kontrolowanego algorytmami systemu generatywnego, wykorzystujący zasadę działania aerofonu perkusyjnego znanego powszechnie jako „tubafon”;
- zmiana wysokości dźwięku zrealizowana na wzór instrumentów dętych drewnianych poprzez zmianę długości słupa powietrza za pomocą cyfrowo kontrolowanych, zmechanizowanych klap;
- cyfrowa kontrola wysokości dźwięku ma umożliwić zastosowanie cyfrowych rozszerzeń w celu wykorzystania instrumentu jako jednego z elementów systemu generatywnego.

Post-Digital Sax:

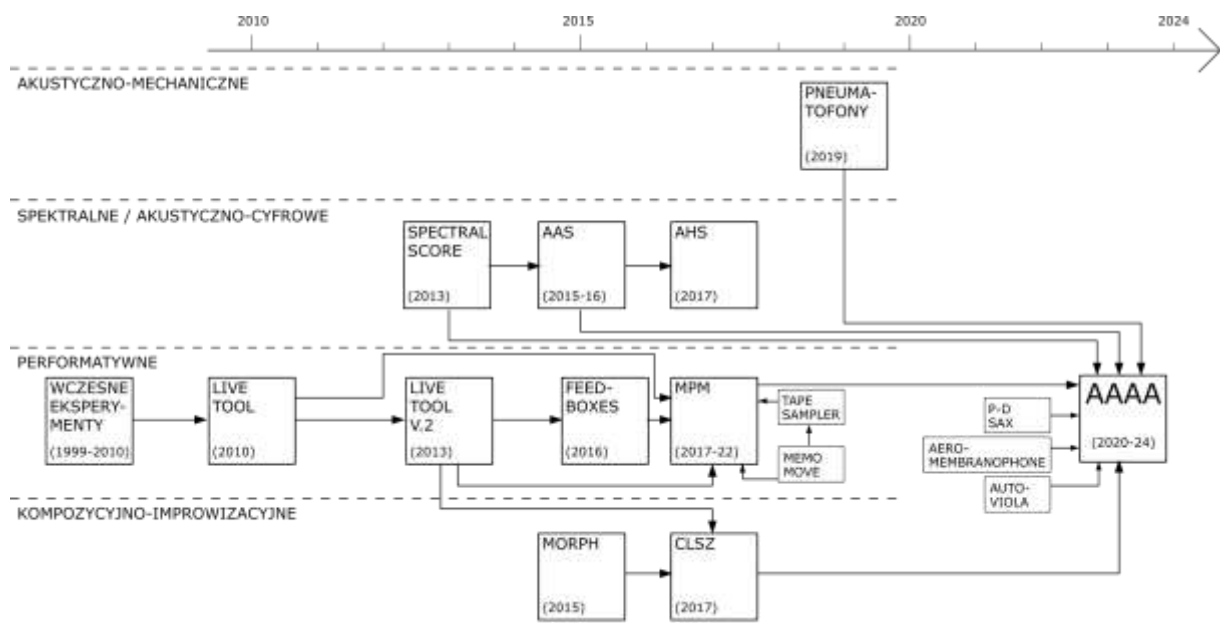
- częstotliwość drgań stroika jest narzucona przez zmienne pole elektromagnetyczne, emitowane przez zamontowany w ustniku elektromagnes;
- dynamika i barwa dźwięku ma być zależna od zadęcia – ilości wdmuchiwanego powietrza, tłumienia drgań stroika wargami – oraz od kształtu i rozmiarów korpusu stanowiącego tubę akustyczną;
- możliwość cyfrowej kontroli częstotliwości prądu zmiennego zasilającego poruszający elektromagnesem stroik ma umożliwić zastosowanie szerokiego wachlarza cyfrowych interwencji w materiał muzyczny oraz kontrolę wysokości granych dźwięków za pomocą algorytmów.

Przyjęte metody badawcze

- Budowa prototypów eksperymentalnych instrumentów muzycznych.
- Praca nad oprogramowaniem umożliwiającym uzyskanie sprzężenia zwrotnego pomiędzy instrumentami.
- Próby i konsultacje z muzykami, weryfikujące efektywność powyższych działań.
- Publiczna prezentacja powstałego dzieła.
- Przeprowadzenie ankiety wśród publiczności jednego z publicznych wykonań.
- Analiza powstałych z wykorzystaniem instrumentów improwizowanych nagrań.
- Wywiady z wykonawcami.

2.2. Projekt AAAA na tle mojej dotychczasowej twórczości

Opisywany w niniejszej dysertacji projekt nie jest pierwszym w moim dotychczasowym dorobku, w którym zbudowane własnoręcznie instrumenty grają kluczową rolę, choć tym razem odważyłem się podejść do tego zagadnienia bardziej niż dotychczas radykalnie. Niemniej jednak wcześniejsze prace eksplorowały wiele zagadnień, które stały się punktem wyjścia dla projektu AAAA.



Ilustracja 3. Wybrane dotychczasowe projekty własne oraz powiązania między nimi

W mojej dotychczasowej twórczości z obszaru łączącego muzykę z technologią zrealizowałem instalacje, instrumenty i przedsięwzięcia, które można by zaliczyć do trzech kategorii:

1. Cyfrowo kontrolowane instrumenty i obiekty akustyczne – do kategorii tej można zaliczyć takie prace, jak Acoustic Additive Synthesizer (2015–2016)¹⁸² i Acoustic Harmonic

¹⁸² K. Cybulski, *Acoustic Additive Synthesizer*, <https://krzysztofcybulski.com/aas.php> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

Synthesizer (2017)¹⁸³; obie prace wykorzystują analizę fourierowską do przeprowadzenia akustycznej resyntezy dźwięku; podobną technikę – tym razem jednak z towarzyszeniem żywych wykonawców, grających na standardowych instrumentach akustycznych w oparciu o generowaną w czasie rzeczywistym quasi-partyturę – zastosowałem w projekcie Spectral Score (2013)¹⁸⁴.

2. Obiekty i instrumenty performatywne – do kategorii tej należą prace poszukujące nowych form interakcji między improwizującym wykonawcą a instrumentami elektronicznymi; będą to LIVE TOOL (2010–2013), Feedboxes (2016)¹⁸⁵ oraz liczne instrumenty i urządzenia wchodzące w skład projektu Modular Process Music (2017–2022)^{186,187} – między innymi MEMO/MOVE (2018)¹⁸⁸ i Tape Sampler (2019)¹⁸⁹.
3. Rozwiązania facylitujące interakcję między wykonawcami, mające na celu stworzenie semigeneratywnego systemu kompozycyjnego – do kategorii tej można zaliczyć takie prace, jak Spectral Score (2013), MORPH (2015)¹⁹⁰ i CLSZ (2017)¹⁹¹.

Projekt AAAA jest próbą syntezy opisanych kategorii w jednym przedsięwzięciu, łącząc zagadnienia cyfrowo kontrolowanych akustycznych źródeł dźwięku, narzędzi performatywnych oraz generatywnych systemów facylitujących proces grupowej improwizacji.

2.3. Zarys stanu badań z zakresu instrumentów hybrydowych i usytuowanie projektu AAAA w ich kontekście

Zawarty w rozdziale pierwszym obszerny opis perspektyw istotnych dla przedmiotu niniejszej rozprawy nie wyczerpuje oczywiście ich listy – z pewnością zaś pomija jeszcze przynajmniej jeden istotny kontekst, a mianowicie zagadnienie mechanicznych, robotycznych czy też mechatronicznych instrumentów muzycznych. Temat ten, podobnie jak wszystkie dotychczas poruszone, jest również bardzo szeroki. Instrumenty muzyczne z komponentami robotycznymi czy też, znacznie wcześniej – mechanicznymi, mają historię sięgającą kilkunastu dekad. Niemniej jednak szczególny rozkwit instrumentów łączących akustyczne generowanie dźwięku z owocami współczesnej technologii nastąpił na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, głównie ze względu na upowszechnienie się przystępnych narzędzi cyfrowych, takich jak przeznaczone dla artystów środowiska programowania Processing, Pure Data czy Max/Msp, oraz łatwych w użyciu i programowaniu mikrokontrolerów (Arduino,

¹⁸³ *Idem*, *Acoustic Harmonic Synthesizer*, <https://krzysztofcybulski.com/ahs.php> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

¹⁸⁴ *Idem*, *Spectral Score*, <https://krzysztofcybulski.com/spectralscore.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

¹⁸⁵ *Idem*, *Feedboxes*...

¹⁸⁶ *Modular Process Music – Krzysztof Cybulski International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn*, International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn, <https://warszawska-jesien.art.pl/en/2022/program/utwory/modular-process-music-krzysztof-cybulski> [dostęp: 11 czerwca 2024 r.].

¹⁸⁷ K. Cybulski, *Modular Process Music*, Zenodo 2020.

¹⁸⁸ *MEMO/MOVE*...

¹⁸⁹ K. Cybulski, *Tape Sampler*, <https://krzysztofcybulski.com/tapesampler.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

¹⁹⁰ *Idem*, *MORPH*, <https://krzysztofcybulski.com/morph.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

¹⁹¹ *Idem*, *CLSZ*, <https://krzysztofcybulski.com/clsz.php> [dostęp: 11 czerwca 2024 r.].

Teensy) czy tzw. *embedded computers*¹⁹² (Raspberry Pi, Beaglebone). Narzędzia te zmniejszyły dystans między środowiskami tzw. *makerów* oraz twórców eksperymentalnych instrumentów muzycznych.

W połowie drugiej dekady XXI w. spektrum instrumentów dostępnych współczesnym kompozytorom i wykonawcom znacznie wykracza poza tradycyjną klasyfikację Hornbostela-Sachsa, dzielącą instrumenty na idiofony, membranofony, chordofony i aerofony. Dodana w 1940 r. piąta kategoria, czyli elektrofony, teoretycznie wyczerpuje listę istniejących generatorów dźwięku¹⁹³. Jednak instrumenty powstałe w wyniku mariażu technologii i tradycyjnego rzemiosła nierzadko przejawiają cechy utrudniające ich przypisanie do konkretnej kategorii. Czy bowiem elektromagnetycznie pobudzany instrument strunowy jest chordofonem czy elektrofonem? Czy jeśli źródłem dźwięku jest nieamplifikowana elektronicznie struna, która jednak – zamiast smyczkiem lub plektrum – pobudzana jest elektronicznie wygenerowanym zmiennym polem magnetycznym, instrument taki wciąż pozostaje instrumentem akustycznym? Przykładem instrumentu budzącego tego rodzaju wątpliwość może być choćby Halldorophone¹⁹⁴, który według twórcy należy do kategorii elektrofonów, mimo iż generowany elektronicznie sygnał służy w jego przypadku jedynie do pobudzania fizycznych strun, co czyni zeń *de facto* chordofon.

Sprzężenie zwrotne między wykonawcami a wspomaganymi technologią instrumentami jest tematem zajmującym obecnie niemałe grono badaczy oraz twórców. Poniżej podejmę się dokonania przeglądu najważniejszych w moim odczuciu aktualnych dokonań z tego obszaru, oraz wykazania, jakie nowe wartości do tej stosunkowo młodej dziedziny wnosi mój projekt.

Próbie skategoryzowania całego spektrum pomiędzy dwoma skrajnościami – instrumentami w pełni cyfrowymi a akustycznymi – podjąłem już uprzednio w artykule konferencyjnym opisującym wcześniejszy prototyp instrumentu Post-Digital Sax¹⁹⁵. Poniżej jednak nieco ją uzupełnię i rozwinę.

Instrumenty, których możliwości zostały poszerzone elektronicznie lub cyfrowo, nazywam w dalszej części pracy instrumentami hybrydowymi bądź *instrumentami rozszerzonymi*¹⁹⁶. Instrumenty te, z racji różnorodności zastosowanych rozwiązań, można podzielić umownie na cztery kategorie:

1. instrumenty w pełni elektroniczne, w których jedynym elementem zachowującym pewne funkcje charakterystyczne dla instrumentów akustycznych jest interfejs użytkownika;
2. elektronicznie rozszerzone instrumenty akustyczne, których dźwięk przetwarzany jest elektronicznie czy cyfrowo, a następnie odtwarzany za pośrednictwem głośników;

¹⁹² Zwane w dalszej części pracy *minikomputerami*.

¹⁹³ Choć stworzony w 2005 r. hydraulofon sugerowałby istnienie jeszcze dodatkowej kategorii, w której źródłem dźwięku jest drganie cieczy.

¹⁹⁴ H. Úlfarsson, *The Halldorophone: The ongoing innovation of a cello-like drone instrument*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2018.

¹⁹⁵ K. Cybulski, *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression...*

¹⁹⁶ Wywodząc ten termin z anglojęzycznego *augmented instruments*, przez analogię do spolszczonej wersji innego anglojęzycznego terminu – rzeczywistość rozszerzona, będącego bezpośrednim tłumaczeniem z języka angielskiego.

3. *actuated instruments*, czyli *instrumenty aktuowane*¹⁹⁷, w których różne parametry akustycznych generatorów dźwięku mogą być kontrolowane mechatronicznie, jednak przy zachowaniu możliwości gry tradycyjnymi technikami;
4. w pełni robotyczne czy też mechatroniczne instrumenty akustyczne.

Instrumenty powstałe w ramach projektu AAAA sytuują się w przestrzeni między kategoriami trzecią a czwartą, mimo iż wypełniają znamiona kategorii instrumentów aktuowanych, stosując rozwiązania mechatroniczne, spotykane znacznie powszechniej w instrumentach robotycznych. Zbudowane przede mnie instrumenty charakteryzuje jeszcze dodatkowa cecha – mimo cyfrowych rozszerzeń pozostają one instrumentami akustycznymi (co nie jest bynajmniej nieodłączną cechą wszystkich instrumentów aktuowanych czy robotycznych). Poniżej zamieszczam krótki przegląd najbardziej charakterystycznych dla obu kategorii realizacji z ostatnich lat.

2.3.1. Instrumenty aktuowane

Główną cechą wyróżniającą instrumenty aktuowane spośród pozostałych instrumentów hybrydowych (rozszerzonych elektronicznie) jest **zachowanie możliwości gry na nich z wykorzystaniem standardowych technik, przy jednoczesnym wykorzystaniu technologii cyfrowej do poszerzenia ich możliwości brzmieniowych czy wykonawczych.**

Do najwcześniejszych przykładów instrumentów, które z dzisiejszej perspektywy można zaliczyć do opisywanej kategorii, należy pianola – instrument umożliwiający odtwarzanie wcześniej zapisanych kompozycji przy zachowaniu możliwości pełnej manualnej kontroli, znanej z tradycyjnych pianin. Potencjał pianoli, wykraczający poza kopiowanie gry żywych wykonawców, dostrzegł i kreatywnie wykorzystał Conlon Nancarrow, komponując na ten instrument utwory niewykonalne dla „ludzkiego instrumentalisty”. Do instrumentów aktuowanych można również zaliczyć późniejsze rozwiązania, rozszerzające możliwości gitary elektrycznej poprzez elektromagnetyczne wzbudzenie strun – *EBow*, *Fernandes Sustainer*, czy kompletny instrument oferujący podobną funkcjonalność – *Moog Guitar*.

Prawdziwy rozkwit instrumentów aktuowanych – jak i ukonstytuowanie samego terminu – przypada jednak na okres ostatnich kilkunastu lat; jeden z pierwszych artykułów, opisujących tę kategorię instrumentów został opublikowany w 2011 r. przez Dana Overholta i innych¹⁹⁸. Tiago Ângelo i inni¹⁹⁹ w przekrojowej pracy z 2018 r. oferują przegląd technik generowania i modyfikacji dźwięku, najczęściej stosowanych przy tworzeniu instrumentów aktuowanych, dzieląc je na cztery kategorie:

¹⁹⁷ Co prawda anglojęzyczny termin „*actuated*” tłumaczony jest zazwyczaj jako „uruchamiany”, niemniej jednak w polskim słownictwie technicznym występuje słowo „aktuator”, oznaczające mechanizm wykonujący ruch; ponieważ anglojęzyczny termin odnosi się właśnie do instrumentów, których możliwości poszerzane są z wykorzystaniem mechanizmów, bezpośrednia kalka językowa wydaje się w tej sytuacji na miejscu.

¹⁹⁸ D. Overholt, E. Berdahl, R. Hamilton, *Advancements in Actuated Musical Instruments*, „Organised Sound” 2011, t. 16, DOI: 10.1017/S1355771811000100.

¹⁹⁹ T. Ângelo i in., *Actuated Musical Instruments – A State of the Art*, Porto 2018.

- instrumenty elektroniczne oferujące wykonawcy informację zwrotną za pośrednictwem zmysłu dotyku poprzez mechaniczne wibracje;
- instrumenty, w których naturalne drgania akustycznego generatora są modyfikowane (wzbudzone lub tłumione) poprzez cyfrowo kontrolowane akulatory;
- instrumenty, w których akustyczne źródło dźwięku i jego przetworzona cyfrowo wersja tworzą wspólne wrażenie dźwiękowe o brzmieniu zmodyfikowanym w stosunku do akustycznego oryginału, z zachowaniem oryginalnej obwiedni głośności czy charakterystyki kierunkowej;
- instrumenty „protetyczne”, w których wytworzony elektronicznie dźwięk przenoszony jest za pomocą głośników lub *transducerów* (głośników wibracyjnych) na akustyczne elementy rezonansowe (pudło rezonansowe, rozstrąb); technika ta zwana jest również *Reembodied Sound*.

Do charakterystycznych przykładów instrumentów aktuowanych powstałych w ostatnich latach można zaliczyć chociażby elektromagnetycznie aktuowane fortepiany Pera Blolanda²⁰⁰ i Andrew McPhersona²⁰¹, instrumenty smyczkowe, takie jak Overtone Fiddle²⁰², Svampolin²⁰³ i Halldorophone²⁰⁴, instrumenty strunowe, takie jak Cyther²⁰⁵, Proto-Langspil²⁰⁶, Feedback Resonance Guitar²⁰⁷ i mój Acoustic Harmonic Synthesizer²⁰⁸, oraz instrumenty perkusyjne, takie jak Haptic Drum²⁰⁹.

Ostatni z wymienionych instrumentów oferuje unikalną możliwość fizycznego wpływu na ruch pateczek, umożliwiając – poprzez mechaniczne ruchy membrany (a w zasadzie powierzchni zbliżonej właściwościami do elektronicznego *padu* perkusyjnego) – osiągnięcie tremolo o znacznie większe częstotliwości niż w przypadku niezmodyfikowanego, tradycyjnego instrumentu, rozszerzając możliwości artykulacyjne instrumentu; dźwięk Haptic Drum generowany jest jednak na drodze elektronicznej.

Ângelo i inni²¹⁰ zauważają, iż podstawową korzyścią z postcyfrowej augmentacji instrumentów – która jest sednem idei instrumentów aktuowanych – jest możliwość modyfikacji ich brzmienia. Andrew

²⁰⁰ P. Bloland, *The electromagnetically-prepared piano and its compositional implications*, 2007 r., http://www.ems-network.org/IMG/pdf_EMS11_Bloland.pdf [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²⁰¹ A. McPherson, *Techniques And Circuits For Electromagnetic Instrument Actuation*, Zenodo 2012, DOI: 10.5281/ZENODO.1180533.

²⁰² D. Overholt, *The Overtone Fiddle: an Actuated Acoustic Instrument*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2011.

²⁰³ L. Pardue i in., *Separating sound from source: sonic transformation of the violin through electrodynamic pickups and acoustic actuation*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2019.

²⁰⁴ H. Úlfarsson, *The Halldorophone...*

²⁰⁵ S. Barton, E. Prihar, P. Carvalho, *Cyther: a Human-playable, Self-tuning Robotic Zither*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017.

²⁰⁶ J. Armitage i in., *The Proto-Langspil: Launching an Icelandic NIME Research Lab with the Help of a Marginalised Instrument* [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression...*

²⁰⁷ D. Overholt, E. Berdahl, R. Hamilton, *Advancements in Actuated Musical Instruments...*

²⁰⁸ K. Cybulski, *Acoustic Harmonic Synthesizer...*

²⁰⁹ D. Overholt, E. Berdahl, R. Hamilton, *Advancements in Actuated Musical Instruments...*

²¹⁰ T. Ângelo i in., *Actuated Musical Instruments - A State of the Art...*

McPherson i inni²¹¹ podkreślają z kolei, że w toku tej augmentacji – przy zachowaniu oryginalnego brzmienia – można przekroczyć akustyczne ograniczenia instrumentu (*Magnetic Resonator Piano* McPhersona umożliwia nieograniczone kształtowanie obwiedni głośności fortepianu, niedostępne w przypadku niezmodyfikowanej wersji instrumentu).

W istocie, większość wymienionych dotąd instrumentów aktuowanych umożliwia cyfrową kontrolę nad parametrami takimi jak barwa czy dynamika dźwięku. Ingerencja w wysokość granych nut ma miejsce w nielicznych przypadkach – wspomniany *Svampolin* oferuje możliwość „kwantyzacji” wysokości granych dźwięków do najbliższych stopni wybranej skali, niemniej funkcjonalność ta realizowana jest poprzez cyfrowe przetwarzanie dźwięku strun, amplifikowanego następnie poprzez wzbudzone za pomocą transducera pudło rezonansowe, odseparowane akustycznie od strun instrumentu²¹². Jedynym z opisywanych instrumentów, w przypadku którego zmiana wysokości dźwięku następuje przez fizyczną modyfikację parametrów faktycznego, fizycznego generatora, jest Cyther – mechatroniczna cytra, oferująca modyfikację stroju poprzez zmianę stopnia naprężenia strun.

Kolejną wspólną cechą większości przywołanych instrumentów jest sposób pobudzania strun – najczęściej wykorzystywaną metodą jest aktuacja elektromagnetyczna lub akustyczno-mechaniczna (za pośrednictwem przymocowanych do instrumentu *transducerów* lub głośników). Techniki te zdają się dominować również w najświeższych badaniach dotyczących sprzężenia zwrotnego między wykonawcami a instrumentami, nierzadko z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych^{213,214,215,216,217,218,219}.

2.3.2. Instrumenty robotyczne / mechatroniczne

Do kategorii tej zaliczam instrumenty wykorzystujące mechaniczne akulatory do kontroli szerokiej palety parametrów dźwięku. Możliwość swobodnej gry – ważna dla instrumentów aktuowanych – nie stanowi istotnego celu przy tworzeniu instrumentów robotycznych. Nader często instrumenty te przyjmują formę skomplikowanych instalacji, upodabniających się bardziej do historycznych orchestrionów czy szaf grających niż do umożliwiających intymną relację z wykonawcą standardowych instrumentów.

²¹¹ A. McPherson, *Techniques And Circuits For Electromagnetic Instrument Actuation...*

²¹² *Svampolin* należy zatem do podkategorii „instrumentów protetycznych”.

²¹³ *Intelligent Instruments Lab...*

²¹⁴ H. Úlfarsson, *The Halldorophone...*

²¹⁵ J. Armitage i in., *The Proto-Langspil...*

²¹⁶ A.G. Schmidt, M. Gurevich, *The Hummellaphone: An Electromagnetically Actuated Instrument and Open-Source Toolkit*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2023.

²¹⁷ M. Goodheart, *Reembodied Sound and Transducer-actuated Instruments in Refraction Interlude*, [w:] *ibidem*.

²¹⁸ A.P. Melbye, H.A. Úlfarsson, *Sculpting the behaviour of the Feedback-Actuated Augmented Bass: Design strategies for subtle manipulations of string feedback using simple adaptive algorithms*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2020.

²¹⁹ *Feedback Musicianship Network*, <https://feedback-musicianship.pubpub.org/> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

Do istotnych przykładów instrumentów robotycznych powstałych w ostatnich latach należą choćby aerofony, takie jak NICTA Robot Clarinet²²⁰, Waseda Saxophonist Robot²²¹, Infinitone²²² czy moje robotyczne organy piszczałkowe AAS²²³; robotyczne instrumenty smyczkowe pokrywają szerokie spektrum rozwiązań, od relatywnie prostych (jak poruszany pojedynczym silnikiem mechaniczny smyczek stosowany przez Pawła Romańczuka), przez inspirowane orchestrionami (Martin Riches – *Automatic Viola*²²⁴), po wyrafinowane rozwiązania, imitujące wszelkie niuanse techniki smyczkowej (Takahiro Kamatani i inni – *Ghost Play*²²⁵). Listę robotycznych instrumentów strunowych można uzupełnić choćby o *Speaking Piano* Petera Ablingera²²⁶ oraz *GuitarBot*²²⁷ Erica Singera.

Spośród instrumentów robotycznych wymykających się łatwej kategoryzacji warto wymienić choćby *Singing Machine*²²⁸ oraz *Shimon*²²⁹. *Shimon*, będący w praktyce niemal humanoidalnym robotem grającym na wibrafonie, otwiera pole jeszcze innej, osobliwej kategorii, czyli instrumentów elektronicznych z mechatronicznym interfejsem, do której przypisać można także kontroler *NOISA*²³⁰ oraz mój *MEMO/MOVE*²³¹. Pod pewnymi względami zalicza się do niej również wspomniany wcześniej *Haptic Drum*. Instrumenty te znajdują się poniekąd pomiędzy wyszczególnionymi wcześniej kategoriami pierwszą i czwartą.

Wspólną cechą większości instrumentów robotycznych jest brak możliwości uzyskania charakterystycznej dla instrumentów akustycznych i aktuowanych bliskiej relacji między wykonawcą a instrumentem; dodatkowo stosowane w nich akтуatory bywają często przyczyną wyraźnej *latencji* oraz stają się źródłem dodatkowych, niepożądanych dźwięków.

Rozpatrywanie projektu AAAA w kontekście aktualnego stanu badań wymaga jeszcze odniesienia się do przedsięwzięć wykorzystujących zespoły instrumentów aktuowanych lub robotycznych jako element całościowego założenia artystycznego.

²²⁰ W. Li i in., *The effect of blowing pressure, lip force and tonguing on transients: a study using a clarinet-playing machine*, „Journal of the Acoustical Society of America” 2016, DOI: 10.1121/1.4960594.

²²¹ J. Solis i in., *Development of the Waseda Saxophonist Robot and Implementation of an Auditory Feedback Control*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2010.

²²² A. Marshall, „The status quo will be obliterated!” – the inventors making their own musical instruments, „The Guardian” 2017, <https://www.theguardian.com/music/2017/nov/24/the-status-quo-will-be-obliterated-the-inventors-making-their-own-musical-instruments> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²²³ K. Cybulski, *Acoustic Additive Synthesizer*...

²²⁴ M. Riches, *Automatic Viola*, <https://martinriches.de/violamore1.html> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

²²⁵ T. Kamatani, Y. Sato, M. Fujino, *Ghost Play – A Violin-Playing Robot using Electromagnetic Linear Actuators*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*...

²²⁶ P. Ablinger, *Speaking Piano*, https://ablinger.mur.at/speaking_piano.html [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

²²⁷ P. Auslander, *Lucille Meets GuitarBot: Instrumentality, Agency, and Technology in Musical Performance*, [w:] T. Bovermann i in. (red.), *Musical Instruments in the 21st Century: Identities, Configurations, Practices*, Singapore 2017.

²²⁸ M. Riches, *More about the Singing Machine*, <https://martinriches.de/singmore.html> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

²²⁹ G. Hoffman, G. Weinberg, *Shimon: an interactive improvisational robotic marimba player*, New York 2010.

²³⁰ K. Tahiroğlu, *NOISA*...

²³¹ *MEMO/MOVE*...

2.3.3. Zespoły instrumentów hybrydowych

Wspomniana publikacja Overholta i innych²³², oprócz samych instrumentów opisuje również ich aspekty performatywne w kontekście kompozycji na instrumenty aktuowane, wykonywanych przez kilkusobowy zespół. Instrumenty aktuowane w szerokim spojrzeniu, dotyczącym relacji między wykonawcą a instrumentem oraz instrumentami i muzyką, opisuje również Neil Cameron Britt²³³. Wykorzystanie cyfrowo rozszerzonych instrumentów spoza tej kategorii, wciąż jednak częściowo relewantne dla projektu AAAA, podejmują również Lauren Sarah Hayes, opisując zagadnienia dotyczące cyfrowego symulowania mechanicznych wibracji²³⁴, oraz Panayiotis Kokoras, rozważający szerokie spektrum relacji między technologią, instrumentami a wykonawcą²³⁵.

Wypada wymienić również liczne artystyczne zastosowania instrumentów hybrydowych, takie jak *Playing with Machines*²³⁶ Alexandre Berthauda, *Doppelgänger*²³⁷ Rafała Ryterskiego, *Knock on Wood*²³⁸ Toma Johnsona i Martina Riches czy *Historie robotyczne*²³⁹ Michała Górczyńskiego. Szczególne miejsce wśród projektów wykorzystujących instrumenty robotyczne zajmuje obejmujący kilkadziesiąt lat dorobek Godfrieda-Willema Raesa²⁴⁰ oraz liczne projekty i konfiguracje instrumentów realizowane w ramach zespołu Małe Instrumenty²⁴¹ Pawła Romańczuka. Odrębną kategorię reprezentują tworzone przez Wojciecha Błażejczyka *Obiektofony*²⁴², nieposiadające komponentów mechatronicznych, ale istotne dla przedmiotu niniejszej pracy ze względu na konsekwentnie realizowaną całościową koncepcję artystyczną.

Zespoły instrumentów mechatronicznych były również wykorzystywane w muzyce bliższej głównemu nurtowi – jazzie, muzyce popularnej czy IDM²⁴³. Najbardziej charakterystyczne realizacje w tym obszarze

²³² D. Overholt, E. Berdahl, R. Hamilton, *Advancements in Actuated Musical Instruments...*

²³³ N.C. Britt, *Actuated Acoustic Instruments: Relationships and Mind-sets with „Fill Up Jar” and „Ctenophora” (original music compositions)*, 2014 r., <https://dataspace.princeton.edu/handle/88435/dsp012r36tx669> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²³⁴ L.S. Hayes, *Audio-haptic relationships as compositional and performance strategies*, 2014 r., <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/9481> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²³⁵ P. Kokoras, *Fab Synthesis...*

²³⁶ A. Berthaud, *Playing With Machines*, <https://alexandreberthaud.com/portfolio/playing-with-machines/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

²³⁷ *Doppelgänger*, <https://www.rafalryterski.com/doppelganger> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

²³⁸ M. Riches, *Tom Johnson and Martin Riches: Knock on Wood, a percussion installation*, <https://martinriches.de/knockmore3.html> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

²³⁹ *Historie robotyczne – Michał Górczyński. Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/utwory/historie-robotyczne-michal-gorczyński> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].

²⁴⁰ G.-W. Raes, *Godfried-Willem Raes: experimental music composer and instrument builder*, <https://logosfoundation.org/index-god.html> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

²⁴¹ *Małe Instrumenty – Życie i twórczość*, Culture.pl, <https://culture.pl/pl/tworca/male-instrumenty> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

²⁴² W. Błażejczyk, *Obiektofony: wykorzystanie odpadów cywilizacyjnych w utworze Trash music*, Warszawa 2017.

²⁴³ Skrót od sformułowania *Intelligent Dance Music*.

to chociażby *Drukqs*²⁴⁴ i *Computer Controlled Acoustic Instruments pt2*²⁴⁵ Aphexa Twina czy też *Orchestrion*²⁴⁶ Pata Metheny'ego.

2.4. Innowacyjność projektu AAAA

W oparciu o wyszczególnione powyżej najważniejsze osiągnięcia ostatnich lat z dziedziny technologii muzycznej w obszarze zbliżonym do poruszanego przez moje dzieło artystyczne oraz zarysowany w pierwszym rozdziale szeroki przegląd zjawisk z pogranicza sztuki i technologii postaram się wykazać, czym projekt AAAA wyróżnia się na tle obecnego stanu badań i jakie niezwyfikowane dotąd tezy badawcze postawiłem przed sobą, przystępując do realizacji tak szeroko zakrojonego eksperymentu.

1. Punktem wyjścia do budowy wszystkich trzech instrumentów jest postrzeganie ich jako elementów spójnego systemu – zatem część podstawowych założeń dotyczy całej grupy instrumentów:

- wszystkie instrumenty są **w pełni akustyczne**;
- w przypadku wszystkich trzech instrumentów jedynym parametrem podlegającym kontroli cyfrowej jest **wysokość dźwięku**; pozostałe parametry – dynamika, artykulacja, rytm, frazowanie – pozostają w gestii wykonawcy; instrumenty są więc **semiautonomiczne**;
- wszystkie instrumenty są **instrumentami aktuowanymi** – mimo zastosowania komponentów mechatronicznych wykonawca ma wciąż niezakłócony kontakt z kluczowymi dla każdego instrumentu elementami generującymi dźwięk (strunami, membraną, stroikiem) oraz interfejsem użytkownika;
- dizajn instrumentów zakłada **wyeliminowanie większości typowych dla świata cyfrowego elementów interfejsu użytkownika** – ekranów, wyświetlaczy, paneli dotykowych czy czujników odległości – na rzecz zapewnienia formy interakcji właściwej dla fizycznych instrumentów akustycznych, aby zapewnić **bliskość i bezpośredniość interakcji**, która – jak wykazałem wcześniej – zachodzi najpełniej właśnie za pośrednictwem zmysłu dotyku;
- zachowanie instrumentów kontrolowane jest przez **proste i jednoznacznie zdefiniowane algorytmy**; złożoność ich zachowań wynika z interakcji ze światem materialnym (fizyczną formą instrumentów) oraz spontanicznymi zachowaniami wykonawców; w odróżnieniu od instrumentów wykorzystujących sztuczne sieci neuronowe czy też sprzężenie zwrotne już na poziomie *software – hardware* (a nie – jak w moim projekcie – na poziomie instrument – wykonawca i wykonawca – wykonawca); zachowanie całego systemu jest więc **łatwo interpretowalne**.

²⁴⁴ Pitchfork, *Aphex Twin: Drukqs*, Pitchfork, <https://pitchfork.com/reviews/albums/225-drukqs/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

²⁴⁵ B. Beaumont-Thomas, *Aphex Twin – Computer Controlled Acoustic Instruments pt2 review*: „Sometimes unlistenablely irritating”, „The Guardian” 2015, <https://www.theguardian.com/music/2015/jan/23/aphex-twin-computer-controlled-acoustic-instruments-pt2-review> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²⁴⁶ *Pat Metheny: Orchestrion album review @ All About Jazz*, All About Jazz, 19 stycznia 2010 r., <https://www.allaboutjazz.com/orchestrion-by-john-kelman/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].

2. Część założeń została poczyniona tylko dla dwóch z trzech instrumentów:

- Post-Digital Sax i Autoviola spełniają dodatkowo **kryteria *embedded acoustic instrument***, czyli są „samonośne” (*self-contained*): wszelkie niezbędne do ich działania elementy zawarte są w samym instrumencie; Autoviola korzysta jedynie z zewnętrznego zasilacza; Post-Digital Sax zasilany jest akumulatorem, zatem jest całkowicie bezprzewodowy i w tym sensie daje wykonawcy swobodę w takim samym stopniu, jak tradycyjny, akustyczny instrument dęty;
- Post-Digital Sax oraz Aeromembranophone oferują możliwość **relatywnej zmiany wysokości dźwięku poprzez transpozycję o określone interwały, przypisane do poszczególnych elementów interfejsu.**

3. Dla każdego z instrumentów poczynione zostały dodatkowe założenia / tezy badawcze:

- Autoviola – wykorzystanie cyfrowo kontrolowanych mechanizmów do selektywnego tłumienia dwunastu nastrojonych chromatycznie strun, umożliwiające granie **dowolnych wielodźwięków w ramach dwunastostopniowej skali chromatycznej** na instrumencie, umożliwiającym **grę arco**.
- Aeromembranophone – instrument perkusyjny o określonej wysokości dźwięku, umożliwiający **wydobycie nut skali chromatycznej w zakresie jednej oktawy z pojedynczego instrumentu**; oferujący możliwość cyfrowej kontroli wysokości dźwięku.
- Post-Digital Sax – **akustyczny** instrument dęty umożliwiający **cyfrową kontrolę częstotliwości drgań stroika** na drodze indukcji elektromagnetycznej.

Według mojej najlepszej wiedzy, w oparciu o przeprowadzony przegląd stanu badań, większość z wyszczególnionych powyżej założeń nie została dotąd zrealizowana w formie praktycznej, czy też w formie dzieła artystycznego. Tym bardziej całościowe dzieło, będące materializacją powyższych założeń, stanowi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny.

Rozdział 3. Opis prac nad projektem AAAA



Ilustracja 4. Instrumenty w ostatecznej formie (Post-Digital Sax do umieszczenia na stojaku wymaga zdemontowania roztrąbu)

Można pokusić się o stwierdzenie, iż przeprowadzony przeze mnie eksperyment (którym w dużej mierze jest cały projekt AAAA) pozornie tylko dotyczy samych instrumentów – aby przetestować takie, a nie inne nowe instrumenty, trzeba stworzyć dla nich nowy kontekst muzyczny; aby móc przetestować nowy sposób na improwizację grupową ze wsparciem technologii cyfrowej, nieodzowne są specjalnie do tego celu skonstruowane instrumenty. Z tego względu zbudowanie instrumentów było oczywistym pierwszym krokiem, po przeprowadzeniu którego mogły dopiero nastąpić kroki kolejne – testowanie możliwości muzycznych całego systemu.

Jak już zaznaczyłem w poprzednim rozdziale, niezależnie od nadrzędnych założeń wstępnych dla całego projektu AAAA, zbudowanie każdego z instrumentów było próbą znalezienia – na drodze praktycznego eksperymentu – odpowiedzi na wiele kolejnych, mniejszych problemów czy też pytań badawczych. Używając języka bardziej kolokwialnego – **budowaniu nowych instrumentów musiało** w moim odczuciu **towarzyszyć przeczucie, że każdy z nich proponuje nowe, niespotykane dotąd możliwości.**

Ze względu na fakt, iż każdy z instrumentów ma odrębną zasadę działania, praca nad każdym z nich dostarczała innych wyzwań oraz wymagała rozwiązywania innego rodzaju problemów technicznych, programistycznych i konstrukcyjnych. Jednak w ogólnym zarysie proces ów wykazywał znaczne podobieństwa: prace nad instrumentami miały charakter iteracyjny, czyli złożony z wielu etapów – od wstępnych eksperymentów, mających na celu zweryfikowanie podstawowych założeń technicznych i ich skuteczności dla uzyskania spodziewanych efektów, poprzez zbudowanie prototypów, wyciąganie wniosków z ich mocnych i słabych stron, na podstawie których powstawały prototypy kolejne, doskonalsze. W momencie, gdy każdy z instrumentów spełniał swoje indywidualne założenia w zadowalającym stopniu, następował kolejny etap, w którym na podstawie konsultacji z instrumentalistami i analizy zachowań i brzmienia instrumentów w trio wprowadzane były dalsze poprawki i udoskonalenia. Na tym etapie, oprócz spełnienia podstawowego warunku („działa – nie działa”) na pierwszy plan wysunęły się aspekty brzmieniowe i zakres dynamiczny instrumentów, ich „akustyczny miks”, czyli dopasowanie pod względem rejestrów wysokościowych, kwestie ergonomii i dostosowania interfejsu do potrzeb wykonawców. Równoległe do tego etapu postępowały prace nad elementami oprogramowania sterującego, odpowiedzialnego za interakcję między instrumentami. Ostatnie etapy dopracowywania dzieła – gdy fizyczną i *software’ową* formę instrumentów uznałem za ukończoną – dotyczyły już wyłącznie aspektu wykonawczego: znalezienia sposobów na interesującą improwizację w ramach reguł dyktowanych przez każdy z algorytmów oraz znalezienie właściwej formy prezentacji dzieła podczas prawykonania (czas trwania całości oraz poszczególnych części, komunikatywność i strona wizualna prezentacji).

3.1. Aktuatory

Nieco uwagi wypada poświęcić również samym aktuatorom – wspomnianym uprzednio w kontekście sformułowania „instrumenty aktuowane” mechanizmom, stanowiącym nieodłączny element każdego instrumentu posiadającego komponent robotyczny czy mechatroniczny. Z moich doświadczeń (zarówno jako twórcy, jak i odbiorcy czy wnikliwego obserwatora działań innych artystów) wynika, iż w praktyce twórczej z pogranicza sztuki i technologii stosowane są z reguły gotowe rozwiązania, adresowane do szerszych niż artyści nowomediowi gremiów – z reguły do modelarzy i robotyków hobbystów. Czasem sięga się po rozwiązania przemysłowe, w rzadkich przypadkach o szczególnych wymaganiach aktuatory projektuje się i tworzy od zera. Najczęściej stosowane aktuatory bazują na zjawisku elektromagnetyzmu. Są to:

- elektromagnesy „zwykłe” (ciągnące);
- elektromagnesy z ruchomym rdzeniem;

- różne rodzaje silników prądu stałego:
 - szczotkowe;
 - bezszczotkowe;
 - krokowe (wszystkie trzy z przekładniami lub bez);
- oraz szczególny rodzaj silnika – serwomechanizm, będący *de facto* silnikiem szczotkowym z przekładnią, sprzężonym z potencjometrem dostarczającym informacji zwrotnej o kątowym położeniu osi silnika, oraz sterownikiem, rozpoznającym cyfrowy sygnał sterujący, oparty o powszechnie stosowany protokół.

W swojej praktyce twórczej miałem okazję zetknąć się jeszcze z dwoma typami aktuatorów:

- pneumatycznymi, które jednak wymagają źródła sprężonego powietrza, doprowadzonego za pomocą rurek / wężyków, co powoduje, iż są niepraktyczne w przypadku niewielkich, mobilnych instrumentów, generują również hałas;
- aktuatorami wykorzystujące właściwości metalu z pamięcią, na przykład *Nitinolu* – przy stosunkowo szybkim ruchu kurczącym ich wadą jest powolny powrót do pozycji spoczynkowej; generują również ciepło (będące *de facto* niezbędnym dla ich funkcjonowania czynnikiem).

Serwomechanizmy stosowane są powszechnie w modelarstwie, faktowi temu zawdzięczając łatwą dostępność i przystępną cenę. W związku z coraz częstszym wykorzystywaniem ich do poważniejszych zastosowań, ostatnimi laty zaczęły pojawiać się semiprofesjonalne serwa „robotyczne” o poprawionych parametrach pracy i komunikacji – pierwotnie produkowane głównie przez koreańską firmę Robotis pod marką *Dynamixel*, dziś przez wielu innych producentów. Serwomechanizmy modelarskie mają niezaprzeczalne walory, szczególnie w erze powszechnej dostępności mikrokontrolerów adresowanych do środowiska *DIY* (Arduino, Teensy i wielu innych) – są z reguły niezawodne, łatwe do wykorzystania w szytych na miarę rozwiązaniach dzięki prostemu kodowaniu powyższych mikrokontrolerów, współpracujących z łatwością z serwami. Głównymi minusami serwomechanizmów są jednak:

- relatywnie duży poziom głośności, szczególnie niekorzystny przy budowie instrumentów akustycznych;
- wynikająca z ograniczeń fizycznych odwrotna proporcjonalność momentu obrotowego (siły) do prędkości – mocne serwa są z reguły wolniejsze, bardzo szybkie serwa mają niewielki moment obrotowy, zatem nie nadają się na przykład do konstruowania mechanizmów skracających czy napinających struny. Co więcej, serwo nawet w pozycji spoczynkowej, w której wykonuje jakąś pracę (na przykład nieruchome podtrzymanie napiętej struny) pozostaje aktywne, a więc wciąż generuje hałas oraz pobiera prąd. Serwa, zależnie od typu wbudowanego sterownika, generują dźwięk o różnym charakterze – serwa o sterowniku analogowym generują dźwięk o charakterze szumowym, serwa cyfrowe są generalnie cichsze, ale z kolei generują dźwięk o wyraźnie określonej wysokości i dużej ilości harmonicznym.

Powyższe cechy serwomechanizmów skłoniły mnie podczas prac nad wstępnymi prototypami Autovioli i Aeromembranophone'u do poszukiwania innych rozwiązań – jako punkt wyjścia zastosowałem elektromagnesy z ruchomym rdzeniem; kolejnym testowanym przeze mnie typem mechanizmów były aktuatory liniowe zbudowane na bazie silników szczotkowych z odpowiednią przekładnią; ich szczególny typ wykorzystywany jest powszechnie jako mechanizm zamka centralnego w samochodach – stąd (podobnie jak w przypadku serwomechanizmów modelarskich) powszechna dostępność i przystępna cena.

Z przyczyn opisanych szczegółowo w kolejnych podrozdziałach rozwiązania powyższe jednak nie sprawdziły się. Ostatecznie powróciłem do wykorzystania serwomechanizmów, stosując jednak trzy środki zaradcze w celu zniwelowania generowanego przez nie hałasu:

- dobór modeli oraz egzemplarzy serwomechanizmów o możliwie najniższym poziomie głośności;
- zastosowanie przekładni mechanicznych, umożliwiających blokadę w pozycjach spoczynkowych, co wyeliminowało konieczność ciągłego utrzymywania serwa w stanie aktywnym (a więc ciągłej pracy silnika); serwa uruchamiane są wyłącznie na krótki czas towarzyszący zmianom nut lub akordów;
- zastosowanie wytłumienia akustycznego w postaci dodatkowych, częściowo dźwiękoszczelnych obudów oraz zamocowania serwomechanizmów do instrumentów za pośrednictwem wibroizolatorów.

Podstawowe założenia oraz unikalne dla każdego z instrumentów problemy, wyzwania i ich ostateczne rozwiązania opisane będą w niniejszym rozdziale. Struktura każdego z trzech poniższych podrozdziałów, poświęconemu każdemu z instrumentów, jest następująca:

- przedstawienie założeń wstępnych / głównych problemów badawczych;
- zwięzły opis prac nad kolejnymi iteracjami / rototypami instrumentu;
- opis ostatecznej wersji instrumentu, omawiający w szczególności:
 - rozwiązania konstrukcyjne;
 - możliwości brzmieniowe;
 - aspekty wykonawcze oraz cyfrowe rozszerzenia.

3.2. Autoviola

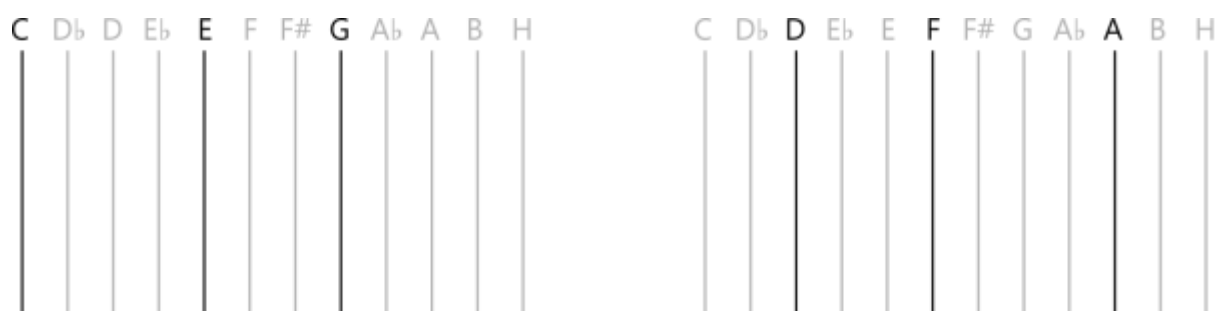
3.2.1. Założenia wstępne

Automatyczne tworzenie akordów na podstawie informacji pochodzących z zewnątrz – na przykład zagranych na innym improwizującym instrumencie – jest taktyką, którą wykorzystywałem już w dwóch

wcześniejszych projektach (CLSZ²⁴⁷ oraz Modular Process Music²⁴⁸), w obu przypadkach jednak w oparciu o narzędzia cyfrowe generujące dźwięk imitujący brzmienie instrumentu strunowego za pomocą syntezy Karplusa-Stronga. Automatyczna adaptacja warstwy harmoniczej (realizowanej za pomocą owego wirtualnego instrumentu strunowego) do zaimprovizowanych na instrumencie prowadzącym dźwięków sprzyja powstawaniu interesujących struktur muzycznych oraz specyficznej interakcji między wykonawcami obsługującymi oba instrumenty. Jedną z motywacji do prac nad Autoviolą była zatem chęć **zrealizowania podobnego założenia w domenie akustycznej**.

Praktyczna realizacja powyższego założenia przyjęła formę wchodzącego w skład projektu AAAA instrumentu, który nazwałem Autoviolą. Punktem odniesienia dla wyjściowej koncepcji był instrument *autoharp* (znany także jako *chord zither*). Jest to rodzaj cytry wyposażonej w kilkadziesiąt strun oraz zestaw ruchomych dźwigni z tłumikami umożliwiającymi selektywne tłumienie strun. Każda z dźwigni opatrzona jest symbolem akordu (na przykład C-dur, D-moll), a konfiguracja umieszczonych na niej tłumików umożliwia – w kombinacji z układem strun – uzyskanie odpowiadającego opisowi akordu²⁴⁹.

Podstawowym założeniem przyświecającym budowie Autovioli było wykorzystanie cyfrowo kontrolowanych mechanizmów do selektywnego tłumienia dwunastu nastrojonych chromatycznie strun, co miało umożliwić pełną kontrolę nad granymi wielodźwiękami (bez ograniczenia do wstępnie wybranych współbrzmień, które towarzyszy oryginalnej *autoharp*). Cyfrowa kontrola mechanizmów tłumiących miała ponadto umożliwić zastosowanie cyfrowych rozszerzeń, takich jak automatyczne tworzenie akordów czy zdalne sterowanie współbrzmieniami na podstawie algorytmów. Kolejnym z założeń było zbudowanie instrumentu w formie umożliwiającej grę *arco*.



Ilustracja 5. Schemat zasady działania tłumików Autovioli (kolor szary oznacza struny stłumione), po lewej stronie układ tłumików dla akordu C-dur, po prawej dla akordu D-moll

Dodatkowe rozwiązania, które postanowiłem zweryfikować podczas budowy prototypu instrumentu, to „pływająca” płyta rezonansowa oraz drewno balsa jako materiał na płytę wierzchnią i spodnią instrumentu. Określenie „pływająca płyta rezonansowa” oznacza płytę wierzchnią – zazwyczaj w formie prostokątnej – podpartą jedynie wzdłuż krawędzi jej krótszych boków. Rozwiązanie to zostało

²⁴⁷ K. Cybulski, *CLSZ...*

²⁴⁸ *Modular Process Music – Krzysztof Cybulski International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn...*

²⁴⁹ D. Kettlewell, L.M. Long, *Autoharp*, t. 1, Oxford 2013.

zastosowane z powodzeniem przez Barta Hopkina w wielu zbudowanych przez niego instrumentach²⁵⁰. Koncepcja pływającej płyty rezonansowej wykazuje podobieństwo do obserwacji, iż wycinek płyty wierzchniej tradycyjnych instrumentów smyczkowych, znajdujący się pomiędzy otworami rezonansowymi, można również interpretować jako pływającą płytę wierzchnią – podłużny kształt efów w teorii umożliwia środkowej części płyty swobodną wibrację, choć w praktyce ogranicza ją obecność duszy oraz belki basowej. Obserwacja ta stała się punktem wyjścia dla eksperymentalnego instrumentu *Violare*²⁵¹, choć jego autor opiera konstrukcję instrumentu o dalece uproszczone rozumienie akustyki instrumentów smyczkowych, pomijające choćby rolę wahadłowego ruchu podstawka.

Drugie z wymienionych zagadnień, czyli wykorzystanie drewna balsy jako materiału do budowy płyt rezonansowych instrumentów smyczkowych, również stanowi źródło pewnych kontrowersji (co stwierdzam choćby na podstawie własnych dyskusji z zaprzyjaźnionymi lutnikami), choć nie brakuje udanych prototypów instrumentów, wykorzystujących ten materiał^{252,253}. Z pewnością balsa wykazuje korzystny stosunek sztywności do masy, jest również niezwykle łatwa w obróbce, zatem – niejako przy okazji weryfikowania podstawowych założeń przyświecających budowie *Autovioli* – postanowiłem wykorzystać ów materiał w budowie pierwszego prototypu.

Główne tezy, będące punktem odniesienia podczas prac nad *Autoviolą*, można zatem podsumować następująco:

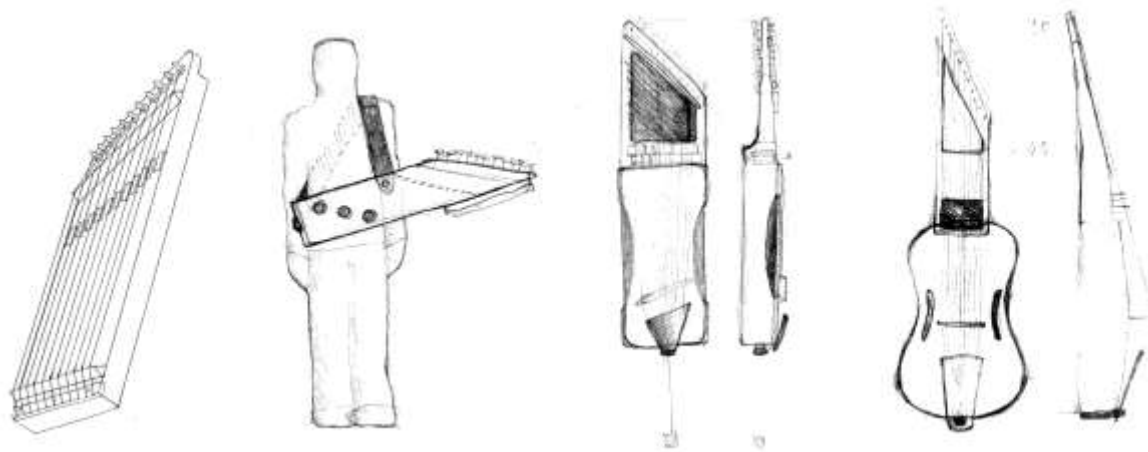
- dwunastostrunowy chromatyczny instrument akustyczny, z możliwością dezaktywacji każdej ze strun za pomocą cyfrowo kontrolowanych mechanizmów;
- instrument umożliwiający grę *arco*;
- zastosowanie cyfrowej kontroli ma umożliwić zastosowanie cyfrowych rozszerzeń zarówno przy grze solo, jak i w dialogu z pozostałymi instrumentami;
- pływająca płyta rezonansowa z balsy, mająca umożliwić efektywną akustyczną projekcję dźwięku przy niewielkich gabarytach i uproszczonej konstrukcji instrumentu.

²⁵⁰ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design: practical information of musical instrument making*, Tucson 2010.

²⁵¹ *Violare*, The *Violare*, Breaking Tradition, 11 kwietnia 2013 r., <https://violinstocellos.wordpress.com/tag/violare/> [dostęp: 27 maja 2024 r.].

²⁵² A.C. Revkin, *String Theory: New Approaches to Instrument Design*, „The New York Times” 2006, <https://www.nytimes.com/2006/11/28/science/28acou.html> [dostęp: 27 maja 2024 r.].

²⁵³ J. Ham, *Ultralight cello and other heresies*, philharmoniedeparis.fr, 2013 r., <https://catalogue.philharmoniedeparis.fr/catalogue/doc/ALOES/0998715/ultralight-cello-and-other-heresies-by-james-ham> [dostęp: 27 maja 2024 r.].



Ilustracja 6. Ewolucja formy Autovioli: a) pierwotny szkic koncepcyjny w formie cytry, b) forma nawiązująca do nyckelharpy, c) szkic prototypu 3., d) szkic prototypu 4.

3.2.2. Opis prac nad instrumentem

Prototyp 1.



Ilustracja 7. Prototypy 1. i 3a Autovioli

- bazę dla pierwszego prototypu stanowił nieco zmodyfikowany korpus monochordu, zbudowanego przeze mnie podczas prac nad prototypem wcześniejszego instrumentu;
- prototyp wykorzystuje akwatory typu solenoid (elektromagnesy z ruchomym rdzeniem) do przemieszczania neoprenowych tłumików strun;
- pudło rezonansowe wykorzystuje pływającą płytę wierzchnią z drewna balsy;
- forma instrumentu inspirowana jest cytrą; we wstępnym założeniu instrument miał w czasie gry leżeć na stole lub statywie;
- prototyp miał posłużyć jedynie do wstępnego zweryfikowania podstawowych założeń, został w związku z tym wyposażony jedynie w sześć strun;
- podłużne przestrzenie między dłuższymi krawędziami pływającej płyty wierzchniej a boczkami instrumentu pełniły funkcję otworów rezonansowych.

Prototyp 1. miał dwa podwarianty:

- 1a:
 - ze względu na podatność balsy na uszkodzenia mechaniczne pierwsza wersja płyty wierzchniej została sporządzona w formie „kanapki” – płyta z balsy została dwustronnie oklejona fornirem jesionowym; zabieg ten spowodował jednak utratę pierwotnych właściwości akustycznych balsy;
- 1b:
 - płyta wierzchnia wykonana z samej balsy.

Prototyp 1. uwidocznił istotną wadę jednego z pierwotnych założeń: o ile filcowe tłumiki, umieszczone na dźwigniach solenoidów, spełniają swoją funkcję przy grze *pizzicato* czy za pomocą plektrum (tak jak ma to miejsce w przypadku instrumentu *autoharp*), o tyle nie sprawdzają się zupełnie przy grze *arco* – bez względu na stopień tłumienia (miętkość filcu, rozmiary tłumika, stopień jego dociśnięcia do struny), przy grze smyczkiem struna nigdy nie jest całkowicie „głucha” – zawsze pojawia się dźwięk w postaci niepożądanych składowych harmonicznych lub nieharmonicznych. W kolejnych prototypach podjąłem próbę rozwiązania tego problemu poprzez fizyczne przemieszczanie strun w stronę płyty wierzchniej („wciąganie w głąb” instrumentu), dzięki czemu przemieszczone struny nie miały kontaktu z prowadzonym płasko smyczkiem.

Prototyp 2.



Ilustracja 8. Prototyp 2. Autovioli

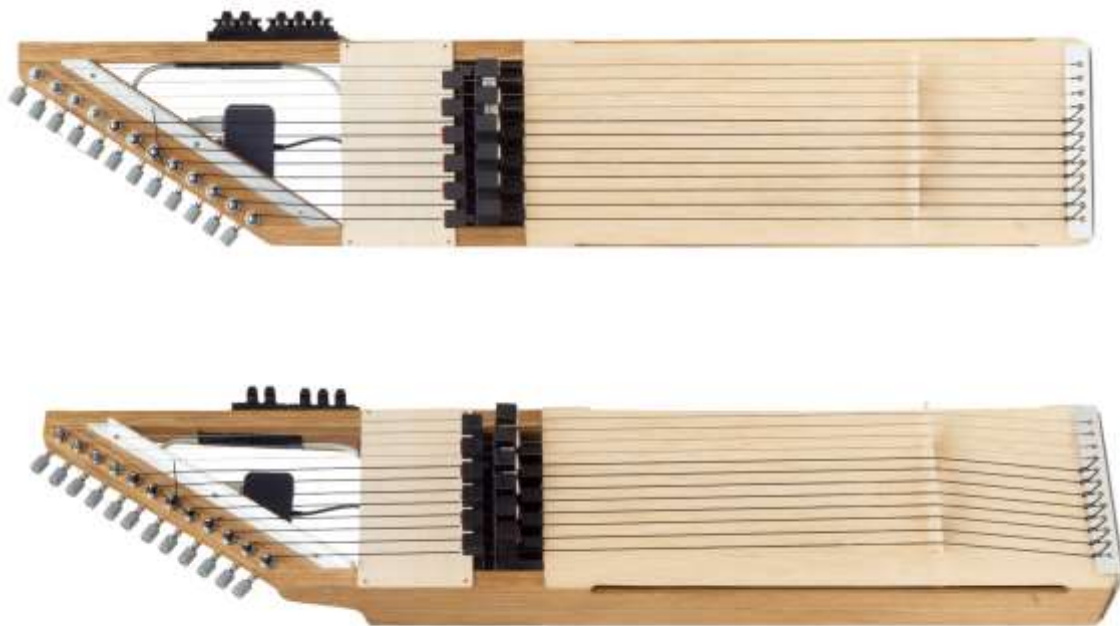
- prototyp „cząstkowy” – bez pudła rezonansowego ani aktuatorów, mający na celu jedynie zweryfikowanie rozwiązania z indywidualnymi ruchomymi gryfami dla każdej ze strun, mającymi umożliwić fizyczne odsuwanie strun od płasko prowadzonego smyczka;
- rozwiązanie to wymagało zastosowania odwróconego podstawka – struny przymocowane do ruchomych gryfów opierały się o podstawek od dołu zamiast od góry.

Skutkiem ubocznym opisanego rozwiązania jest nieefektywne przenoszenie drgań strun na pudło rezonansowe; dodatkowo nacisk smyczka osłabia docisk struny do podstawka, zamiast go wzmacniać.

Skomplikowana konstrukcja ruchomych gryfów stała się trzecim czynnikiem skłaniającym mnie do rezygnacji z tego rozwiązania.

Prototyp 2. wskazał jednak możliwe rozwiązanie problemu nieskuteczności tłumików, występujący w prototypie 1. Fizyczne przemieszczanie strun w stronę płyty rezonansowej instrumentu okazało się skutecznym sposobem na selekcję strun, z którymi styka się smyczek. Sam mechanizm wymagał jednak innej konstrukcji, którą zastosowałem w kolejnym prototypie Autovioli.

Prototyp 3.



Ilustracja 9. Prototyp 3b Autovioli

- mechanizm wciągający struny w głąb instrumentu w formie indywidualnych haczyków; umożliwia on zachowanie tradycyjnego podstawka;
- prototyp 3. jest pierwszą dwunastostrunową wersją instrumentu (poprzednie prototypy miały odpowiednio sześć strun i trzy struny);
- konstrukcja w formie ramy z drewna dębowego;
- forma instrumentu umożliwia przewieszenie instrumentu przez szyję i ramię wykonawcy na pasku gitarowym (na wzór szwedzkiej *nyckelharpy*);
- instrument wyposażony w interfejs użytkownika w postaci jednooktawowej klawiatury oraz dwóch przelączników.

Prototyp 3. miał dwa podwarianty:

- 3a:
 - płyta wierzchnia wykonana z drewna abachi;

- zastosowano ponownie solenoidy, tym razem w roli mechanizmów przemieszczających struny;
- podobnie jak w poprzednich prototypach, zastosowano stosunkowo niski podstawek, wzorowany na podstawkach stosowanych w cytrze;

Drewno abachi nie spełniło oczekiwań pod względem właściwości akustycznych, co skłoniło mnie do powrotu do drewna balsy. Wykorzystanie solenoidów w charakterze mechanizmów przemieszczających struny pozwoliło co prawda zweryfikować pozytywnie skuteczność tej metody selektywnej dezaktywacji strun, jednak same solenoidy nie sprawdziły się ze względu na konieczność stałego dostarczania zasilania w celu podtrzymania strun w pozycji nieaktywnej, czego skutkiem ubocznym było przegrzewanie się mechanizmów. Solenoidy o odpowiedniej do tego celu mocy okazały się również zbyt głośne.

- 3b:
 - powrót do płyty wierzchniej z balsy; zostały wykonane dwie płyty z różnymi typami ożebrowania; jedna z płyt miała dodatkowo okrągły otwór rezonansowy, który jednak nie miał wyraźnego wpływu na właściwości akustyczne instrumentu;
 - płyta wierzchnia ma lekką wypukłość w osi wzdłużnej, mającą zwiększyć jej sztywność i zmniejszyć podatność na nacisk strun;
 - zastosowanie duszy, głównie ze względów strukturalnych;
 - zastosowanie wyższego podstawka w celu zwiększenia nacisku strun na płytę rezonansową, a w rezultacie zwiększenie głośności instrumentu; kilka wariacji podstawka o różnym promieniu łuku;
 - zastąpienie solenoidów mechanizmem bazującym na serwomechanizmach i przekładni, zmieniającej ruch obrotowy na liniowy; dodatkową cechą zastosowanej przekładni jest jej samoczynne blokowanie się w pozycji dolnej, dzięki czemu serwo wymaga zasilania jedynie w czasie zmiany pozycji;
 - zamontowanie elementów elektronicznych (Bela Mini, Arduino, sterownik serwomechanizmów) wewnątrz instrumentu; jedynym zewnętrznym elementem instrumentu pozostaje zatem zasilacz sieciowy;



Ilustracja 10. Detal prototypu 3b Autovioli – widoczne mechanizmy w formie haczyków, przemieszczających struny w stronę płyty rezonansowej

Prototyp 3b jest pierwszą wersją instrumentu, która umożliwiła pozytywną weryfikację pierwszych trzech założeń wstępnych: dopracowane na drodze iteracyjnej mechanizmy dezaktywacji strun, oparte na serwomechanizmach, okazały się skutecznym rozwiązaniem. Zamontowanie dwunastu strun pozwoliło przetestować pierwotnie zakładaną zasadę działania, czyli możliwość tworzenia dowolnych współbrzmień (mieszczących się w granicach jednej oktawy) poprzez dezaktywację wybranych strun. Rezygnacja z obecnych w prototypie 1. tłumików oraz nieskutecznego rozwiązania z ruchomymi gryfami z prototypu 2. na rzecz mechanizmów przemieszczających („wciągających”) struny w stronę płyty wierzchniej instrumentu, umożliwiła również skuteczną grę *arco*.

Zakładany pierwotnie dla prototypu 3. wzorowany na nyckelharpie sposób gry na instrumencie wymagałby specyficznej techniki prawej ręki i wykorzystania nietypowego, krótkiego smyczka. Ostatecznie prototyp wykorzystywany był zatem do gry w pozycji pionowej – umieszczony między kolanami wykonawcy jak wiolonczela – co umożliwiło większą swobodę w doborze techniki prawej ręki oraz rodzaju smyczka.

Prototyp 3. został poddany wstępnym konsultacjom z wykonawcą Piotrem Zalewskim oraz ekspertką od instrumentów dawnych dr hab. Agatą Sapięchą. Posłużył również wykonawcy do wstępnego opanowania techniki gry oraz został wykorzystany przy pierwszej próbie projektu AAAA w pełnym, trzyosobowym składzie. Na podstawie uzyskanych w toku wymienionych działań informacji zwrotnych oraz własnych obserwacji, doszedłem do wniosków, które stały się punktem wyjścia dla ostatecznej wersji instrumentu:

- stosowane w dotychczasowych prototypach struny gitarowe mają zbyt ostre brzmienie, co staje się szczególnie wyraźne przy grze *arco*. Nietypowy, chromatyczny strój instrumentu uniemożliwia jednak zastosowanie standardowych kompletów strun wiolonczelowych lub

gambowych; w toku poszukiwania odpowiedniego materiału na struny przeprowadziłem eksperyment z wykorzystaniem naciągu do rakiet tenisowych typu *synthetic gut*, który – zastosowany w charakterze strun – okazał się mieć korzystne właściwości brzmieniowe. Materiał ten występuje jednak tylko w dwóch grubościach, zatem uzyskanie odpowiedniego stroju poszczególnych strun wymaga większego zróżnicowania ich długości;

- prostokątna forma instrumentu, wywodząca się z pierwotnie zakładanego sposobu gry (inspirowanego cytrą i nyckelharpą), okazała się nieergonomiczna przy zastosowaniu techniki wiolonczelowej (umieszczeniu instrumentu w pozycji pionowej między kolanami wykonawcy);
- instrument, mimo obiecujących właściwości płyty wierzchniej z balsy, okazał się zbyt cichy w stosunku do pozostałych instrumentów wykorzystywanych w projekcie;
- połączenie konstrukcji opartej o pływającą płytę wierzchnią z delikatnością materiału, jakim jest balsa, zaowocowało niestabilnym zachowaniem płyty, wyraźnie odkształcającej się pod zmiennym naciskiem strun spowodowanym pracą mechanizmów; to z kolei powodowało niestabilność stroju instrumentu.

3.2.3. Prototyp 4. – ostateczna wersja instrumentu



Ilustracja 11. Prototyp 4. Autovioli – wersja docelowa instrumentu

W czwartej iteracji instrument przyjął swoją ostateczną formę. Rozwiązanie wymienionych powyżej problemów zostało przeprowadzone w następujący sposób:

- konieczność znacznego zróżnicowania długości poszczególnych strun, wynikająca z zastosowania strun typu *synthetic gut* (o takiej samej grubości), została zrealizowana poprzez odpowiednie ukształtowanie ostatecznej formy gryfu instrumentu;
- pozostałe problemy, czyli zbyt mała głośność instrumentu, niestabilność płyty wierzchniej oraz nieoptymalna ergonomia pudła rezonansowego, znalazły odzwierciedlenie w dizajnie i konstrukcji pudła rezonansowego prototypu 4. Autovioli.

Kształt i konstrukcja pudła rezonansowego tradycyjnych instrumentów smyczkowych jest oczywiście pod wieloma względami optymalnym rozwiązaniem, wypracowanym w toku wielusetletniej ewolucji. Przystępując jednak do prac nad prototypem 4., chciałem w sposób świadomy skupić się przede wszystkim na aspektach istotnych z punktu widzenia specyficznych problemów, które wystąpiły we wcześniejszych prototypach Autovioli. Z perspektywy starań o zwiększenie głośności instrumentu wyjściowym punktem odniesienia był dla mnie wykład Jima Woodhouse'a *Reverse Engineering the Violin*²⁵⁴, oferujący współczesne (i – co nie mniej istotne – pozbawione nienaukowych mitów) spojrzenie na rolę poszczególnych elementów instrumentów smyczkowych w procesie generowania dźwięku. Niemniej jednak korzystałem również z uwag i odpowiedzi zaprzyjaźnionych, doświadczonych lutników, wyciągając własne wnioski z informacji pozyskiwanych z obu źródeł.

Kluczowe dla docelowej konstrukcji stały się następujące zagadnienia:

- dalsze zwiększenie nacisku strun na płytę wierzchnią (służące zwiększeniu głośności instrumentu); zwiększanie stopnia napięcia strun utrudniałoby pracę mechanizmom przemieszczającym, zatem efekt zwiększenia nacisku uzyskałem poprzez zastosowanie wyższego podstawka. Podstawki instrumentów smyczkowych należą do kategorii tzw. *tall bridges*²⁵⁵, których efektywność wynika również ze skuteczniejszego niż w przypadku płaskich podstawków przenoszenia poziomych drgań strun na płytę wierzchnią poprzez ruch wahadłowy;
- zwiększony nacisk strun na podstawek wymaga oczywiście odpowiedniej konstrukcji płyty wierzchniej, umożliwiającej utrzymanie wielokilogramowego obciążenia. Płyta wierzchnia została zatem wykonana w formie tradycyjnej – jako wypukła, rzeźbiona ręcznie płyta z sezonowanego drewna świerkowego. Jej grubość (3,7 mm przy krawędziach, 6,5 mm pośrodku) jest nieco większa niż w podobnej wielkości instrumentach z rodziny viol, ze względu na zastosowanie większej liczby strun, powodujące znaczne obciążenie płyty;
- płyta wierzchnia Autovioli wzmocniona jest po stronie lewej belką basową; prawa strona płyty podparta jest duszą, co odzwierciedla rozwiązanie stosowane we współczesnych

²⁵⁴ J. Woodhouse, *Reverse Engineering the Violin*, CIRMMT, <https://www.cirmmt.org/en/events/distinguished-lectures/jim-woodhouse-2021> [dostęp: 28 maja 2024 r.].

²⁵⁵ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 126.

instrumentach smyczkowych. Powszechne postrzeganie roli duszy jako elementu zwiększającego głośność instrumentu poprzez przenoszenie części drgań płyty wierzchniej na płytę spodnią jest jednak z perspektywy dzisiejszego stanu wiedzy o akustyce instrumentów muzycznych mocno dyskusyjne. Według współczesnego ujęcia główną rolą duszy – oprócz funkcji strukturalnej (czyli zapobiegania zapadania się płyty pod naciskiem strun) – jest asymetryczny podział płyty wierzchniej na dwie części, drgające w odmienny sposób pod wpływem wahadłowych ruchów wysokiego podstawka. Rezultatem tych asymetrycznych ruchów jest z kolei większa efektywność pudła rezonansowego, traktowanego jako **system sprzężony** (ang. *coupled system*)²⁵⁶, składający się ze strun, podstawka, płyt rezonansowych i powietrza wewnątrz pudła rezonansowego^{257,258,259},

- pod wpływem lektury publikacji Hadi T. Nia i innych²⁶⁰, pierwotnie planowana, uproszczona forma otworów rezonansowych (ilustracja 6), wzorowana na instrumentach Chanota i Savarta, ustąpił miejsca wzorowanym na fideli otworom w kształcie zbliżonym do litery „C”. Nia i inni wykazują, iż czynnikiem determinującym efektywność otworów rezonansowych jest nie tyle pole ich powierzchni czy umiejscowienie, ale długość ich krawędzi – stąd podłużne, zawite otwory rezonansowe wykazują większą skuteczność, niż na przykład otwory okrągłe^{261,262},
- bazując na opisanym spojrzeniu na wpływ poszczególnych elementów pudła rezonansowego na powstawanie dźwięku, doszedłem do wniosku, iż rola płyty spodniej i boczaków jest w tym procesie w dużej mierze pomijalna. Mając zatem na uwadze przede wszystkim sztywność konstrukcji instrumentu, wykonałem płytę spodnią ze wzmocnionego jesionowymi żebrami drewna abachi, a boczki z dwóch warstw giętej na zimno klejki elastycznej.

²⁵⁶ A. Chaigne, J. Kergomard, *Coupled Systems*, [w:] A. Chaigne, J. Kergomard (red.), *Acoustics of Musical Instruments*, New York 2016.

²⁵⁷ J. Woodhouse, *Reverse Engineering the Violin...*

²⁵⁸ A.H. Benade, *Fundamentals of Musical Acoustics*, Dover Publications 1990, s. 527–528.

²⁵⁹ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 126–127.

²⁶⁰ H.T. Nia i in., *The evolution of air resonance power efficiency in the violin and its ancestors*, „Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences” 2015, t. 471, nr 2175, DOI: 10.1098/rspa.2014.0905.

²⁶¹ *Ibidem*.

²⁶² Opisane badania wywołały polemikę ze strony środowiska lutników – zob. S. Pollens, *New research into the development of violin f-holes is simplistic at best*, „The Strad” 2015, <https://www.thestrad.com/new-research-into-the-development-of-violin-f-holes-is-simplistic-at-best/4073.article> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].



Ilustracja 12. Widok wnętrza pudła rezonansowego Autovioli w trakcie prac, widoczne ożebrowanie płyty spodniej i belka basowa na płycie wierzchniej

Dizajn ostatecznej formy instrumentu

Oprócz kwestii akustycznych czynnikiem przemawiającym za wykonaniem pudła rezonansowego Autovioli w tradycyjnej, obłej formie była również ergonomia. Ostateczna forma nawiązuje do kształtu fideli; krawędź obu płyt rezonansowych zrównana jest z boczkami instrumentu, co z jednej strony jest wyborem natury czysto estetycznej, ale z drugiej umożliwia wygodną grę w pozycji gambowej – instrument nie ma nóżki, więc cały jego ciężar podtrzymywany jest przez nogi wykonawcy. Wystające poza boczki krawędzie płyt powodowałyby przy tej technice gry wyraźny dyskomfort.

Konieczność pogodzenia względów estetycznych z funkcją oraz ergonomią instrumentu zdeterminowała jego ostateczną formę – zastosowanie strun o jednakowej grubości wymagało zróżnicowania ich długości – najdłuższa ze strun mierzy 90 cm, najkrótsza około 45 cm, czego efektem jest charakterystyczny - przypominający nieco harfę – wygląd gryfu instrumentu, z kluczami zamieszczonymi na ukośnej listwie. Dwunastostrunowy gryf musiał również umożliwić zamocowanie mechanizmów oraz elementów elektronicznych w środkowej części instrumentu.

Pod względem estetycznym forma instrumentu zainspirowana jest trzema instrumentami historycznymi – kształt pudła wzorowany jest na wspomnianej już fideli, konstrukcja i forma gryfu nawiązuje pod pewnymi względami do *violi di bordone* (zwanej również barytonem). Estetycznym punktem odniesienia dla całego instrumentu była również *lira da gamba* (zwana też *lirone*). Instrument ten, *notabene*, pełnił, podobnie jak Autoviola, przede wszystkim funkcję harmoniczną. Cechą odróżniającą Autviolę zarówno od *lirone*, jak i od większości instrumentów smyczkowych i szarpanych **jest jednak możliwość wykonywania współbrzmień złożonych z dowolnie małych interwałów (na przykład klasterów składających się wyłącznie z sekund)**, które nie są wykonalne na innych instrumentach strunowych (z oczywistym wyjątkiem instrumentów klawiszowych).



Ilustracja 13. Detal: podstawek Autovioli

Dla prawidłowego funkcjonowania mechanizmów strunowych Autovioli – a zatem skutecznego przemieszczania wybranych strun w taki sposób, aby nie miały kontaktu ze smyczkiem – kluczowym elementem był właściwy promień łuku podstawka. W ostatecznej wersji instrumentu wypukłość podstawka (a zatem różnica wysokości między strunami skrajnymi i środkowymi) wynosi około 4 mm. Wypukłość ta umożliwia – przy odpowiednim dociśnięciu smyczka – grę pełnymi akordami, pozostawiając jednak również możliwość gry na pojedynczych strunach.

Przy tak ukształtowanym podstawku, smyczek nie dotyka nieaktywnych strun nawet w najbardziej skrajnych konfiguracjach (na przykład przy dezaktywacji wszystkich strun poza skrajnymi – **c** i **h**). Skuteczność mechanizmów zależy jednak również od sposobu prowadzenia smyczka – mechanizmy przemieszczają struny o około 15 mm w okolicach połowy ich długości, ale wraz z obniżaniem pozycji smyczka (zbliżaniem go do podstawka) różnica wysokości między strunami aktywnymi a nieaktywnymi ulega oczywiście zmniejszeniu. Wykonawca musi zatem znaleźć sposób smyczkowania będący kompromisem między specyficznymi technicznymi uwarunkowaniami Autovioli a pożądanym brzmieniem.



Ilustracja 14. Działanie mechanizmów strunowych Autovioli: a) wszystkie struny aktywne, b) wszystkie struny nieaktywne

Mechanizmy strunowe Autovioli są usprawnioną wersją mechanizmów z prototypu 3. Ich główny element stanowią serwomechanizmy typu *micro* oraz przekładnia umożliwiające uzyskanie liniowego ruchu haczyków. Sporym wyzwaniem przy pracach nad ostateczną wersją Autovioli było stłumienie dźwięków generowanych przez serwomechanizmy do akceptowalnego poziomu. Rozwiązaniem zmniejszającym stopień mechanicznego przenoszenia drgań z serwomechanizmów na konstrukcję oraz pudło rezonansowe instrumentu było zastosowanie trzystopniowej wibroizolacji. Dodatkowo znajdującą się w środkowej części instrumentu przestrzeń, pełniącą funkcję obudowy na komponenty elektroniczne i mechaniczne, poddana została izolacji akustycznej poprzez wyłożenie ścian wewnętrznych matą tłumiącą z gumy butylowej. Niewielkie otwory w obudowie, przez które przeprowadzone są dźwignie haczyków, zostały częściowo uszczelnione matą neoprenową. Mechanizmy w docelowej formie wciąż emitują niepożądane dźwięki, nie dominują one jednak nad właściwym dźwiękiem instrumentu, stanowiąc w dużym stopniu pomijalny artefakt, podobnie jak świst strun w przypadku gitary klasycznej czy dźwięk skoczków w przypadku klawesynu.



Ilustracja 15. Działanie tłumików flażoletowych Autovioli: a) tłumiki podniesione, b) tłumiki opuszczone

Dodatkowym elementem umożliwiającym rozszerzenie skali instrumentu są *tłumiki flażoletowe*. Ze względu na fakt, iż struny Autovioli nie podlegają w trakcie gry skracaniu, ich węzły drgań znajdują się

zawsze w tym samym punkcie. Fakt ten umożliwił zatem skonstruowanie zestawu mechanicznych tłumików, składającego się z dwunastu regulowanych w dwóch osiach elementów zakończonych gąbkowymi tłumikami, umieszczonych na wspólnym elemencie bazowym, opuszczanym i podnoszonym za pomocą dwóch pokręteł. Każdy z tłumików – po opuszczeniu elementu bazowego – dotyka struny dokładnie w połowie jej długości, umożliwiając wydobyć drugą składową harmonicznej, a zatem *de facto* transpozycję dźwięku o oktawę w górę. Jednak ze względu na możliwość indywidualnej adjustacji każdego z tłumików wykonawca – poprzez odpowiednie ich wyregulowanie – może dokonać transpozycji dźwięku jedynie wybranych strun.



Ilustracja 16. a) detal tylnej strony Autovioli – widoczne przełączniki trybów i serwomechanizmów, gniazdo zasilania i USB, włącznik zasilania i przycisk Reset, b) detal klawiatury – widoczny zawias umożliwiający zablokowanie klawiatury pod wybranym kątem

Interfejs w postaci klawiatury stanowi w pewnym sensie element obcy dla instrumentu smyczkowego – w znakomitej większości przypadków rolę lewej ręki wykonawcy jest bezpośrednio skracanie strun. Istnieją jednak instrumenty o podobnym interfejsie – mam tu na myśli przede wszystkim lirę korbową oraz nyckelharpę. Oba instrumenty wykorzystują mechaniczną klawiaturę w postaci tzw. tangentów – dźwigni skracających struny – a rola lewej ręki jest w dużej mierze tożsama z zaproponowaną przeze mnie techniką gry na Autovioli. Zaprojektowana przeze mnie jednooktawowa klawiatura nie podlega właściwym dla wymienionych instrumentów fizycznym ograniczeniom – jest jedynie cyfrowym kontrolerem, mogącym przybrać dowolną formę. Zatem rozmiar i kształt klawiszy dobrany został pod

kątem ergonomii i wygody grającego, z kolei całość klawiatury zamontowana jest do instrumentu za pomocą zawiasu, umożliwiającego regulację kąta.

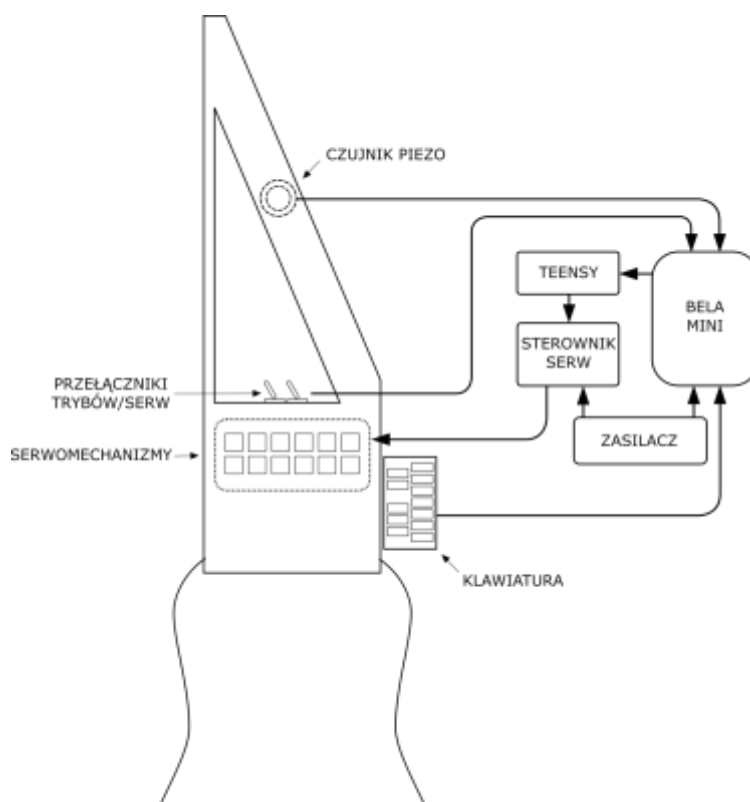


Ilustracja 17. Klawiatura Autovioli – widoczny lustrzany układ klawiszy

Podczas projektowania interfejsu użytkownika dokonałem interesującej obserwacji, iż klawiatura w tradycyjnym układzie fortepianowym (niskie dźwięki po lewej stronie, wysokie po prawej) podczas gry techniką właściwą dla instrumentów smyczkowych (wierzch dłoni skierowany ku dołowi) wprowadza dysonans poznawczy – odnosi się mianowicie wrażenie, że układ klawiszy jest odwrócony. Klawiatura z układem dźwięków jak w odbiciu lustrzanym niweluje ów dysonans, umożliwiając intuicyjną grę.

Interfejs Autovioli uzupełniony jest o dwa przełączniki; pierwszy z nich służy do przełączania cyfrowych rozszerzeń instrumentu (opisanych w podrozdziale *Oprogramowanie i kwestie wykonawcze*), drugi do podnoszenia i opuszczania wszystkich mechanizmów strunowych jednocześnie. Wybór poszczególnych trybów rozszerzeń cyfrowych sygnalizowany jest wbudowaną w instrument diodą LED.

Układ elektroniczny i elementy mechatroniczne Autovioli



Ilustracja 18. Schemat blokowy elementów mechatronicznych Autovioli

Wspomniana już centralna część instrumentu stanowi obudowę dla komponentów elektronicznych i mechanicznych instrumentu. Głównym elementem elektronicznym Autovioli jest mikrokomputer Bela Mini, umożliwiający zarówno generowanie i przetwarzanie sygnału audio²⁶³, jak i interpretację sygnałów sterujących, pochodzących z interfejsu użytkownika. Bela Mini komunikuje się za pośrednictwem protokołu szeregowego z mikrokontrolerem Teensy 3.2, wyposażonym w dodatkowy kontroler serwomechanizmów. Instrument zasilany jest z zewnętrznego dwunastowoltowego zasilacza.

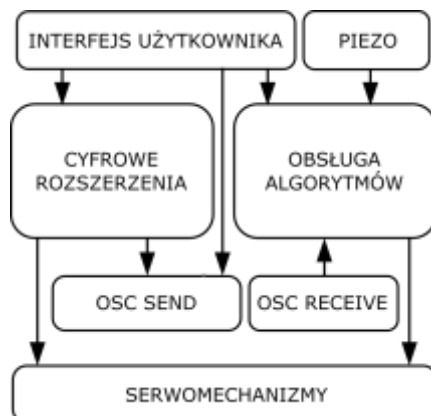
Oprogramowanie i kwestie wykonawcze

Oprogramowanie Autovioli składa się z dwóch elementów: *patcha*²⁶⁴ Pure Data, uruchamianego na minikomputerze Bela Mini, oraz skryptu uruchamianego na mikrokontrolerze Teensy 3.2, którego rolę

²⁶³ Funkcja przetwarzania sygnału audio miała pierwotnie być wykorzystana do analizy wysokości dźwięków granych przez pozostałe instrumenty. W ostatecznej wersji instrumentu ani przetwarzanie, ani generowanie dźwięku za pomocą mikrokomputera Bela Mini nie znalazło zastosowania.

²⁶⁴ Anglojęzyczne sformułowanie *patch* jest powszechnie stosowane na określenie skryptów (kodu) stworzonego w środowiskach wykorzystujących wizualną metaforę programowania, do których zalicza się Pure Data. W takim znaczeniu będzie ono używane w dalszej części pracy.

jest jedynie konwertowanie danych z *patcha* Pure Data na sygnały sterujące serwomechanizmami. *Patch* Pure Data składa się z kilku modułów; najważniejsze z punktu widzenia wykonawcy są **moduł obsługi algorytmów** oraz **moduł cyfrowych rozszerzeń**. Działanie pierwszego z wymienionych modułów opisane jest w podrozdziale 3.6.



Ilustracja 19. Schemat blokowy *patcha* Pure Data Autovioli

Moduł cyfrowych rozszerzeń wpływa jedynie na zachowanie Autovioli – jego rola jest niezależna od globalnych algorytmów sterujących całościowym systemem generatywnym, jakim jest projekt AAAA. Moduł ten odpowiada za interpretację danych pochodzących z interfejsu użytkownika (klawiatury) i ich modyfikowanie czy też augmentację – inne dla każdego z poniższych trybów:

- tryb 1. – „bezpośredni”: klawiatura bezpośrednio kontroluje ruchy mechanizmów strunowych, na przykład jednoczesne wciśnięcie klawiszy c, e oraz g dezaktywuje wszystkie pozostałe struny, umożliwiając zagranie akordu C-dur; wciśnięcie w następnej kolejności klawisza d spowoduje dezaktywację wszystkich strun (również poprzednio aktywnych) poza struną d;
- tryb 2. – „ostatnie pięć nut”: układ aktywnych strun jest odzwierciedleniem ostatnich pięciu wciśniętych klawiszy, na przykład wciśnięcie po kolei klawiszy c, d, e, g oraz h umożliwi zagranie pięciodźwięku złożonego z wymienionych nut; wciśnięcie w następnej kolejności klawiszy a oraz f# spowoduje dezaktywację dwóch „najstarszych” strun (czyli c oraz d) i aktywację strun a oraz f#, czego rezultatem będzie aktywny pięciodźwięk złożony z nut e, f#, g, a oraz h²⁶⁵;
- tryb 3. – „akordy równoległe”: klawiatura pełni dwie funkcje, w zależności od liczby wciśniętych jednocześnie klawiszy; wciśnięcie trzech lub więcej klawiszy powoduje zapisanie wybranego wóptbrzmienia w pamięci; wciśnięcie pojedynczego klawisza powoduje z kolei przywołanie ostatnio zapisanego w pamięci akordu, z transpozycją zależną od tego, jaki klawisz został wciśnięty. Prześledźmy zachowanie Autovioli w trybie 3. na następującym przykładzie:

²⁶⁵ Działanie Autovioli w trybie 2. zbliżone jest do działania instrumentu pod wpływem algorytmów 1, 3 i 6, opisanych w podrozdziale *Algorytmy*.

KLAWISZE



STRUNY

Na klawiaturze został zagrany trójdźwięk C-dur – uaktywniają się struny **c**, **e** i **g**. W kolejnym kroku wykonawca wciska klawisz **c** – uaktywnia się ostatni zapisany akord (c – e – g, czyli C-dur) bez transpozycji. Następnie wykonawca wciska dźwięk **d** – uaktywnia się ostatni zapisany akord z transpozycją o sekundę wielką w górę (d – f# – a, czyli D-dur).

Ze względu na fakt, iż skala Autovioli obejmuje tylko jedną oktawę (abstrahując od możliwości przestrojenia strun za pomocą tłumików flażoletowych), przetransponowanie akordu C-dur o interwał większy niż tercja wielka powoduje zmianę przewrotu akordu. Prześledźmy następującą sytuację: wykonawca gra kolejno pojedyncze dźwięki **f**, **g** i **a** – układ strun wciąż odzwierciedla ostatni zapisany akord, przetransponowany odpowiednio o kwartę czystą, kwintę czystą i sekstę wielką. Dźwięki, które po takiej transpozycji nie mieściłyby się w skali instrumentu, zostają automatycznie przeniesione o oktawę w dół, czego efektem jest właśnie zmiana przewrotu akordu:

KLAWISZE



STRUNY

Zagranie kolejnego wielodźwięku spowoduje nadpisanie przechowywanego w pamięci instrumentu akordu C-dur. Wciśnięciu pojedynczych klawiszy będzie następnie towarzyszyć przywoływanie i transpozycja nowo wgranego akordu:

KLAWISZE



STRUNY

Zatem tytułowe „akordy równoległe” ulegają przekształceniom poprzez zmianę przewrotu, wymuszoną ograniczeniami skali instrumentu. Pozytywnym skutkiem ubocznym tych ograniczeń jest jednak uniknięcie wrażenia monotonii, które zapewne towarzyszyłoby ściśle równoległej transpozycji akordów (bez przewrotów);

- tryb 4. – „pamięć akordów”: działa na podobnej zasadzie, co tryb 3., z tą różnicą, że oferuje możliwość zapamiętania po jednym akordzie dla każdego z dźwięków skali chromatycznej. Zatem zagranie trójdźwięku C-dur, a następnie D-moll spowoduje przypisanie tych trójdźwięków odpowiednio do klawiszy **c** i **d** – wciśnięcie klawisza **c** przywoła akord C-dur, a klawisza **d** – D-moll. Tryb 4. ma jednak pewne ograniczenie: dla nuty **c** możliwe jest wgranie niezliczonej ilości trój-, czworo- i pięciodźwięków, ale na przykład dla dźwięku **g** możliwe są już tylko cztery czterodźwięki (**g – g# – a – b**, **g – g# – a – h**, **g – g# – b – h** oraz **g – a – b – h**) i jeden pięciodźwięk (**g – g# – a – b – h**), dla dźwięku **ab** tylko trzy trójdźwięki (**ab – a – b**, **ab – a – h** oraz **ab – b – h**) i jeden czterodźwięk (**ab – a – b – h**), a dla dźwięku **a** tylko jeden trójdźwięk (**a – b – h**). Zbudowanie trój-, czworo- i pięciodźwięków bez przewrotów na dźwiękach **b** i **h** nie jest w ogóle możliwe. Możliwe jest oczywiście zastosowanie przewrotów, na przykład pierwszego przewrotu akordu B-dur (**d – f – b**), ale zostanie on wówczas przypisany do klawisza **d** Autovioli. Co ciekawe, listę wielodźwięków możliwych do zbudowania od poszczególnych nut można by w zasadzie wprost przepisać z partytury utworu *The Chords Catalogue* Toma Johnsona, opisywanego w podrozdziale 1.4.3.

Patch Pure Data, przeznaczony dla Autovioli, można pobrać ze strony krzysztofcybulski.com/aaa.php.

3.2.4. Wnioski z prac nad instrumentem

Jak wynika z powyższego opisu, **w toku kilkuetapowej pracy nad instrumentem udało się pozytywnie zweryfikować podstawową tezę – a zatem zbudować instrument umożliwiający grę akordową arco poprzez mechaniczną dezaktywację wybranych strun**. Pierwotnie zakładany środek techniczny mający umożliwić uzyskanie tej funkcjonalności – czyli zastosowanie tłumików strun – okazał się jednak nieskuteczny i musiał zostać zastąpiony mechanizmem przemieszczającym struny. Mechanizm ten spowodował również skutek uboczny w postaci zmiennego nacisku strun na płytę wierzchnią, co uniemożliwiło wykorzystanie pobocznych założeń wstępnych, czyli pływającej płyty wierzchniej wykonanej z balsy. W całym procesie najistotniejsza jednak stała się **pozytywna weryfikacja podstawowego założenia wstępnego i idących za nim możliwości wykonawczych**.

Zastosowane w Autovioli rozwiązania mechaniczne ma zauważalną wadę – ruch serwomechanizmów nie jest natychmiastowy, w związku z tym czas reakcji (dzielący wciśnięcie klawiszy od zmiany akordu) wynosi około pół sekundy. Fakt ten uniemożliwia szybką zmianę akordów czy indywidualnych dźwięków i wymaga adaptacji techniki gry (podobnie jak w przypadku organów o trakturze pneumatycznej czy *carillonu*). W praktyce szybsze przebiegi czy wartości rytmiczne można jednak uzyskać poprzez odpowiednią kombinację zmiany współbrzmień (aktywnych strun) i techniki prawej ręki (na przykład arpeggia czy pasaże na indywidualnych, aktywnych przy danym współbrzmieniu strunach).

Opisane cyfrowe rozszerzenia zwiększają możliwości Autovioli o funkcje dostępne dotychczas niemal wyłącznie w instrumentach elektronicznych, choć ich pozorna prostota może przywodzić na myśl na przykład niezbyt finezyjne struktury muzyczne generowane przez instrumenty typu *arranger keyboard* z funkcją automatycznego akompaniamentu. Rozszerzenia te jednak – w połączeniu z właściwymi dla instrumentów akustycznych możliwościami brzmieniowymi, dynamicznymi i artykulacyjnymi, oraz wynikającymi z jednooktawowej skali Autovioli specyficznymi ograniczeniami – dają w efekcie unikalne możliwości wykonawcze, nieosiągalne w przypadku ani instrumentów w pełni akustycznych, ani opartych w całości na technologii cyfrowej. **Połączenie cech obu wymienionych kategorii instrumentów czyni zatem z Autovioli instrument hybrydowy, będący praktyczną realizacją podejścia postcyfrowego.**

3.3. Aeromembranophone

3.3.1. Założenia wstępne

Aeromembranophone pełni w projekcie AAAA funkcję instrumentu rytmicznego, dysponującego jednak możliwością generowania dźwięków o określonej wysokości. Dzięki temu może stanowić pełnoprawny element systemu generatywnego, kontrolowanego algorytmami, których funkcją jest przede wszystkim wpływanie na wysokości dźwięków granych przez poszczególne instrumenty.

Pierwotnym planem na praktyczną realizację przyświecającego Aeromembranophone'owi założenia było wykorzystanie zasady działania instrumentu znanego powszechnie jako „tubafon”²⁶⁶. Mowa tu o *aerofonie perkusyjnym*²⁶⁷, w którym słup powietrza zawarty w długiej plastikowej rurze pobudzany jest do drgań za pomocą obitej gumą „packi” (na przykład rakiety pingpongowej czy podeszwy obuwia typu flip-flop). Wynalezienie „tubafonu” zwyczajowo przypisuje się Krzysztofowi Pendereckiemu^{268,269}. Wykorzystanie tego instrumentu w kompozycji *Siedem Bram Jerozolimy* z 1997 r. z pewnością przyczyniło się do jego popularyzacji w kręgach muzyki współczesnej, choć przykłady podobnych instrumentów znaleźć można choćby wśród tradycyjnego instrumentarium rejonów Oceanii²⁷⁰ – ich artystyczne wykorzystanie opisywał wcześniej Hopkin²⁷¹, a w muzyce popularnej wykorzystywane były od wczesnych lat 90. XX w. przez Blue Man Group²⁷². Niskobrzmiące instrumenty o zbliżonej zasadzie działania zastosował do celów artystycznych również w utworze *Stifters Dinge* Heiner Goebbels,

²⁶⁶ Nazwa ta jest o tyle myląca, iż istnieje również inny instrument zwany tubafonem – chromatyczny idiofon wykorzystujący metalowe rurki zamiast sztabek.

²⁶⁷ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 85–87.

²⁶⁸ *Maszyna i tubafon*, dwutygodnik.com, <https://www.dwutygodnik.com/artykul/8840-maszyna-i-tubafon.html> [dostęp: 28 maja 2024 r.].

²⁶⁹ *Wrocław | Siedem bram Jerozolimy*, https://www.polmic.pl/index.php?Itemid=196&catid=83&id=7176:wroclaw-the-seven-gates-of-jerusalem&lang=pl&option=com_content&view=article [dostęp: 28 maja 2024 r.].

²⁷⁰ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*

²⁷¹ B. Hopkin, *Percussion Aerophones*, „Experimental Musical Instruments” 1990, t. 6, nr 3, https://dn790004.ca.archive.org/0/items/emi_archive/EMI_6_3_October1990_text.pdf [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].

²⁷² *After 27 years, the Blue Man Group is using a new PVC pipe*, Mashable.com, 5 lutego 2019 r., <https://mashable.com/video/blue-man-group-pipe> [dostęp: 28 maja 2024 r.].

uzyskując osobliwe, przypominające syntezator brzmienie²⁷³. W wersjach Pendereckiego oraz Blue Man Group instrument składał się z zestawu kilkunastu rur, nastrojonych chromatycznie poprzez przycięcie do odpowiednich długości.

W pierwotnym zamyśle mój wkład w rozwój „tubafonu” zakładał wyeliminowanie konieczności korzystania z indywidualnych rur dla każdego z dźwięków skali poprzez wyposażenie pojedynczej rury w otwory boczne, na wzór instrumentów dętych drewnianych. Otwieranie i zamykanie otworów za pomocą zmechanizowanych klap miało umożliwić zmianę wysokości dźwięku poprzez zmianę długości słupa powietrza. Oprócz względów praktycznych (jeden instrument zamiast kilkunastu) rozwiązanie takie umożliwić miało cyfrową kontrolę wysokości dźwięku poprzez poruszanie klapami za pomocą cyfrowo sterowanych aktuatorów, co umożliwiłoby wykorzystanie instrumentu jako jednego z elementów systemu generatywnego.

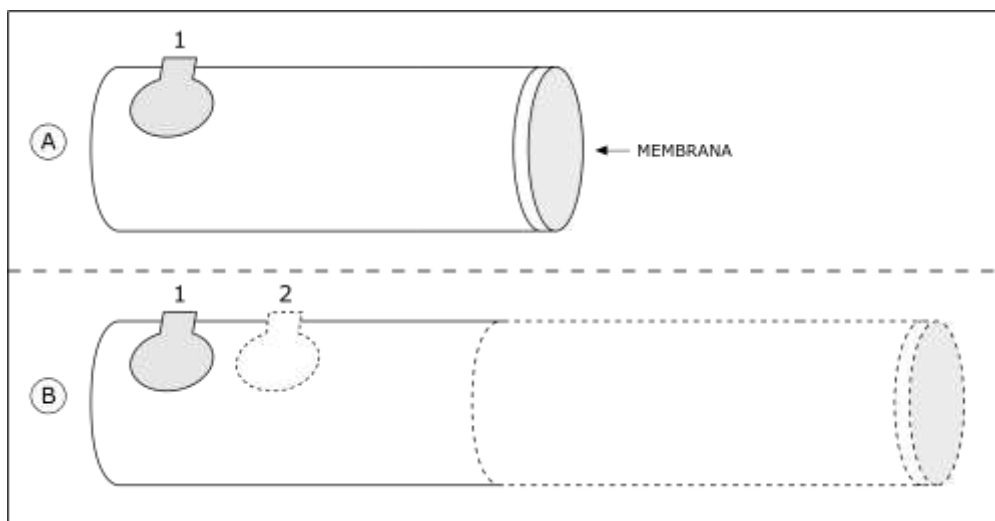
Wspomniane gumowe „packi” stanowią jednak niezbyt subtelne rozwiązanie, utrudniające wykonawcy zniuansowaną artykulację. Stąd też, przystępując do prac nad pierwszym prototypem Aeromembranophone’u, postanowiłem wyposażyć instrument w membranę, mającą jednak pełnić funkcję wyłącznie elementu pobudzającego słup powietrza do drgań. Aby spełnić ten warunek, membrana miała być wykonana z materiału o dużym stopniu tłumienia drgań własnych (na przykład neopren lub cienka mata z gęstej gąbki), dzięki czemu membrana nie miałaby tendencji do wpadania w drgania o długim czasie wybrzmienia, stanowiąc jedynie środek pobudzający do drgań zawarty w rurze słup powietrza. Zastosowanie membrany miało w zamyśle umożliwić wykorzystanie różnego rodzaju patek perkusyjnych, czyli standardowego dla perkusistów rozwiązania, umożliwiającego – w odróżnieniu od wspomnianej wcześniej „packi” – zastosowanie wszelkich technik perkusyjnych, takich jak tremolo czy *paradiddle*. Pierwszy prototyp zbudowałem na bazie rury o długości 1 m i średnicy 20 cm (~8 cali) – taka średnica membrany miała umożliwić wykonawcy zastosowanie wymienionych wyżej technik.

Pierwsze eksperymenty, przeprowadzone z przyczyn praktycznych z wykorzystaniem standardowej, niewytłumionej membrany (naciągu perkusyjnego²⁷⁴, który miałem do dyspozycji) przyniosły jednak zaskakujące, kontrintuicyjne rezultaty: wraz z odstawianiem wywierconych w korpusie bębna otworów bocznych częstotliwość dźwięku – a więc i drgań membrany – zmieniała się²⁷⁵. Co jednak wydawało się jeszcze bardziej zaskakujące, różnica interwałowa towarzysząca odstawianiu danego otworu zmieniała się w zależności od stroju membrany – tak jakby wraz z przestrajaniem membrany w dół następowało niejako *wirtualne wydłużenie słupa powietrza*.

²⁷³ L. Matthews, *Heiner Goebbels's Stiffters Dinge and the Arendtian Public Sphere*, „Performance Philosophy” t. 5 (2019), DOI: 10.21476/PP.2019.51271.

²⁷⁴ Sformułowanie „naciąg perkusyjny” stosowane jest powszechnie na określenie produkowanych fabrycznie membran zintegrowanych z metalową ramką.

²⁷⁵ Po dokładniejszej ewaluacji stało się jasne, iż zmiana częstotliwości dotyczy tylko tonu podstawowego; częstotliwości kolejnych składowych pozostają bez zmian.



Ilustracja 20. Przykład opisywanego w tekście „wirtualnego wydłużenia słupa powietrza”, następującego wraz z przestrojeniem membrany: a) membrana nastrojona na dźwięk wyjściowy – otwarcie kłapy 1 powoduje podwyższenie dźwięku o określony interwał (przykładowo – sekundę wielką), b) membrana przestrojona o oktawę w dół – wirtualny słup powietrza ulega wydłużeniu, otwarcie kłapy 1 powoduje podwyższenie dźwięku jedynie o połowę wyjściowego interwału (sekundę małą); dla uzyskania zmiany wysokości dźwięku o wyjściowy interwał kłapa musiałaby znajdować się w punkcie 2

Eksperymenty te skłaniały do ciekawych wniosków – membrana i zawarty w korpusie instrumentu słup powietrza, zamiast zachowywać się jak dwa niezależne generatory, zdawały się współtworzyć jeden, wspólny generator.

Poszukiwania teoretycznego wyjaśnienia tego zjawiska doprowadziły mnie pierwotnie do lakonicznej informacji, zawartej w historycznej publikacji *Fundamentals of Musical Acoustics* Arthura H. Benade:

Istotne jest, aby nie wpaść w pułapkę myślenia o modach słupa powietrza oraz membrany jako o odrębnych systemach (...). Powietrze i membrana stanowią pojedynczy system, składający się z dwóch elementów o równie istotnym wpływie na częstotliwość oraz ogólną formę drgań²⁷⁶.

Wpływ sztywności ścian zewnętrznych na zachowanie aerofonów opisuje również od strony praktycznej Hopkin²⁷⁷. Pełne teoretyczne wytłumaczenie tego zjawiska oferuje publikacja *Acoustics of Musical Instruments*, kategoryzując podobne złożone zależności pomiędzy poszczególnymi elementami instrumentów jako systemy sprzężone (*coupled systems*)^{278,279}.

Puła membranofonów o wyraźnie określonej wysokości dźwięku jest stosunkowo niewielka. Podzbiór należących do tej puli instrumentów umożliwiających zmianę wysokości dźwięku w trakcie gry jest jeszcze mniejszy – składają się nań w zasadzie wyłącznie kotły, *rototomy* (mające jednak niebył wyraźnie

²⁷⁶ „It is important for us not to fall into the trap here of thinking of air modes and drumhead modes as being actually distinct systems (...). The air and the head make up a single system the two parts of which are of equal importance in determining the frequencies and overall vibrational shapes” (A.H. Benade, *Fundamentals of Musical Acoustics...*, s. 143).

²⁷⁷ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 82.

²⁷⁸ A. Chaigne, J. Kergomard, *Coupled Systems...*

²⁷⁹ O systemach sprzężonych była już mowa w podrozdziale *Autoviola*.

zarysowaną wysokość dźwięku, ze względu na brak korpusu), indyjska *idakkā*²⁸⁰ oraz *skin udu* – wariacja opartego na zasadzie działania rezonatora Helmholtza aerofonu perkusyjnego, wyposażona dodatkowo w membranę. Spośród opisanego podzbioru jedynym instrumentem umożliwiającym – podobnie jak Aeromembranophone – niezależną kontrolę częstotliwości rezonansowej zawartego w korpusie powietrza i napięcia membrany jest wariant *skin udu* z przestrajającym naciągami^{281,282}. Ponieważ instrument ten ma formę *globular flute*²⁸³, zmiana częstotliwości rezonansowej masy powietrza następuje w jego przypadku poprzez zastanianie dłonią pojedynczego otworu, co uniemożliwia precyzyjną kontrolę wysokości dźwięku. Zatem – według mojej najlepszej wiedzy – Aeromembranophone jest pierwszym instrumentem umożliwiającym praktyczną obserwację wpływu stopnia naprężenia membrany na częstotliwość rezonansową systemu sprzężonego (złożonego z membrany i słupa / masy powietrza). Fakt ten częściowo wyjaśnia pierwotne trudności ze znalezieniem wyjaśnienia zaobserwowanego przeze mnie zjawiska „wirtualnego wydłużania słupa powietrza”.

Na skutek przeprowadzonego eksperymentu postanowiłem zrezygnować z planowanego pierwotnie wykorzystania wytłumionej, gąbkowej membrany i wyposażyć Aeromembranophone w klasyczny perkusyjny naciąg, umożliwiający pełniejsze wykorzystanie tradycyjnych technik perkusyjnych.

3.3.2. Opis prac nad instrumentem

Prototyp 1.

Prototyp 1. posłużył do przeprowadzenia wstępnych testów i eksperymentów, uwidaczniając między innymi opisanie wcześniej zachowanie membrany i słupa powietrza jako systemu sprzężonego. W jego skład weszły następujące elementy:

- korpus w postaci rury PCV o długości 100 cm, średnicy 20 cm i grubość ścianki 5 mm; średnica 20 cm odpowiada w przybliżeniu wykorzystywanej w niewielkich instrumentach perkusyjnych średnicy 8 cali, umożliwiając wykorzystanie standardowych, fabrycznych naciągów i obręczy;
- otwory boczne o różnych średnicach (100 mm, 90 mm, 85 mm), nawiercone w celu eksperymentalnego znalezienia właściwej średnicy;
- otwory zakończone wydrukowanymi w technice FDM²⁸⁴ kominkami, umożliwiającymi zastosowanie płaskich klap;
- kłapy wykonane z uszczelnionej neoprenem płyty z materiału hips;

²⁸⁰ K. Jose, A. Chatterjee, A. Gupta, *Acoustics of Idakkā: An Indian snare drum with definite pitch*, „The Journal of the Acoustical Society of America” 2018, t. 143, nr 5, DOI: 10.1121/1.5038111.

²⁸¹ *Skin Udu® L tuneable*, Percussion handmade in Germany – Schlagwerk, <https://www.schlagwerk.com/en/products/ethno-drums/udu-drums/skin-udu/skin-udur-l-tuneable> [dostęp: 6 czerwca 2024 r.].

²⁸² *SUD1*, Doyek, <https://www.doyek.com/mobile/ProductDetails/8/SUD1> [dostęp: 6 czerwca 2024 r.].

²⁸³ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 63.

²⁸⁴ Skrót od *fused deposition modeling*, oznaczającego technikę druku 3D z wykorzystaniem tzw. filamentu z materiałów PLA lub ABS.

- mechanizmy zamykania klap wykorzystujące solenoidy (elektromagnesy z ruchomym rdzeniem) i dźwignie wydrukowane w technice FDM;



Ilustracja 21. Model 3D mechanizmu klapowego prototypu 1. Aeromembranophone'u

Pierwszy prototyp uwidoczniał kluczowe parametry wpływające na efektywność generowania dźwięku przez Aeromembranophone:

- stosunek średnicy rury do jej długości: mniejsza średnica daje dźwięk z mniejszą ilością niskich częstotliwości (relatywnie cichszym tonem podstawowym);
- stosunek średnicy otworów klapowych do średnicy rury: przy otwartych klapach instrument uzyskuje optymalną głośność i długość wybrzmienia dźwięku wówczas, gdy średnica otworu bocznego jest nie mniejsza niż połowa średnicy rury.

W prototypie 1. proporcja długości rury do jej średnicy wynosiła 5:1; stosunek rozmiarów otworu bocznego o średnicy 10 cm do średnicy rury wynosił 1:2. Oba parametry wydawały się optymalne dla akustyki instrumentu. Dziesięciocentymetrowe otwory boczne wymagały jednak zastosowania relatywnie dużych klap, o sporej bezwładności, stanowiącej wyraźną przeszkodę dla zastosowanych w pierwszym prototypie mechanizmów. Elektromagnesy z ruchomym rdzeniem (solenoidy) o nominalnym udźwigu 3 kg poruszały klapami z zauważalnym trudem. Wyzwanie stanowiło również szczelne dociśnięcie klapy do kominka (szczelność klap jest niezwykle istotna z punktu widzenia czasu wybrzmienia dźwięku). Zmniejszenie średnicy otworów oraz klap do 8 cm znacznie poprawiło sytuację z mechanicznego punktu widzenia, miało jednak negatywny wpływ na brzmienie instrumentu (średnica otworu bocznego stała się mniejsza niż połowa średnicy korpusu). Istotną wadą solenoidów jest również fakt, iż utrzymanie ich w pozycji zamkniętej (a zatem domknięcie klap instrumentu) wymaga stałego dostarczania napięcia; to z kolei powoduje przegrzewanie się solenoidów, a w rezultacie odkształcanie wydrukowanych z materiału PLA elementów mechanizmu klapowego.

Wnioski z opisanych obserwacji zostały uwzględnione przy pracach nad kolejną iteracją instrumentu.

Prototyp 2.

Zastosowanie otworów bocznych o średnicy 8 cm wymagało zmniejszenia średnicy rury w celu utrzymania właściwej proporcji między tymi parametrami. Aby możliwe było zastosowanie typowych

naciągów perkusyjnych, średnica rury musi odpowiadać w przybliżeniu standardowym średnicom instrumentów perkusyjnych, wyrażanych w calach, zatem drugi prototyp został zbudowany na bazie rury o średnicy 15 cm. W prototypie 2. wykorzystałem również inne rozwiązanie mechanizmu klapowego:

- korpus w postaci rury PCV o długości 1 m i średnicy 15 cm (6 cali); w toku poszukiwań półproduktu (rury) spełniającego podane parametry podjąłem decyzję o zastosowaniu rury PCV wykorzystywanej w systemach klimatyzacyjnych. Półprodukt ten ma jednak ściankę o niewielkiej grubości (1,5 mm), czego efektem jest niewystarczająca sztywność rury, wpływająca negatywnie na czas wybrzmienia dźwięku;
- mechanizm zamykania klap oparty na akuatorze liniowym z silnikiem prądu stałego, stosowanym w zamkach centralnych; mechanizm wykorzystuje elementy wykonane w technice druku 3D oraz niewielkie łożyska kulkowe; mechanizm umożliwia blokadę klapy w pozycji zamkniętej, bez potrzeby stałego dostarczania napięcia do silnika.



Ilustracja 22. Widok mechanizmu klapowego prototypu 2. Aeromembranophone'u

Prototyp 2. był pierwszą kompletną wersją instrumentu – umożliwiającą wydobycie dźwięków z zakresu oktawy, a zatem przetestowanie zarówno aspektów brzmieniowych i wykonawczych, jak i możliwości muzycznych instrumentu. Został wykorzystany do wstępnych konsultacji z wykonawcą, jak również do pierwszych dwóch prób zespołowych. Na podstawie konsultacji oraz obserwacji cech instrumentu w kontekście pełnego zespołu instrumentów, wyciągnąłem następujące wnioski:

- podstawowe założenie instrumentu (zatem możliwość wydobycia skali chromatycznej w zakresie jednej oktawy z pojedynczego bębna) została zweryfikowana pozytywnie;
- czas wybrzmienia dźwięków był wyraźnie krótszy od wybrzmienia standardowych instrumentów membranowych;
- membrana o średnicy 6 cali utrudniała zastosowanie wielu technik wykonawczych;
- zastosowane akulatory liniowe wraz z mechanizmem blokującym wyeliminowały co prawda konieczność stałego dostarczania napięcia w zamkniętej pozycji klap, poziom głośności samych akuatorów okazał się jednak zbyt wysoki w stosunku do właściwych

dźwięków instrumentu oraz instrumentów pozostałych, a zatem nieakceptowalny z muzycznego punktu widzenia.

Czas wybrzmienia oraz niesatysfakcjonująca z punktu widzenia techniki gry średnica membrany stały się punktem wyjścia do eksperymentów, których owocem było powstanie prototypów 3. i 4. Na podstawie konsultacji z wykonawcą doszedłem do wniosku, iż zwiększenie średnicy membrany może wpłynąć korzystnie nie tylko na komfort gry, ale również na zwiększenie czasu wybrzmienia dźwięków. Problem ten został ostatecznie rozwiązany w akceptowalny sposób w prototypie 5.

Prototyp 3.

Aby zwiększyć średnicę membrany, jednocześnie zachowując optymalne rozmiary klap, postanowiłem przetestować eksperymentalną formę korpusu bębna, mającego postać rury o średnicy 15 cm, rozszerzającej się jedynie w górnej części, w stopniu umożliwiającym zamontowanie membrany o większej średnicy:

- seria trzech prototypów, testujących rozwiązanie z poszerzoną krawędzią korpusu, mającą na celu umożliwienie wykorzystania membrany o większej średnicy przy zachowaniu piętnastocentymetrowej średnicy zasadniczej części korpusu:
 - 3a: poszerzenie krawędzi korpusu w formie stopniowo rozszerzającego się „kielicha” wykonanego w technice druku 3D; kielich został dostosowany do membrany o średnicy 10 cali;
 - 3b: jw., naciąg o średnicy 12 cali.

Powyższe prototypy, mimo zwiększenia komfortu gry oraz umożliwienia zastosowania szerszej palety technik wykonawczych, nie rozwiązały problemu zasadniczego, czyli zbyt krótkiego czasu wybrzmienia dźwięku. Uznając, iż przyczyną tego stanu rzeczy może być wykorzystany do budowy kielicha materiał o zbyt małej gęstości i sztywności (wydruk 3D z materiału PLA), skonstruowałem kolejny prototyp:

- 3c: poszerzenie krawędzi w formie skokowej zmiany średnicy korpusu; rozwiązanie wykonane na bazie elementów sklejkowych, naciąg o średnicy 10 cali.

Zmiana materiału kielicha również nie przyniosła oczekiwanych rezultatów. Kolejny prototyp był zatem próbą wykonania instrumentu w oparciu o nieco odmienne założenia.

Prototyp 4.

Korpus prototypu 4. ma formę sześciangu, pełniącemu funkcję rezonatora Helmholtza. Rozwiązanie to stosowane jest w instrumentach z rodziny *globular flute*²⁸⁵, na przykład okarynie; znalazło również

²⁸⁵ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 63.

zastosowanie w instrumentach perkusyjnych, takich jak afrykańskie udu²⁸⁶ oraz jego liczne tradycyjne i współczesne warianty. Główną cechą tak skonstruowanych instrumentów jest fakt, iż parametrami decydującymi o wysokości dźwięku są objętość rezonatora oraz sumaryczne pole powierzchni otworów bocznych. Zatem – inaczej niż w przypadku tradycyjnych instrumentów z drgającym słupem powietrza – samo rozmieszczenie otworów nie wpływa na wysokość dźwięku. Rozmiar otworów ma jednak wpływ nie tylko na wysokość, ale i inne parametry dźwięku – mniejszy otwór daje dźwięk nie tylko niższy, ale i cichszy; efektem zastosowania zbyt dużego otworu jest z kolei słabo zdefiniowana wysokość dźwięku. Cecha ta spowodowała, że w przypadku prototypu 4. Aeromembranophone'u – mimo iż spełniającego podstawowe założenia – nie udało się uzyskać oczekiwanej, jednooktawowej skali.



Ilustracja 23. Prototypy 3a, 3c oraz 4. Aeromembranophone'u

²⁸⁶ B. Anderson, B. Hilton, F. Giorgini, *Equivalent circuit modeling and vibrometry measurements of the Nigerian-origin Udu Utar drum*, „The Journal of the Acoustical Society of America” 2013, t. 133, DOI: 10.1121/1.4789892.

3.3.3. Prototyp 5. – ostateczna wersja instrumentu



Ilustracja 24. Prototyp 4. Aeromembranophone'u

Na podstawie wniosków z budowy poprzednich prototypów, testów praktycznych oraz konsultacji z instrumentalistą, podczas prac nad ostateczną wersją Aeromembranophone'u powróciłem do części rozwiązań zastosowanych w prototypie 2., próbując jednak zmodyfikować te elementy, które w najbardziej oczywisty sposób mogły mieć negatywny wpływ na kluczowe parametry instrumentu (czas wybrzmienia oraz głośność mechanizmów):

- korpus o długości 100 cm i średnicy 15 cm został wykonany z rury akrylowej (plexi) o grubości 3 mm²⁸⁷; materiał ten wykazuje znacznie większą sztywność niż materiał zastosowany w prototypie 2., wpływając tym samym korzystnie na czas wybrzmienia dźwięku;
- mechanizmy klapowe zostały zaprojektowane od nowa w oparciu serwomechanizmy, wytłumione akustycznie i poddane wibroizolacji; zastosowane w prototypie 2. rozwiązanie z zatraskującym się mechanizmem zostało zachowane;

²⁸⁷ Zastosowany w prototypie 5. półprodukt – rura akrylowa – był przeze mnie rozważany już podczas prac nad prototypem 2., jednak duża kruchość tego materiału budziła obawy co do możliwości skutecznego nawiercenia otworów bocznych. Podczas prac nad prototypem 5. wykonałem specjalny uchwyt, umożliwiający stabilne prowadzenie otwornicy; wiertarka kolumnowa, wykorzystywana do tego zadania, została dodatkowo ustawiona na niewielką prędkość oraz obroty lewostronne – czynniki te znacznie zniwelowały ryzyko uszkodzenia akrylowej rury podczas nawierć, choć wydłużyły czas pracy do około 20 minut dla pojedynczego otworu.



Ilustracja 25. Model 3D mechanizmu klapowego prototypu 5. Aeromembranophone'u, widoczna dźwignia klapowa oraz serwomechanizm z orczykiem zakończonym rolką, umieszczony w dodatkowej dźwiękoszczelnej obudowie

- precyzyjne wykonanie mechanizmu pozwoliło na zminimalizowanie rozmiaru klap (w poprzednich prototypach średnica klap miała kilkumilimetrowy zapas, co zwiększało ich masę i bezwładność);
- otwory boczne mają średnicę 8,5 cm, co daje korzystniejszy stosunek do średnicy rury, przyczyniający się do zwiększenia czasu wybrzmienia dźwięku;
- instrument zawieszony jest na statywie, podpierającym korpus jedynie w trzech punktach, co umożliwia swobodne drgania korpusu, mające również wpływ na czas wybrzmienia.

Powyższe modyfikacje pozwoliły na uzyskanie znacznej poprawy problematycznych parametrów brzmienia instrumentu – czas wybrzmienia dźwięku uległ zwiększeniu, a zmodyfikowana konstrukcja mechanizmów klapowych niemal całkowicie zniwelowała towarzyszące ich pracy niepożądane dźwięki. nierozwiązane pozostało zagadnienie niewielkiej średnicy membrany Aeromembranophone'u, stanowiącej ograniczenie z punktu widzenia techniki gry na instrumencie. Jednak wobec uzyskania wyraźnej poprawy brzmienia niedogodność ta została zaakceptowana przez wykonawcę jako immanentna cecha instrumentu.

Otwory i kłapy



Ilustracja 26. Detal kłap prototypu 5. Aeromembranophone'u – zamknięte, półotwarte, otwarte

Rozmieszczenie otworów kłapowych było przedmiotem eksperymentów prowadzonych na etapie prac nad prototypami 1., 2. i 5. Znalezienie właściwego rozstawu otworów (nawet w przypadku tradycyjnych aerofonów), mimo zaawansowanego stanu wiedzy z dziedziny akustyki instrumentów muzycznych, stanowi nadal pewne wyzwanie. W instrumentach takich jak klarnet czy obój grubość ścianki korpusu ma wpływ na wysokość dźwięków poprzez nieznaczne wydłużenie słupa powietrza; zjawisko to jest jeszcze bardziej wyraźne w przypadku stosowanych w saksofonach kominków. Kalkulacje muszą być zatem prowadzone dla każdego z otworów z osobna, a w praktyce i tak z reguły wymagają korekty opartej na empirycznych obserwacjach^{288,289}. W przypadku Aeromembranophone'u dodatkowy poziom złożoności wynika z interakcji między słupem powietrza a membraną, stanowiącymi wspólny system sprzężony.

Rozmieszczenie kłap w ostatecznej wersji instrumentu było zatem wypadkową obserwacji przeprowadzonych przy pracach nad prototypami 1. i 2. Nie mniej istotnym wnioskiem z wcześniejszych eksperymentów była konstatacja, iż żadna z kłap nie gwarantuje stuprocentowej szczelności, zatem zwiększanie ich liczby wpływa niekorzystnie na czas wybrzmienia dźwięku. Pierwotnie zakładane wyposażenie instrumentu w jedenaście kłap (po jednej dla każdego dźwięku skali chromatycznej, dźwięk najniższy wydobywany przy zamknięciu wszystkich kłap) ustąpiło zatem miejsca rozwiązaniu nieco kompromisowemu (w praktyce przynoszącemu jednak dwie istotne korzyści) – docelowe rozmieszczenie otworów odpowiada w przybliżeniu skali diatonicznej; pozostałe dźwięki skali chromatycznej są wydobywane poprzez zastosowanie różnych kombinacji otwartych i zamkniętych kłap,

²⁸⁸ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*, s. 83–84.

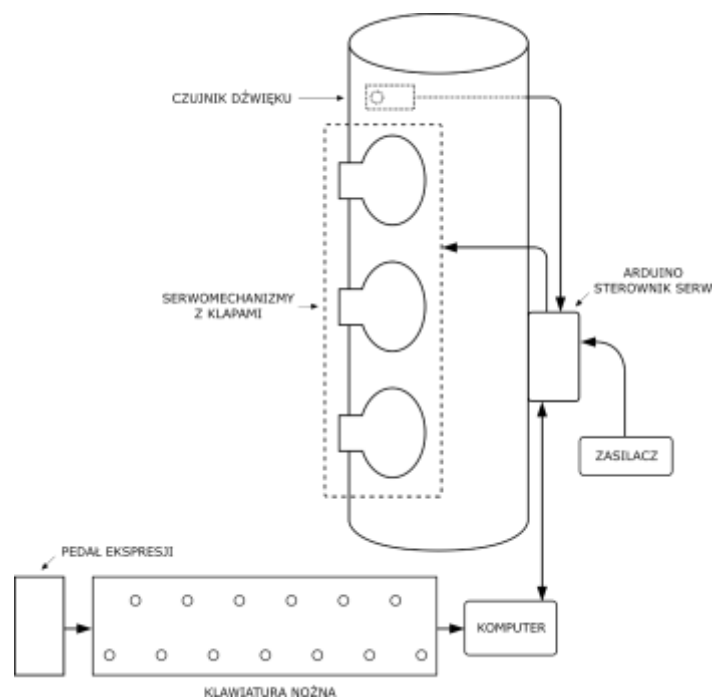
²⁸⁹ A.H. Benade, *Fundamentals of Musical Acoustics...*, s. 447–462.

co jest odpowiednikiem stosowanych przy grze na instrumentach dętych drewnianych **chwytów widełkowych**. Korzyści wynikające z tego rozwiązania są następujące:

- zmniejszenie liczby klap (z planowanych jedenastu do siedmiu) minimalizuje negatywny wpływ, jaki na czas wybrzmienia dźwięku ma niepełna szczelność klap;
- zastosowanie „chwytów widełkowych” umożliwiło korektę nieczystej intonacji niektórych dźwięków, wynikającej z niedoskonałego rozmieszczenia otworów klapowych.

Skutkiem ubocznym zastosowania chwytów widełkowych są dostrzegalne różnice w głośności i **sile wysokości** poszczególnych nut; w praktyce niedoskonałości te są kompensowane poprzez odpowiednie dostosowanie techniki gry przez wykonawcę.

Komponenty elektroniczne i interfejs użytkownika



Ilustracja 27. Schemat blokowy Aeromembranophone'u

Aeromembranophone – jako jedyny ze zbudowanych przeze mnie instrumentów – wykorzystuje jako centralny element układu elektronicznego tradycyjny komputer (laptop) z systemem operacyjnym Windows, w miejsce zastosowanego w pozostałych instrumentach minikomputera Bela Mini. Rozwiązanie to zostało podyktowane faktem iż – w odróżnieniu od pozostałych instrumentów – Aeromembranophone jest instrumentem stacjonarnym, umieszczonym na statywie, a elementy jego interfejsu użytkownika przystosowane są do obsługi nogami przez siedzącego wykonawcę. Wykorzystanie standardowego komputera ułatwiło *debugging* oprogramowania, w szczególności stworzonego dla instrumentu *patcha* Pure Data. W tym miejscu warto zaznaczyć, że Bela Mini – mimo iż

pozwała na wykorzystanie *patchy* Pure Data – nie umożliwia ich edycji; edycja ta ma zatem miejsce na standardowym komputerze, a zaktualizowane wersje *patcha* muszą być każdorazowo wgrywane na mikrokomputer. Bela Mini interpretuje też niektóre moduły Pure Data w odmienny sposób niż wersje Pure Data przeznaczone dla systemów operacyjnych Windows, Mac OS czy Linux, czego efektem bywa konieczność dostosowywania *patchy* – skądinąd poprawnie zaprogramowanych – dla specyficznych potrzeb tego mikrokomputera.

Patch Pure Data interpretuje dane pochodzące z interfejsu użytkownika, czujnika dźwięku i komunikatów OSC wysyłanych przez pozostałe instrumenty oraz *patch* główny AAAA_OSC_master. Na podstawie tych danych generowane są sygnały sterujące, wysyłane następnie do mikrokontrolera Arduino, kontrolującego za pośrednictwem sterownika ruchu serwomechanizmów poruszających klapami instrumentu.

Interfejs użytkownika instrumentu składa się z klawiatury nożnej, której układ odzwierciedla jedną oktawę klawiatury fortepianowej. Dodatkowy przycisk, znajdujący się między przyciskami D# i F#, odpowiada za selekcję jednego z dwóch trybów cyfrowych rozszerzeń instrumentu. Drugim elementem interfejsu jest pedał ekspresji, kontrolujący prędkość ruchu mechanizmów klapowych, co pozwala na zmianę charakteru przejścia między nutami – od zmian szybkich po powolne glissanda. Szybkim zmianom towarzyszyć może odgłos dociskania klap²⁹⁰, wzbudzający rezonans o określonej wysokości dźwięku.

Wewnątrz korpusu Aeromembranophone’u umieszczony jest moduł „czujnika dźwięku”, składający się z mikrofonu elektretowego z przedwzmacniaczem i układem komparatora, wysyłającym do mikrokontrolera Arduino informację o przekroczeniu określonego poziomu głośności. Dane z czujnika – niosące *de facto* informację o tym, czy wykonawca gra, czy też pauzuje – wykorzystywane są przez pozostałe instrumenty podczas realizacji Algorytmu 4., opisanego szczegółowo w podrozdziale 3.6.

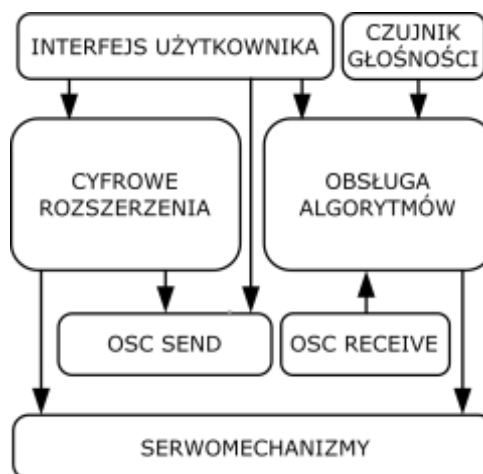
²⁹⁰ Efekt ten występuje tylko przy niektórych nutach. Podobnie – płynne glissanda udaje się uzyskać tylko podczas przejścia między określonymi parami nut.



Ilustracja 28. Aeromembranophone – widok z góry, widoczny czujnik głośności

Oprogramowanie i kwestie wykonawcze

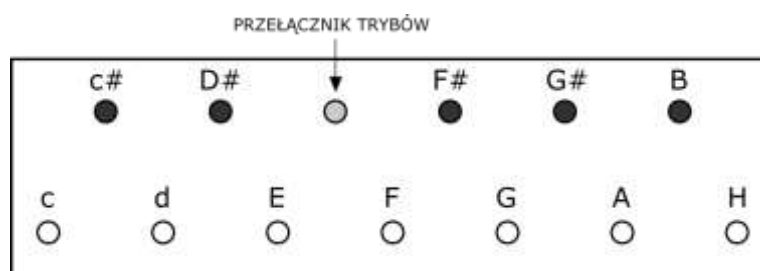
Oprogramowanie Aeromembranophone’u – podobnie jak w przypadku Autovioli – składa się z dwóch elementów: *patcha* Pure Data oraz skryptu uruchamianego na mikrokontrolerze Arduino Uno, którego rolą jest jedynie konwertowanie danych z Pure Data na sygnały sterujące serwomechanizmami oraz przekazywanie do *patcha* danych pochodzących z czujnika głośności. Struktura *patcha* jest podobna jak w przypadku Autovioli, choć realizacja poszczególnych funkcji różni się znacznie ze względu na odmienną zasadę działania obu instrumentów. *Patch* składa się z kilku modułów; najistotniejsze z punktu widzenia wykonawcy są **moduł obsługi algorytmów** oraz **moduł cyfrowych rozszerzeń**. Działanie pierwszego z nich opisane jest w podrozdziale *Algorytmy*.



Ilustracja 29. Schemat blokowy *patcha* Pure Data Aeromembranophone’u

Moduł cyfrowych rozszerzeń *patcha* Aeromembranophone'u oferuje następujące tryby:

- tryb 1. – „bezpośredni”: przyciski klawiatury nożnej bezpośrednio kontrolują układ klap instrumentu. Skala Aeromembranophone'u w ostatecznej wersji obejmuje nuty E_b–d. Podejmując decyzję o relacjach między przyciskami klawiatury nożnej a nutami instrumentu, rozważałem możliwość potraktowania Aeromembranophone'u jako instrumentu w stroju E_b, transponującego o tercję małą w górę. Jednak ze względu na fakt, iż ukończony wcześniej Post-Digital Sax jest instrumentem transponującym, co powoduje pewne komplikacje z punktu widzenia kontrolujących zachowanie instrumentów algorytmów, postanowiłem zrezygnować z dalszego komplikowania relacji między dźwiękami poszczególnych instrumentów – Aeromembranophone pozostał zatem instrumentem nietransponującym. Skutkiem ubocznym tej decyzji jest wielkoseptymowy przeskok, występujący podczas naprzemiennego wciskania na klawiaturze nożnej przełączników odpowiadającym nutom d i e_b. W drodze konsultacji z wykonawcą uznałem jednak to rozwiązanie za akceptowalny kompromis;

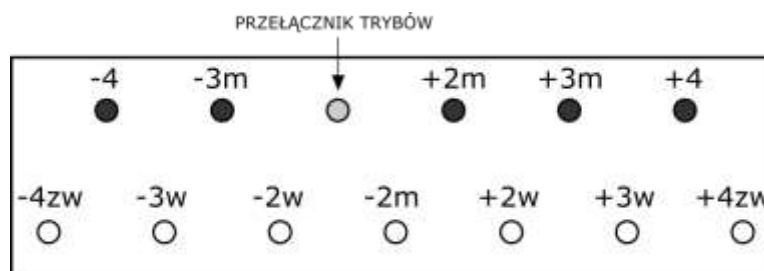


Ilustracja 30. Układ dźwięków na kontrolerze nożnym Aeromembranophone'u

- tryb 2. – „relatywna zmiana wysokości dźwięku”: tryb ten umożliwia nietypową formę interakcji z instrumentem, której realizacja z wykorzystaniem czysto akustycznych instrumentów jest nieosiągalna: poszczególne przyciski klawiatury nożnej, miast przywoływać konkretną nutę, dokonują transpozycji ostatnio zagranej nuty o określony interwał. Przykładowo – biorąc jako punkt wyjścia nutę **c**:
 - powtarzalnemu wciskaniu klawisza **g**, odpowiadającego w trybie 2. za transpozycję dźwięku o sekundę wielką w górę, towarzyszyć będzie sekwencja nut należących do skali całotonowej: **d – e – f# – g# – a# – c – d** itd.;
 - naprzemienne wciskanie klawiszy **g#** i **f**, czyli transpozycja dźwięku na przemian o tercję małą w górę o sekundę małą w dół, wygeneruje sekwencję **e_b – d – f – e – g – f# – a – g# – h – b – d_b – c** itd.

Podobnie jak w przypadku trybu 3. („akordy równoległe”) Autovioli, przekroczenie skali Aeromembranophone'u przez postępującą w górę progresję powoduje automatyczną transpozycję nut

o oktawę w dół. Inspiracją dla opisanego rozwiązania był instrument Samchillian Tip Tip Tip Cheeepheeee²⁹¹ (sic).



Ilustracja 31. Układ dźwiękowy kontrolera Aeromembranophone'u dla trybu 2.

Patch Pure Data przeznaczony dla Aeromembranophone'u można pobrać ze strony krzysztofcybulski.com/aaaa.php.

Dizajn ostatecznej formy instrumentu

Spośród trzech zbudowanych przeze mnie w ramach prac nad projektem AAAA instrumentów Aeromembranophone pozostawiał najmniejsze pole do inwencji w dziedzinie formy i estetyki wizualnej. Oczywiście samo połączenie cech instrumentu perkusyjnego i dętego drewnianego w jednym instrumencie jest rodzajem komunikatu estetycznego – widoczne „na pierwszy rzut oka” rozpoznawalne elementy obu grup instrumentów zdradzają faktyczną zasadę działania Aeromembranophone'u.

Wymagania akustyczne i mechaniczne, jakie spełnić musiała konstrukcja instrumentu, w dużej mierze zdeterminowały jego ostateczną formę. Aeromembranophone jako jedyny z instrumentów nie jest wykonany z drewna; dobór kolorów (biel korpusu i czerń mechanizmów klapowych) podkreśla tę odrębność, niemniej jednak minimalistyczna estetyka sprawia, iż nie dominuje on nad pozostałymi instrumentami.

Aeromembranophone umieszczony jest na statywie podtrzymującym instrument pod kątem około 30°, co sprzyja ergonomicznej pozycji podczas gry.

3.3.4. Wnioski z prac nad instrumentem

Wspomniana kategoria *siły wysokości* – wprowadzona do polskich badań nad percepcją wysokości dźwięku przez Andrzeja Rakowskiego²⁹² i rozwinięta w licznych badaniach i publikacjach przez prof. Tomirę Rogalę również w odniesieniu do dźwięków instrumentów muzycznych^{293,294} – jest istotnym kryterium postrzegania właściwości brzmieniowych Aeromembranophone'u. Jak zaznaczyłem we

²⁹¹ B. Smith, A.B. Acker, *Samchillian*, t. 1, Oxford 2016.

²⁹² A. Rakowski, *Pitch strength, pitch value and pitch distance*, „Acustica – Acta Acustica” 1996, t. 82.

²⁹³ T. Rogala, *Identyfikacja melodii jako metoda badania siły wysokości dźwięku*, „Muzyka. Kwartalnik Instytutu Sztuki Polskiej Akademii Nauk” 2010, t. 55, nr 4.

²⁹⁴ *Eadem*, *Siła wysokości dźwięków muzycznych. Praca doktorska*, Katedra Akustyki Muzycznej UMFC, Warszawa 2008.

wstępie niniejszego podrozdziału, otwieraniu i zamykaniu klap instrumentu towarzyszy zmiana wysokości jedynie tonu podstawowego instrumentu; pozostałe składowe, generowane przez drgania membrany, nie zmieniają wysokości, stanowiąc w pewnym sensie komponent złożony z szumu i ze składowych nieharmonicznych, stale towarzyszący tonowi podstawowemu o określonej wysokości dźwięku. Stopień intensywności komponentu szumowego zależy jednak od zastosowanej techniki gry – dynamiki, artykulacji oraz zastosowanych pałek perkusyjnych. Pałki z miękkiego i twardego filcu dają dźwięk o najwyraźniej zdefiniowanym tonie podstawowym, pałki werblowe uwydatniają wyższe składowe, choć w dynamice *forte* również umożliwiają wydobywanie dźwięku o wyraźnie określonej wysokości. W praktyce spektrum barw Aeromembranophone'u i towarzyszące mu zmiany siły wysokości powodują zmiany w percepcji roli instrumentu – wykorzystanie artykulacji uwydatniającej komponent szumowy sprzyja odbiorowi roli Aeromembranophone'u jako instrumentu *stricte* rytmicznego. Z kolei artykulacja uwydatniająca ton podstawowy (na przykład utrzymane w niskiej dynamice tremola grane miękkimi pałkami) umożliwiają uzyskanie wyraźnie zdefiniowanych nut czy melodii, sprzyjając odbiorowi Aeromembranophone'u jako jednego z trzech instrumentów o określonej wysokości dźwięku.

Aeromembranophone wykazuje pewne podobieństwa do kotłów pedałowców: po pierwsze, również umożliwia wydobywanie wielu dźwięków o określonej wysokości z pojedynczego instrumentu membranowego, po drugie, zmiana wysokości dźwięku kontrolowana jest stopami wykonawcy. Aeromembranophone umożliwia jednak precyzyjne zmiany i skoki wysokości dźwięku do konkretnych nut skali równomiernie temperowanej, oferując również unikalne dla instrumentów akustycznych możliwości relatywnej oraz cyfrowej zmiany wysokości dźwięków.

3.4. Post-Digital Sax

Podstawowym założeniem towarzyszącym pracom nad instrumentem Post-Digital Sax było eksperymentalne sprawdzenie, czy dźwięk w instrumencie dętym drewnianym może być generowany za pośrednictwem stroika, wprowadzanego w drgania o częstotliwości wymuszonej na drodze elektromechanicznej. Pozytywna weryfikacja powyższego założenia była warunkiem wstępnym przeprowadzenia dalszych eksperymentów, badających wpływ, jaki na możliwości muzyczne instrumentu będzie mieć zastosowanie funkcji oferowanych dotychczas wyłącznie przez instrumenty elektroniczne:

- zapętlanie fraz muzycznych, z możliwością transpozycji i zmiany tempa odtwarzania zapętlonej frazy;
- modyfikacja działania elementów interfejsu (przycisków / klap) w sposób umożliwiający relatywne zmiany wysokości dźwięku (tzn. taki, w którym dany klawisz odpowiada za zmianę wysokości dźwięku o określony interwał w górę lub w dół).

Eksperymentalne zweryfikowanie powyższych założeń stanowiło samo w sobie interesujące wyzwanie, a ewentualny sukces w ich weryfikacji spowodowałby powstanie instrumentu o unikalnych cechach. Co jednak najistotniejsze z punktu widzenia przedmiotu niniejszej rozprawy – akustyczny instrument dęty,

którego wysokość dźwięku może być kontrolowana cyfrowo, stanowić miał jeden z elementów większego systemu, stanowiącego sedno projektu AAAAA.

3.4.1. Założenia wstępne – zasada działania instrumentu

Częstotliwość drgań stroika w tradycyjnym instrumencie dętym drewnianym zależy od częstotliwości rezonansowej słupa powietrza zawartego w pieszczalce instrumentu. Podstawowa zasada działania instrumentu Post-Digital Sax (P-D Sax²⁹⁵) jest jednak odmienna – częstotliwość drgań stroika jest narzucona przez zmienne pole elektromagnetyczne emitowane przez zamontowany w ustniku elektromagnes. Niemniej jednak powietrze wdmuchiwane przez wykonawcę w ustnik pozostaje czynnikiem niezbędnym do powstania dźwięku, a jego ciśnienie wpływa bezpośrednio na dynamikę. Ponieważ stroik jest w kontakcie z dolną wargą wykonawcy, barwa dźwięku może być kontrolowana poprzez zmianę sposobu zadęcia. Poruszany elektromagnetycznie stroik pełni zatem funkcję zaworu, który – poprzez okresowe przerywanie strumienia powietrza wydobywającego się z ust wykonawcy – tworzy falę dźwiękową o określonej częstotliwości. Według mojej najlepszej wiedzy, jedynymi instrumentami (lub urządzeniami) wykorzystującymi tę technikę były dotychczas pneumatyczne gramofony i głośniki (na przykład Auxetophone)²⁹⁶ oraz syreny muzyczne (na przykład syrena Helmholtza)²⁹⁷. P-D Sax jest zatem pierwszą praktyczną implementacją tej techniki w formie *embedded acoustic instrument*.

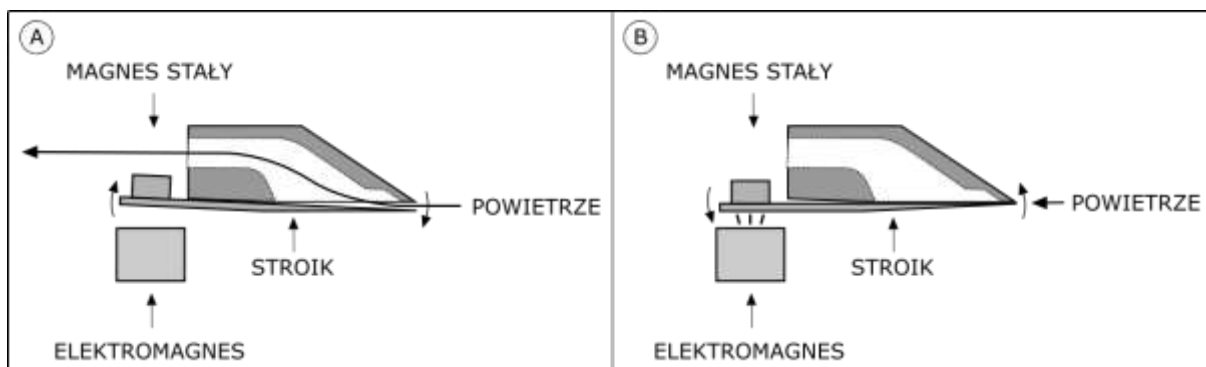
Praktyczna realizacja opisanej zasady działania wymagała zastosowania specjalnie skonstruowanego ustnika, różniącego się istotnie od ustnika standardowego. Podstawową różnicą jest sposób zamocowania stroika, umożliwiający ruch wahadłowy. Drganie stroika nie jest zatem rezultatem jego sprężystości – stroik nie jest przymocowany do ustnika ligaturą, a jedynie podtrzymywany za pomocą elastycznego *o-ringa* (gumowej uszczelki o okrągłym przekroju). Do jednego z końców stroika przymocowany jest magnes stały²⁹⁸, umożliwiający wprawianie stroika w ruch za pomocą elektromagnesu.

²⁹⁵ W dalszej części pracy stosowana będzie niniejsza, skrótowa forma nazwy instrumentu.

²⁹⁶ D. Self, *The Auxetophone*, <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/auxetophone/auxetoph.htm#aux> [dostęp: 4 czerwca 2024 r.].

²⁹⁷ B. Hopkin, J. Scoville, *Musical instrument design...*

²⁹⁸ A. McPherson, *Techniques And Circuits For Electromagnetic Instrument Actuation...*



Ilustracja 32. Schemat działania ustnika instrumentu P-D Sax: a) elektromagnes nieaktywny – przepływ powietrza jest swobodny, b) elektromagnes aktywny – przepływ powietrza jest zablokowany

Instrument wykorzystuje drgający stroik oraz aparat oddechowy wykonawcy jako faktyczne źródło dźwięku, w związku z czym może być traktowany jako instrument akustyczny. Niemniej jednak, ponieważ wysokość dźwięku kontrolowana jest poprzez elektromagnetycznie wywoływane drgania stroika, można również interpretować P-D Sax jako elektrofon. Interpretacja może być różna także w zależności od przyjęcia jednej z dwóch, zaproponowanych przez mnie w podrozdziale 1.2.3, definicji pojęcia „instrument akustyczny”. Podobna ambiwalencja występuje chociażby w przypadku wspomnianego już Halldorophone’u.

Zasada działania instrumentu P-D Sax może być także interpretowana jako szczególny rodzaj organowej piszczałki języczkowej²⁹⁹, czyli idiofon dęty. Zastosowany w instrumencie drewniany korpus, pełniący funkcję tuby akustycznej, w tym ujęciu byłby odpowiednikiem stosowanych w piszczałkach języczkowych rezonatorów. Dla meritum projektu AAAA najistotniejszy jest jednak fakt, iż możliwość cyfrowej kontroli częstotliwości prądu zmiennego, zasilającego poruszający elektromagnesem stroik, otwiera możliwość zastosowania szerokiego wachlarza cyfrowych interwencji w materiał muzyczny, stanowiąc kluczową cechę instrumentu P-D Sax.

3.4.2. Opis prac nad instrumentem

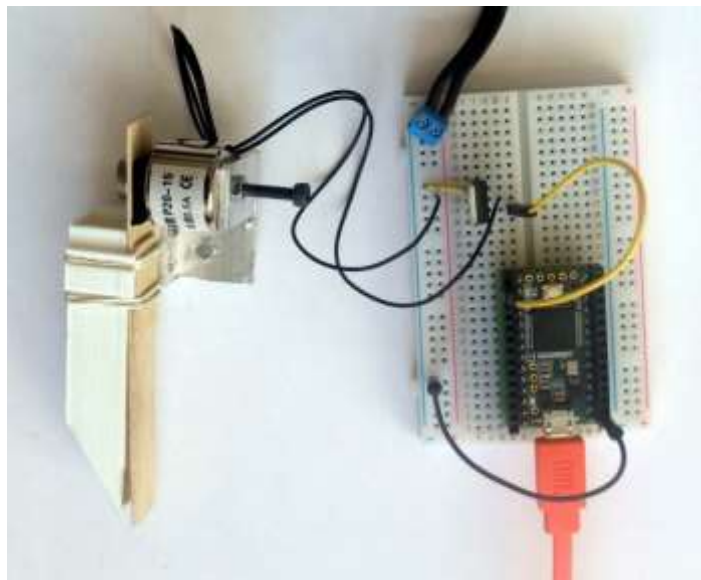
Prototyp 1.

Pierwszym krokiem w pracach nad instrumentem P-D Sax było stworzenie prototypu funkcjonalnego (*proof of concept*), umożliwiającego eksperymentalną weryfikację założonej wstępnie zasady działania, czyli możliwości generowania dźwięku na drodze elektromagnetycznego wymuszania wibracji stroika. Na prototyp składają się następujące elementy:

- wydrukowany w technologii FDM uproszczony ustnik;
- zamocowany elastycznie (za pomocą gumek recepturek) stroik, wykonany z drewna klonowego, z doklejonym magnesem neodymowym;

²⁹⁹ M. Drobner, *Instrumentoznawstwo i akustyka...*, s. 190–193.

- elektromagnes zasilany napięciem 6 V;
- mikrokontroler Teensy 3.2, generujący falę prostokątną o częstotliwościach akustycznych; częstotliwość fali regulowana jest potencjometrem;
- prosty układ wzmacniacza na bazie pojedynczego tranzystora i rezystora, wzmacniający sygnał z płytki Teensy do poziomu umożliwiającego wygenerowanie pola magnetycznego przez podłączony do jego wyjścia elektromagnes.



Ilustracja 33. Prototyp 1. instrumentu P-D Sax

Opisany powyżej prototyp pozwolił pozytywnie zweryfikować podstawowe założenie – stroik, wprowadzony w drgania o wymuszonej częstotliwości, w istocie umożliwił wytwarzanie dźwięku akustycznego na drodze wdmuchiwanie powietrza w ustnik, a zmiana ciśnienia powietrza i rodzaju zadęcia (kontaktu warg grającego z wibrującym stroikiem) umożliwiała zmianę dynamiki i barwy dźwięku.

Nieprzewidzianym wcześniej skutkiem ubocznym mechanicznej wibracji stroika jest wyraźny przydźwięk („bzyczenie”), towarzyszący działaniu instrumentu nawet bez partycypacji wykonawcy (bez wdmuchiwanie powietrza w ustnik). Próby rozwiązania tego problemu zostały podjęte podczas prac nad kolejnymi prototypami.

Pierwszy prototyp uwidoczniał również cechę, która stała się kluczowa dla charakteru docelowej wersji instrumentu: opisany powyżej hybrydowy elektroniczno-akustyczny ustnik sprawdza się znacznie lepiej w rejestrze niskim niż w wysokim. W okolicach nuty c małe dźwięk staje się trudny do wydobywania, a w związku z tym coraz cichszy; wdmuchiwanie powietrza jest coraz trudniejsze, w związku z czym dźwięk mechanicznej wibracji stroika zaczyna coraz bardziej dominować nad dźwiękiem wygenerowanym przez przechodzące przez ustnik powietrze z płuc wykonawcy. Z drugiej strony, obniżanie częstotliwości drgań stroika umożliwia grę z coraz większą swobodą, a fakt, iż częstotliwość generowana jest na drodze cyfrowej i nie jest ograniczona fizycznymi właściwościami instrumentu

(długością słupa powietrza), umożliwia osiągnięcie dźwięków o częstotliwości nawet poniżej 20 Hz, co zasugerowało możliwość wykorzystania P-D Sax w charakterze instrumentu basowego.

Prototyp 2.



Ilustracja 34. Prototyp 2. instrumentu P-D Sax

- wykorzystuje usłownik oparty na pierwszym prototypie, z następującymi usprawnieniami:
 - zmodyfikowany stroik do saksofonu altowego;
 - podtrzymujący stroik *o-ring* (w miejsce gumki recepturki), z możliwością regulacji naprężenia za pomocą śrubki;
 - dodatkowa amortyzacja stroika za pomocą dociskanego śrubkami paska neoprenu;
- usłownik zamocowany za pomocą aluminiowej szyjki do uproszczonego, sklejkowego korpusu, pełniącego funkcję tuby akustycznej, zapewniającego również przestrzeń do zamontowania komponentów elektronicznych;
- interfejs użytkownika w postaci ośmiu dwustanowych przełączników, pełniących funkcję uproszczonego systemu klawiszowego, oraz dwóch przełączników oktaowych, obsługiwanych kciukiem;
- czujnik oddechu, działający w oparciu o zamontowaną w górnej części korpusu poruszaną podmuchem powietrza klapkę oraz odbiciowy czujnik odległości; funkcją czujnika jest aktywacja elektromagnesu jedynie podczas gry (wdmuchiwanie powietrza), co ma wyeliminować niepożądane wibracje stroika podczas pauz;
- układ elektroniczny oparty na minikomputerze Bela Mini, na którym uruchomiony jest zaprogramowany do tego celu *patch* Pure Data, generujący falę prostokątną, której częstotliwość kontrolowana jest przyciskami interfejsu użytkownika; sygnał z wyjścia audio minikomputera kontroluje elektromagnes za pośrednictwem tranzystora.

Układ dźwięków (relacja między układem palców wykonawcy a granymi nutami) oparty jest na uproszczonym palcowaniu dla fletu prostego: najniższe sześć klawiszy odpowiada za dźwięki skali diatonicznej, pozostałe dwa klawisze umożliwiają transpozycję granego dźwięku o sekundę małą w górę lub w dół, umożliwiając uzyskanie skali chromatycznej. Obsługiwane kciukiem przełączniki umożliwiają

transpozycję granych nut o oktawę w górę lub w dół. Zastosowanie dwupozycyjnych, zero-jedynkowych przełączników spowodowało jednak nieprzyjemny artefakt w postaci skokowej zmiany wysokości granych dźwięków, której efektem jest wrażenie sztuczności granych fraz. Zaimplementowanie w oprogramowaniu efektu *portamento* zniwelowało to zjawisko tylko w nieznacznym stopniu.

Opisane rozwiązanie czujnika oddechu ma nieprzewidzianą wcześniej wadę – przy niektórych wysokościach dźwięku strumień powietrza z płuc wykonawcy, przerywany ruchem stroika, powoduje okresową aktywację i dezaktywację czujnika, czego efektem są cykliczne przerwy w dźwięku.

Zastosowany w prototypie 2. korpus o niewielkich rozmiarach tylko w nieznacznym stopniu wpływa na poprawę brzmienia instrumentu – zainstalowanie w jego wnętrzu przycisków oraz wynikająca z tego nieuszczelnność sklejkowych ścianek zaburza funkcjonowanie korpusu w roli tuby akustycznej.

Prototyp 3.



Ilustracja 35. Prototyp 3. instrumentu P-D Sax

Na podstawie wniosków z prac nad poprzednimi prototypami wprowadziłem w prototypie 3. następujące modyfikacje:

- korpus instrumentu został zaprojektowany z dbałością o właściwości akustyczne, w szczególności:
 - wszelkie elementy elektroniczne oraz interfejs użytkownika zostały zainstalowane na zewnątrz instrumentu, w celu zwiększenia efektywności korpusu jako tuby akustycznej;

- korpus został wykonany w formie rozszerzającej się równomiernie rury o przekroju kwadratowym; długość słupa powietrza wynosi 94 cm;
- tuba zakończona jest okrągłym otworem, który może być wyposażony w wymienne roztrąby;
- klawisze instrumentu wykonane są w technologii druku 3D i wykorzystują specjalnie do tego celu zaprojektowane płytki PCB, w których umieszczone są czujniki pola magnetycznego (hallotrony proporcjonalne); podczas wciskania klawiszy umieszczone w nich magnesy neodymowe powodują zmianę napięcia w hallotronach, co pozwala na płynny odczyt pozycji klawiszy. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie płynnych przejść między dźwiękami, a tym samym wyeliminowanie nienaturalnego przeskoku wysokości dźwięków, który występował w przypadku prototypu 2. (podobne rozwiązanie zastosowały Simone Conforti i Angelika Güsewell podczas prac nad cyfrowym rozszerzeniem możliwości fletu Paetzolda)³⁰⁰;
- czujnik oddechu, jako nieskuteczny, został zastąpiony następującymi rozwiązaniami:
 - optyczny czujnik wychylenia stroika – aktywujący działanie elektromagnesu w momencie wywołania niewielkiego nacisku na stroik za pomocą dolnej wargi wykonawcy; rozwiązanie to miało jednak identyczną wadę, co czujnik zastosowany w prototypie 2. – drganie stroika powodowało zaburzenie pracy czujnika;
 - czujnik nacisku górnej wargi w postaci niewielkiej dźwigni, uruchamiającej mechaniczny przetłącznik;
 - jw., z wykorzystaniem magnesu stałego i hallotronu w miejsce przetłącznika;
- elektromagnes przymocowany jest do ustnika za pomocą śruby, umożliwiającej regulację jego położenia;
- dodatkowym elementem interfejsu użytkownika jest miniaturowy dżojstik, obsługiwany kciukiem, służący do kontroli cyfrowych rozszerzeń instrumentu.

Prototyp 3. instrumentu P-D Sax został szczegółowo opisany od strony technicznej w recenzowanym artykule, prezentowanym w 2022 r. na konferencji *New Interfaces for Musical Expression*³⁰¹.

Większość wyszczególnionych powyżej modyfikacji przyniosło spodziewane rezultaty. Klawisze umożliwiające płynną zmianę wysokości dźwięku oraz skutecznie działający czujnik nacisku warg umożliwiły pełniejszą weryfikację możliwości brzmieniowych i muzycznych instrumentu P-D Sax, który w tej wersji przejawiał już cechy faktycznego instrumentu, umożliwiającego spontaniczną ekspresję. Na podstawie własnych doświadczeń z grą na prototypie 3. i obserwacji jego właściwości brzmieniowych w różnych rejestrach uznałem, iż skala najpełniej wykorzystująca walory instrumentu obejmuje dźwięki z zakresu F#₁ (subkontra) – g (małe).

³⁰⁰ S. Conforti, A. Güsewell, *PRIME Gesture Recognition applied to the Paetzold recorder: New paradigms for the interaction between recorder players and machines in live electronic music*, „Dissonance/Dissonanz” 2015, nr 132.

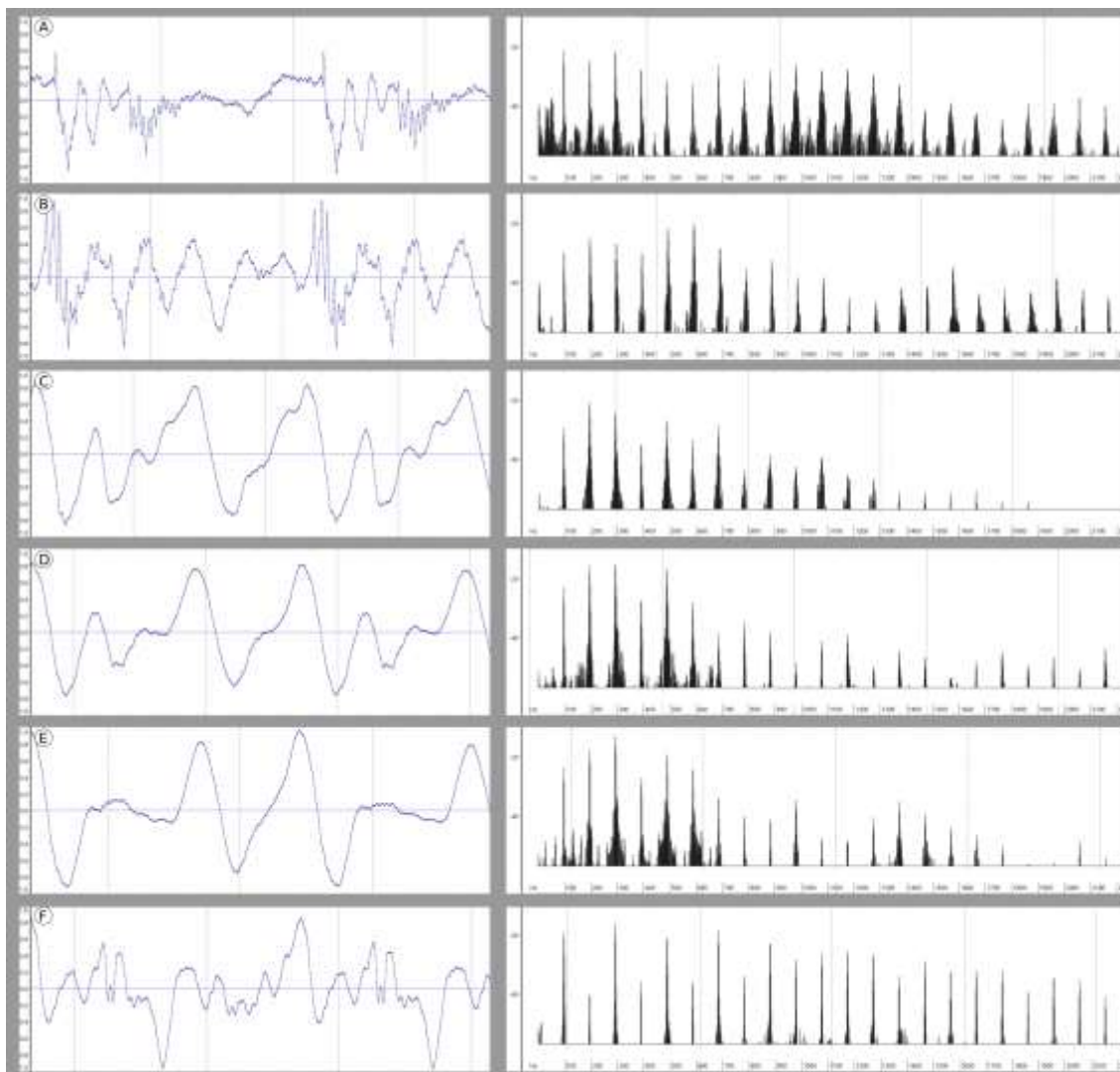
³⁰¹ K. Cybulski, *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument...*

Wyposażenie instrumentu w korpus pełniący skutecznie funkcję tuby akustycznej przyczyniło się do poprawy właściwości akustycznych instrumentu – skala dynamiczna zwiększyła się, a reprodukcja niższych składowych harmonicznnych uległa poprawie w stosunku do wcześniejszych prototypów.



Ilustracja 36. Prototyp 3. instrumentu P-D Sax z wymiennymi roztrąbami

W okrągłym otworze prototypu 3. mogą być zamontowane wymienne roztrąby, wydrukowane w technice druku 3D. W praktyce najwyraźniejszy wpływ na barwę instrumentu mają dwa typy roztrąbów: o przekroju hiperbolicznym oraz w formie kulistej (gruszkowatej). Ich wpływ na dźwięk instrumentu zilustrowany jest na poniższej grafice (ilustracja 37):



Ilustracja 37. Wykresy fali i spektrogramy znormalizowanych próbek prototypu 3. instrumentu P-D Sax: A) sam ustnik, B) ustnik z korpusem prototypu 2., C) ustnik z korpusem prototypu 3., D) ustnik z korpusem prototypu 3. plus rozrząd hiperboliczny, E) ustnik z korpusem prototypu 3. plus rozrząd gruszkowaty, F) próbka klarnetu basowego jako punkt odniesienia³⁰²

Korpus instrumentu, rozpatrywany jako piszczątka zamknięta³⁰³, według wzoru $f = v/\lambda$ ma przy długości 94 cm częstotliwość rezonansową 91,22 Hz, ponadczterokrotnie wyższą niż częstotliwość najniższego dźwięku generowanego przez stroik (F# subkontra, czyli 23,12 Hz). Skutkiem ubocznym tego faktu pozostaje nieco „nosowe” brzmienie trzeciego prototypu³⁰⁴ (podobne zjawisko występuje w przypadku altówki)³⁰⁵.

Prowadzone podczas prac nad instrumentem eksperymenty z wykorzystaniem różnych przebiegów (kształtów fal) do kontroli mocy elektromagnesu wykazały, że po przekroczeniu określonej wartości pole

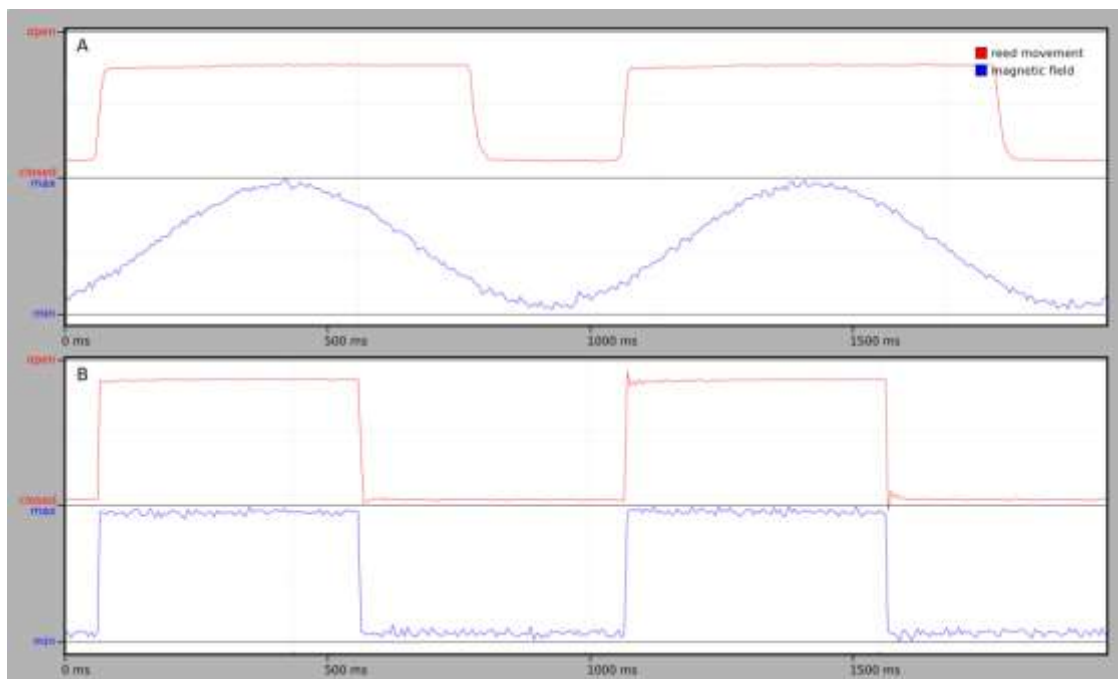
³⁰² *Ibidem*.

³⁰³ Rozpatrywanie korpusu instrumentu P-D Sax z tej perspektywy jest oczywiście właściwe jedynie w kontekście wyliczania częstotliwości rezonansowej słupa powietrza; wysokość generowanych przez instrument dźwięków nie ma bowiem żadnego związku z kwestią otwartości / zamkniętości piszczątki.

³⁰⁴ K. Cybulski, *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument...*, Appendix C.

³⁰⁵ M. Powell, *Acoustic Analysis of the Viola*, Davis 2012.

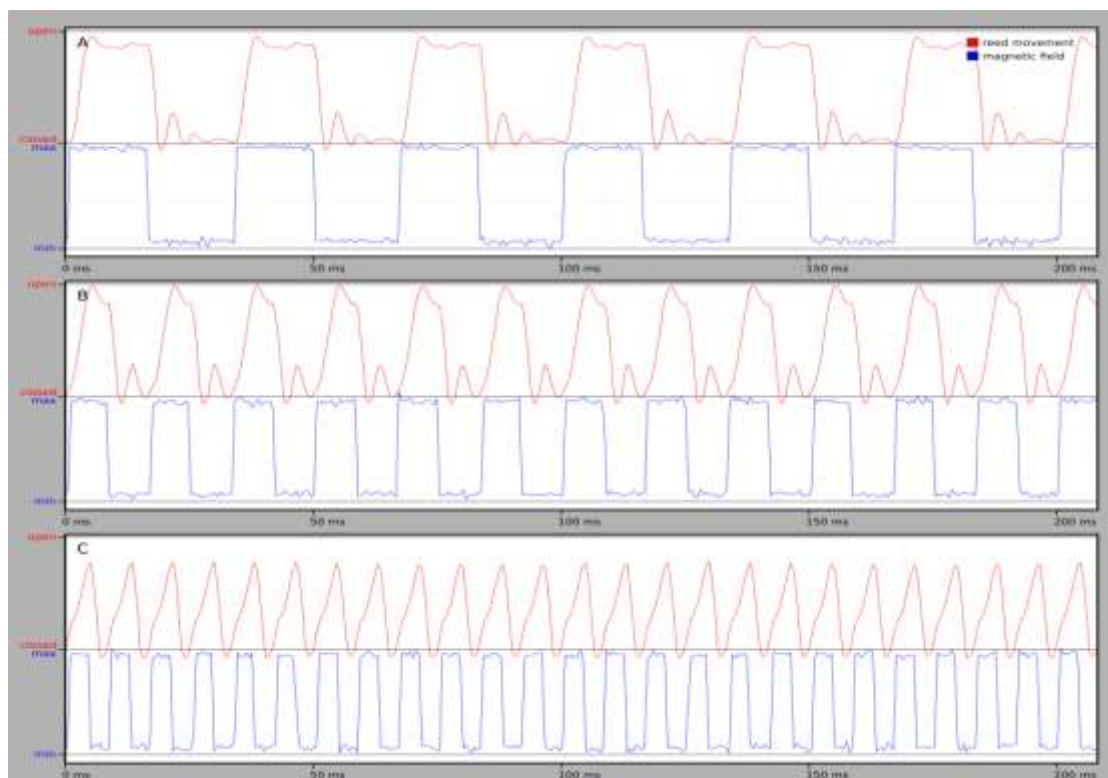
elektromagnetyczne powoduje nagły, skokowy ruch stroika z pozycji spoczynkowej do skrajnej. Przy niskich częstotliwościach ruch stroika zawsze odzwierciedla falę zbliżoną do prostokątnej – w zależności od przebiegu fali wyjściowej zmienia się jedynie stopień wypełnienia fali. W związku z tym w ostatecznej wersji instrumentu wykorzystana została fala prostokątna (rozwiązanie to umożliwiło w ostatecznej wersji instrumentu korektę zachowania stroika poprzez zmianę stopnia wypełnienia fali).



Ilustracja 38. Zależność ruchu stroika prototypu 3. od przebiegu fali kontrolującej moc elektromagnesu przy częstotliwości 1 Hz: A) fala sinusoidalna, B) fala prostokątna. Kolor niebieski odzwierciedla przebieg fali kontrolującej moc elektromagnesu, kolor czerwony – pozycję stroika mierzoną czujnikiem odległości³⁰⁶

Stroik ma stałą, niezależną od częstotliwości dźwięku bezwładność – czas ruchu stroika z pozycji spoczynkowej do skrajnej nie jest zerowy (na wykresie ruchu stroika, zmierzonego czujnikiem odległości, widoczna jest linia o niewielkim skosie). Dodatkowo w skrajnych pozycjach stroik odbija się od ustnika, co również zobrazowane jest na wykresie. Przy częstotliwości 1 Hz artefakty te są ledwie zauważalne, jednak wraz ze wzrostem częstotliwości pochłaniają one coraz większą część cyklu ruchu stroika, co na ilustracji 39 zobrazowane jest płynną zmianą przebiegu czerwonego wykresu, przechodzącego od fali prostokątnej do niemal piłokształtnej. Zmiana ta odzwierciedlona jest oczywiście w brzmieniu instrumentu.

³⁰⁶ K. Cybulski, *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument...*



Ilustracja 39. Ruch stroika prototypu 3. przy częstotliwościach: A) 30 Hz, B) 60 Hz, C) 120 Hz. Kolor niebieski odzwierciedla przebieg fali kontrolującej moc elektromagnesu, kolor czerwony – pozycję stroika mierzoną czujnikiem odległości³⁰⁷

Wykres C ukazuje również przyczynę opisywanego wcześniej zmniejszania efektywności stroika wraz ze zwiększaniem wysokości dźwięku: już przy częstotliwości 120 Hz bezwładność stroika powoduje niepełne jego wychylenie (zanim stroik zdąży wychylić się do pozycji w pełni otwartej, elektromagnes wyłącza się, powodując powrót stroika do pozycji zamkniętej), stąd wydobywanie dźwięków wyższych niż g małe staje się praktycznie niewykonalne.

Prototyp 3. został wykorzystany podczas pierwszej próby projektu AAAA w pełnym, trzyosobowym składzie, czego efektem były następujące wnioski:

- mimo zastosowania tuby akustycznej instrument jest nadal zbyt cichy w stosunku do Aeromembranophone'u;
- czujnik nacisku warg utrudnia intuicyjną grę – w szczególności wykonywanie dźwięków staccato i krótkich, rytmicznie powtarzanych fraz – wymagając dla uzyskania pauzy oderwania górnej wargi od ustnika; obserwacja ta zasugerowała konieczność przeprowadzenia dalszych modyfikacji czujnika, tak aby umożliwiał on kontrolę aktywacji elektromagnesu za pomocą oddechu;
- podczas prac nad wspomnianym artykułem konferencyjnym przeprowadziłem konsultacje z trojgiem instrumentalistów³⁰⁸ grających na instrumentach pojedynczostroikowych;

³⁰⁷ *Ibidem.*

³⁰⁸ *Ibidem*, Appendix E.

najistotniejszym efektem tych konsultacji była zmiana układu dźwiękowego instrumentu, umożliwiająca zwiększenie komfortu gry.

3.4.3. Prototyp 4. – ostateczna wersja instrumentu



Ilustracja 40. Prototyp 4. instrumentu P-D Sax

W czwartej iteracji instrument przyjął swoją ostateczną formę. Najistotniejszą wadą dotychczasowych prototypów był zbyt niski poziom głośności instrumentu. Próbę rozwiązania tego problemu podjąłem poprzez modyfikację korpusu oraz ustnika:

- modyfikacje korpusu:
 - zwiększenie rozmiarów korpusu, a zatem tuby akustycznej instrumentu, o 25% (wymiar całego instrumentu zostały zwiększone z 60 cm do 75 cm, długość słupa powietrza wewnątrz instrumentu z około 94 cm do około 115 cm);
 - zwiększenie stopnia rozszerzania się tuby akustycznej (szerokość piszczałki na odcinku 50 cm zwiększa się o 225% w przypadku prototypu 3., o 250% w przypadku prototypu 4.); dalsze zwiększanie stopnia rozszerzania korpusu byłoby niekorzystne z punktu widzenia ergonomii instrumentu.

Pierwsza z wymienionych modyfikacji obniżyła częstotliwość rezonansową słupa powietrza z ~91 Hz do ~74 Hz. Druga miała w zamyśle sprzyjać zwiększeniu efektywności korpusu jako tuby akustycznej, choć

testy odsłuchowe nie uwidoczniły jednoznacznego wpływu tej modyfikacji na możliwości dynamiczne instrumentu. Kolejnym krokiem była zatem próba zwiększenia efektywności samego ustnika poprzez następujące modyfikacje:

- dostosowanie (zwiększenie) rozmiarów ustnika w stopniu umożliwiającym zamontowanie stroika z saksofonu barytonowego;
- eksperymenty z rozmiarami zamocowanego na stroiku magnesu stałego oraz próba znalezienia optymalnego położenia elektromagnesu;
- niewielkie modyfikacje dolnej krzywizny ustnika oraz płaszczyzny, na której stroik opiera się w pozycji spoczynkowej, celem zwiększenia zakresu ruchu stroika;
- eksperymenty ze stroikami o różnym stopniu twardości.

W trakcie poszukiwań optymalnych parametrów pracy ustnika doszedłem do wniosku, że stosowany w prototypach 2. i 3. neoprenowy amortyzator nie jest wymagany do prawidłowej pracy mechanizmu, a jego obecność – choć umożliwia precyzyjniejszą kontrolę ruchu stroika – zmniejsza jego efektywność. Amortyzator został zatem pominięty w ostatecznej wersji instrumentu.



Ilustracja 41. a) ustnik prototypu 4. instrumentu P-D Sax, b) przekrój modelu 3D ustnika

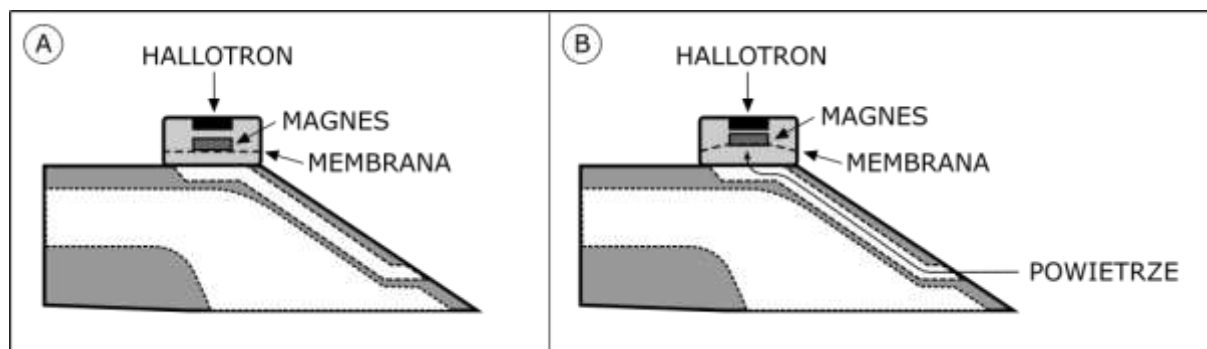
Powyższe zabiegi zaowocowały wyraźnym zwiększeniem rozpiętości dynamicznej instrumentu; obniżenie częstotliwości rezonansowej zawartego w korpusie słupa powietrza poprawiło również słyszalność niższych składowych harmoniczných.

Jak już wspomniałem, opisany w kontekście prototypu 2. czujnik oddechu nie sprawdził się ze względu na zaburzenie odczytów spowodowane interferencjami wprowadzanymi przez drgania stroika; podobny problem towarzyszył zastosowanemu pierwotnie w prototypie 3. optycznemu czujnikowi wychylenia stroika. Kolejne rozwiązanie, czyli czujnik nacisku górnej wargi, spełniało swoją funkcję z technicznego punktu widzenia, uniemożliwiało jednak intuicyjną grę na instrumencie. Podczas prac nad prototypem 4. podjąłem kolejną próbę zastosowania czujnika oddechu, projektując go jednak od nowa, co wymagało istotnej modyfikacji ustnika: czujnik – miał znajdować się wewnątrz instrumentu, gdzie narażony byłby na wspomniane wcześniej interferencje – zamontowany został na końcu niezależnego, zintegrowanego

z ustnikiem wąskiego kanału powietrznego, którego ujście znajduje się w pobliżu czubka ustnika (zbliżone rozwiązanie zostało zastosowane przez Floresa i innych w instrumencie HypeSax)³⁰⁹.

Modyfikacja ta pozwoliła wyeliminować interferencje, stanowiąc skuteczne rozwiązanie problemu. Czujnik został wykonany w dwóch wersjach:

- w pierwszej wersji zastosowany został gotowy komponent czujnika ciśnienia powietrza, przeznaczony do współpracy z mikrokontrolerami Arduino i Teensy. Mimo skutecznego działania kilka egzemplarzy czujnika uległo nieodwracalnemu uszkodzeniu, prawdopodobnie spowodowanemu usytuowaniem w pobliżu pola magnetycznego;
- w drugiej wersji czujnik został wykonany od zera na bazie hallotronu oraz niewielkiego magnesu neodymowego, umieszczonego na lateksowej membranie, ulegającej deformacji pod wpływem wdmuchiwanego powietrza; czujnik został zamknięty w obudowie wydrukowanej w technologii SLA i okazał się ostatecznym skutecznym rozwiązaniem.



Ilustracja 42. Zasada działania czujnika oddechu instrumentu P-D Sax: A) wykonawca nie dmucha w ustnik – membrana czujnika znajduje się w pozycji spoczynkowej, B) wykonawca dmucha w ustnik – membrana czujnika odkształca się, przybliżając magnes do hallotronu

Czujnik oddechu, oprócz swojej podstawowej funkcji (aktywacji elektromagnesu, a więc wibracji stroika, tylko wówczas, gdy wykonawca wdmuchuje powietrze w ustnik) odgrywa jeszcze jedną istotną rolę – dostarcza do oprogramowania informację o rozpoczęciu frazy lub nuty; informacja ta jest istotna dla prawidłowego działania cyfrowych rozszerzeń oraz algorytmów.

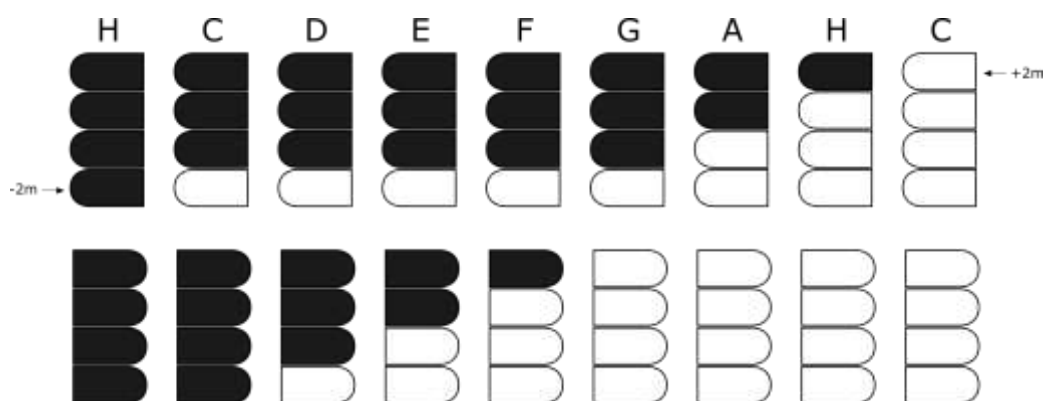
Opisana w kontekście prototypu 3. bezwładność stroika powodowała jego niepełne wychylenie przy wyższych częstotliwościach, co utrudniało wydobycie dźwięków wyższych niż c małe. Zaobserwowanie tej prawidłowości i zdiagnozowanie jej przyczyn dzięki przeprowadzonym z wykorzystaniem prototypu 3. pomiarom umożliwiło do pewnego stopnia zniwelowanie tego zjawiska poprzez wykorzystanie fali prostokątnej o zmiennym stopniu wypełnienia, w którym czas pracy elektromagnesu wynosi 70% cyklu

³⁰⁹ C.R. Flores, J. Murphy, M. Norris, *HypeSax: Saxophone acoustic augmentation*, Zenodo 2019, DOI: 10.5281/ZENODO.3672996, <https://zenodo.org/record/3672996>.

(zamiast oryginalnych 50%), zwiększając tym samym użyteczną skalę instrumentu (do dźwięku g małego włącznie).

Ze względu na fakt, iż brzmienie oraz możliwości wykonawcze instrumentu są w moim odczuciu najkorzystniejsze w zakresie F#₁ (subkontra) – g (małe), **P-D Sax jest instrumentem transponującym o kwartę czystą w dół** (chwyt dla nuty c daje w brzmieniu dźwięk g).

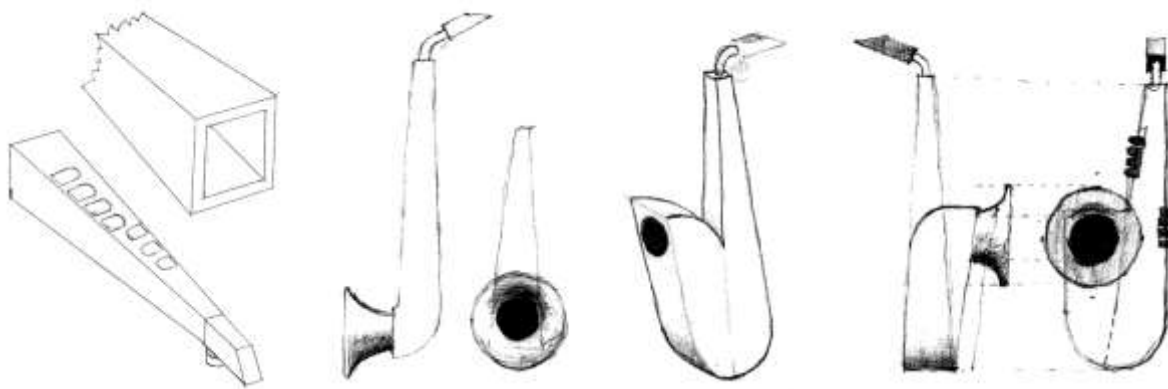
Ostatnią z istotnych różnic względem wcześniejszych prototypów stanowi układ dźwięków (przypisanie określonych nut do poszczególnych chwytów). W układzie stosowanym w prototypach 2. i 3. palce wskazujący i środkowy prawej dłoni obsługiwały klawisze odpowiedzialne za chromatyczne podwyższanie i obniżanie dźwięków diatonicznych, obsługiwanych pozostałymi palcami. W rozwiązaniu docelowym klawisz obniżający dźwięki o sekundę małą obsługiwany jest małym palcem prawej dłoni, z kolei klawisz obsługiwany palcem wskazującym powoduje podwyższenie dźwięku o sekundę małą, co jednak następuje nie przy wciśnięciu, a przy zwolnieniu klawisza. Dzięki takiemu rozwiązaniu granie skali diatonicznej przebiega podobnie, jak w przypadku fletu prostego – poprzez zwalnianie kolejnych klawiszy.



Ilustracja 43. Układ dźwięków prototypu 4. instrumentu P-D Sax

Dizajn ostatecznej formy instrumentu

Ostateczna forma instrumentu (będąca nieznaczną modyfikacją formy prototypu 3.) jest wypadkową uwarunkowań akustycznych, ergonomicznych i estetycznych. Istotnym założeniem estetycznym było zachowanie – choćby w szczątkowym stopniu – elementów nawiązujących do powszechnie rozpoznawalnej formy saksofonu altowego czy tenorowego; zabieg ten przyczynił się do zwiększenia komunikatywności performatywnej instrumentu.



Ilustracja 44. Ewolucja formy instrumentu P-D Sax, strona lewa – pierwotny szkic koncepcyjny, będący punktem wyjścia prototypu 2., środek – poszukiwanie formy docelowej, strona prawa – szkic asymetrycznej formy, będącej podstawą prototypów 3. i 4.

Ostateczny, wypracowany na podstawie licznych szkiców i makiet asymetryczny kształt instrumentu umożliwił ergonomiczne umiejscowienie klawiszy, przy jednoczesnym uzyskaniu formy jednoznacznie kojarzącej się z saksofonem. Kwadratowy przekrój piszczałki / tuby akustycznej z oczywistych względów ułatwił wykonanie instrumentu, jest on jednak również efektem świadomej decyzji estetycznej. Inspiracją dla tego rozwiązania były drewniane piszczałki organowe, jak również pośrednio flet Paetzolda³¹⁰ oraz drewniane saksofony³¹¹ i *Moe Sax*³¹² Barta Hopkina. Ostateczna „kanciasta” forma instrumentu stanowi niejako syntetyczne ujęcie ogólnej estetycznej idei saksofonu.

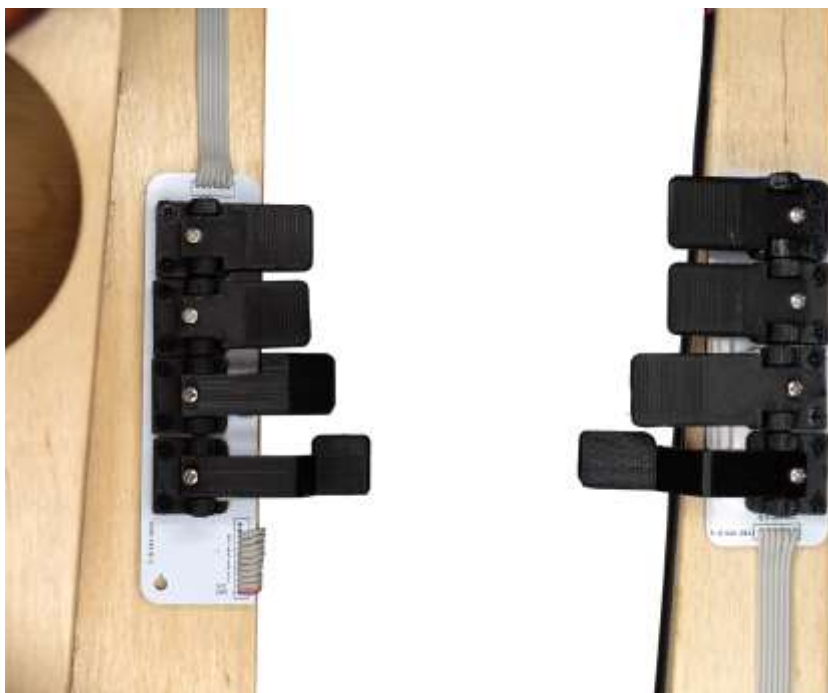
Ze względu na fakt, iż w projekcie AAAA przyjąłem rolę jednego z wykonawców, prototypy 3. i 4. instrumentu P-D Sax budowane były z myślą o osobistych preferencjach manualnych; odzwierciedleniem moich specyficznych uwarunkowań (selektywnej leworęczności) jest lustrzany układ klawiszy (klawisze dla dłoni lewej znajdują się na dole, dla prawej – w górnej części instrumentu). Klawisze docelowej wersji instrumentu uległy w stosunku do prototypu 3. niewielkiej modyfikacji, mającej na celu poprawę ergonomii. Względy ergonomiczne podyktowały również modyfikację formy przycisku zmiany oktaw, które przyjęły postać pojedynczego przełącznika kołyskowego; zastosowane zostały ponadto dodatkowe podpórki na kciuki.

Ustnik wraz z szyjką zamocowany jest do korpusu za pomocą pojedynczej śrubki; kable, łączące elektromagnes i czujnik oddechu z układem elektronicznym instrumentu, zakończone są pięciostykowym złączem. Rozwiązania te umożliwiają łatwą wymianę ustnika.

³¹⁰ S. Conforti, A. Güsewell, *PRIME Gesture Recognition applied to the Paetzold recorder: New paradigms for the interaction between recorder players and machines in live electronic music...*

³¹¹ *WOODEN SAX*, 8 marca 2017 r., <https://barthopkin.com/instrumentarium/wooden-sax/> [dostęp: 5 czerwca 2024 r.].

³¹² *MOE SAX*, 8 marca 2017 r., <https://barthopkin.com/instrumentarium/moe-sax/> [dostęp: 5 czerwca 2024 r.].

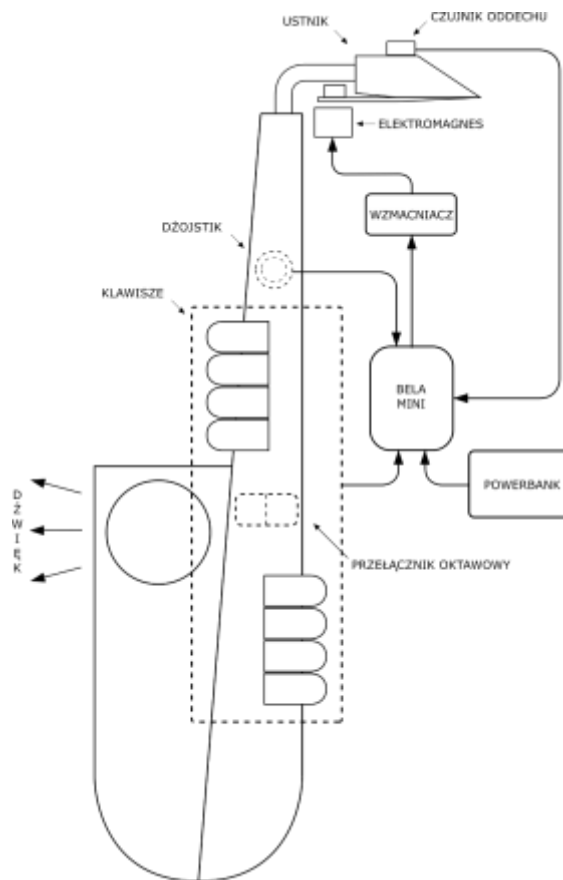


Ilustracja 45. Przyciski „klapowe” (klawisze) dla lewej i prawej ręki prototypu 4. instrumentu P-D Sax. Widoczne płytki PCB i taśmy przewodowe



Ilustracja 46. a) porównanie rozmiarów prototypów 4. i 3. instrumentu P-D Sax, b) detal tylnej części prototypu 4. instrumentu P-D Sax: w dolnej części widoczny przełącznik oktawowy i uchwyt na pasek, w górnej – dźwignik do uruchamiania cyfrowych rozszerzeń

Komponenty elektroniczne i interfejs użytkownika



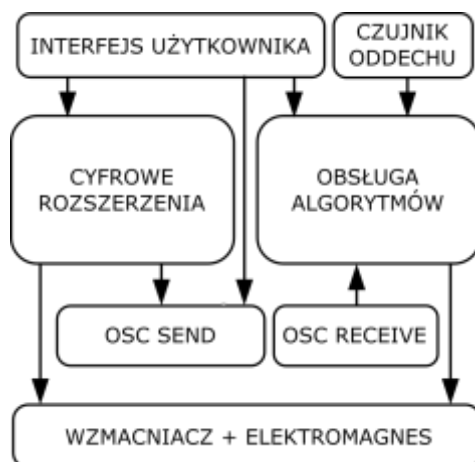
Ilustracja 47. Schemat blokowy instrumentu P-D Sax

Podobnie jak w przypadku Autovioli, głównym elementem układu elektronicznego instrumentu P-D Sax jest minikomputer Bela Mini. Jest on wpięty w płytkę PCB, której rolą jest dystrybucja zasilania i sygnałów pomiędzy poszczególnymi elementami elektronicznymi. Do płytki głównej przylutowane są również komponenty wzmacniacza elektromagnesu (tranzystor bipolarny, rezystor). Klawisze oraz niezbędne dla ich działania hallotrony, umieszczone są na dodatkowych płytkach PCB (ilustracja 45), połączonych ze sobą i z główną płytką PCB taśmami przewodowymi.

Oprogramowanie i kwestie wykonawcze

Podobnie jak w przypadku Autovioli, oprogramowanie instrumentu P-D Sax ma formę *patcha*, stworzonego w środowisku Pure Data. *Patch*, uruchamiany na zainstalowanym w instrumencie P-D Sax minikomputerze Bela Mini, podzielić można umownie na kilka modułów. Ich funkcje odzwierciedlają analogiczne moduły poprzednich dwóch instrumentów, choć szczegóły realizacji tych funkcji są oczywiście odmienne i dostosowane do specyfiki instrumentu. Najbardziej wyraźną różnicę stanowi fakt, iż *patch* P-D Sax jako jedyny generuje (na podstawie danych z czujników – klawiszy, przelącznika oktawowego, czujnika oddechu oraz joysticka – oraz struktur powstających w oparciu o algorytmy i cyfrowe rozszerzenia) analogowy przebieg elektryczny o częstotliwości z zakresu skali instrumentu,

wysyłany do wyjścia audio mikrokomputera Bela Mini. Sygnał ten, po wzmacnieniu, wysyłany jest do elektromagnesu, kontrolującego ruch stroika.



Ilustracja 48. Schemat blokowy *patcha* Pure Data instrumentu P-D Sax

Moduł cyfrowych rozszerzeń *patcha* P-D Sax oferuje następujące tryby:

- tryb 1. – „bezpośredni”: klawiatura bezpośrednio kontroluje częstotliwość drgań stroika;
- tryb 2. – „zapętlenie”, uruchamiany ruchem dżojstika w prawo: tryb ten umożliwia zapętlenie (repetycję) ostatniej zagranej frazy. Oprogramowanie rozpoznaje początek i koniec frazy na podstawie sygnału *gate*, dostarczanego przez czujnik oddechu. Zapętlna fraza może być poddana transpozycji w podobny sposób, jak ma to miejsce w przypadku trybu 3. Autovioli: wciśnięcie klawiszy w układzie właściwym dla nuty c odtwarza frazę bez transpozycji, dla nuty d – transponuje frazę o sekundę wielką w górę, dla nuty e – o tercję wielką w górę itp. Dalsze przesunięcie dżojstika w prawo powoduje dwukrotne lub czterokrotne zwiększenie prędkości odtwarzania frazy. Zrestartowanie odtwarzania zapętlną frazę można uzyskać poprzez wstrzymanie oddechu i ponowne zadęcie;
- tryb 3. – „relatywna zmiana wysokości dźwięku”: tryb ten działa analogicznie do trybu 2. Aeromembranophone’u, umożliwiając zmianę wysokości granego dźwięku o wybrany interwał. Interwały przypisane są do klawiszy instrumentu P-D Sax w następujący sposób:



Ilustracja 49. Schemat działania klawiszy instrumentu P-D Sax w trybie 3.

Patch Pure Data przeznaczony dla instrumentu P-D Sax można pobrać ze strony krzysztofcybulski.com/aaaa.php.

3.4.4. Wnioski z prac nad instrumentem

Post-Digital Sax łączy cechy instrumentu akustycznego (drgający stroik oraz aparat oddechowy wykonawcy jako faktyczne źródło dźwięku) z możliwością cyfrowej kontroli wysokości dźwięku, umożliwiając zaimplementowanie szerokiego wachlarza cyfrowych interwencji w materiał muzyczny: P-D Sax jest zatem pełnoprawnym **instrumentem hybrydowym**.

Ponieważ stroik jest faktycznym źródłem dźwięku instrumentu P-D Sax, jego wibracje oraz opór, który stawia on dolnej wardze wykonawcy, stanowią bezpośrednie źródło **informacji zwrotnej poprzez zmysł dotyku**. Godny odnotowania jest również fakt, iż P-D Sax jest pierwszym instrumentem dętym drewnianym, który można zaliczyć do kategorii instrumentów aktuowanych³¹³.

Wpływ rodzaju zadęcia na dźwięk instrumentu jest znaczny, czego rezultatem są organiczne zmiany barwy dźwięku w odpowiedzi na zmiany artykulacji, mimo częściowo elektronicznej proveniencji instrumentu P-D Sax. Przedstawione w opisie prototypu 3. testy wykazały, że instrument wytwarza złożoną falę dźwiękową, bogatą w zarówno parzyste, jak i nieparzyste składowe harmoniczne (mimo zastosowania prądu zmiennego o przebiegu prostokątnym do elektromagnetycznej aktuacji stroika). Wspomniane artefakty, wynikające z bezwładności stroika oraz obecność tuby akustycznej (korpusu), nie pozostają bez wpływu na wynikowe brzmienie instrumentu. W niskim i średnim rejestrze przypomina ono barwę dźwięku basowych instrumentów podwójnostroikowych (kontrafagotu i sarusofonu); w wysokim rejestrze P-D Sax upodabnia się pod względem brzmieniowym do tórogatów oraz wyższych rejestrów saksofonu barytonowego.

Opisywana już, odkryta w trakcie pierwszych eksperymentów cecha, czyli praktyczny brak dolnego limitu wysokości generowanego przez P-D Sax dźwięku, stała się wyznacznikiem kierunku dalszego rozwoju instrumentu. Osiągnięcie dźwięków nawet poniżej dolnej granicy słyszalności nie wymaga zmiany fizycznych gabarytów instrumentu, co byłoby konieczne w przypadku tradycyjnego aerofonu. Jak wykazały prace nad kolejnymi prototypami, zbyt małe rozmiary instrumentu (a co za tym idzie, tuby akustycznej) mają niekorzystny wpływ na barwę dźwięku P-D Sax, niemniej jednak docelowa wersja wciąż pozostaje instrumentem relatywnie kompaktowym.

Z powyższych obserwacji wynika istotny wniosek – oparcie prac badawczych o praktyczne eksperymenty z żywą materią dźwiękową może przynieść zaskakujące rezultaty, które – podobnie jak w opisanych obszernie we wstępie i pierwszym rozdziale działaniach twórczych rodem z arsenatu Kompozytora B – prowadzić mogą do nieprzewidzianych wcześniej odkryć i zaskakujących rezultatów.

³¹³ K. Cybulski, *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument...*

3.5. Zespół instrumentów jako całość

Wstępne założenia projektu uwzględniały sposób, w jaki indywidualne cechy poszczególnych instrumentów mogą wpłynąć na ich współpracę w trio, przewidując dla każdego z instrumentów jasno określoną rolę:

- Aeromembranophone zdawał się najlepszym kandydatem do roli instrumentu basowego;
- Post-Digital Sax rozwijany był z myślą o roli instrumentu solowego;
- Autoviola pełnić miała funkcję instrumentu harmonicznego-melodycznego.

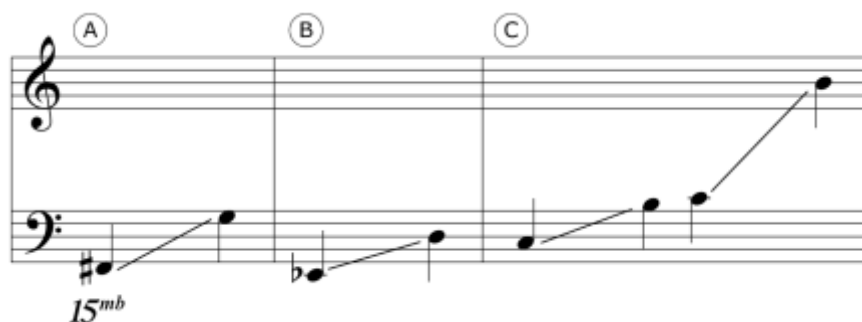
Nieprzewidziane pierwotnie cechy ostatecznych wersji instrumentów (w szczególności te z nich, których efektem były zmiany pierwotnie przewidywanych skal poszczególnych instrumentów) wpłynęły jednak na częściową modyfikację pierwotnych założeń.

3.5.1. Rejestry brzmieniowe

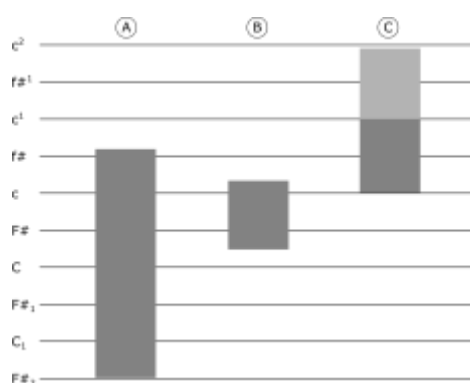
Ostateczna skala Aeromembranophone'u jest wypadkową specyficznych właściwości akustycznych instrumentu – w szczególności stosunek między długością słupa powietrza a stopniem napięcia membrany musiał być dobrany tak, aby możliwe było wydobywanie z instrumentu pełnej skali chromatycznej w zakresie jednej oktawy. Wynikowa skala instrumentu (Eb–d) czyni zeń raczej instrument barytonowy niż basowy.

W toku prac nad instrumentem Post-Digital Sax wystąpiła sytuacja odwrotna – efektem dążenia do optymalnego wykorzystania właściwości instrumentu jest jego trzyoktawowa skala (F#₂–g), rozciągająca się od rejestru subkontrabasowego do barytonowego.

Zaplanowana dla Autovioli rola instrumentu harmonicznego była przyczyną jej wyjściowego stroju, pokrywającego się z dolnym rejestrem altówki (c–h). W świetle skal ostatecznych wersji pozostałych instrumentów stało się jasne, iż żaden z instrumentów nie dysponuje możliwością wydobywania nut wyższych niż h (małe), a ich rejestry wysokościowe w dużej mierze pokrywają się. Obserwacja ta doprowadziła do wyposażenia Autovioli w tłumik flażoletowy, rozszerzający skalę instrumentu o kolejną oktawę (c¹–h¹). Rozwiązanie to przyczyniło się do rozszerzenia możliwości rejestrowych całego zespołu instrumentów.



Ilustracja 50. Skale ostatecznych wersji instrumentów: A) Post-Digital Sax, B) Aeromembranophone, C) Autoviola

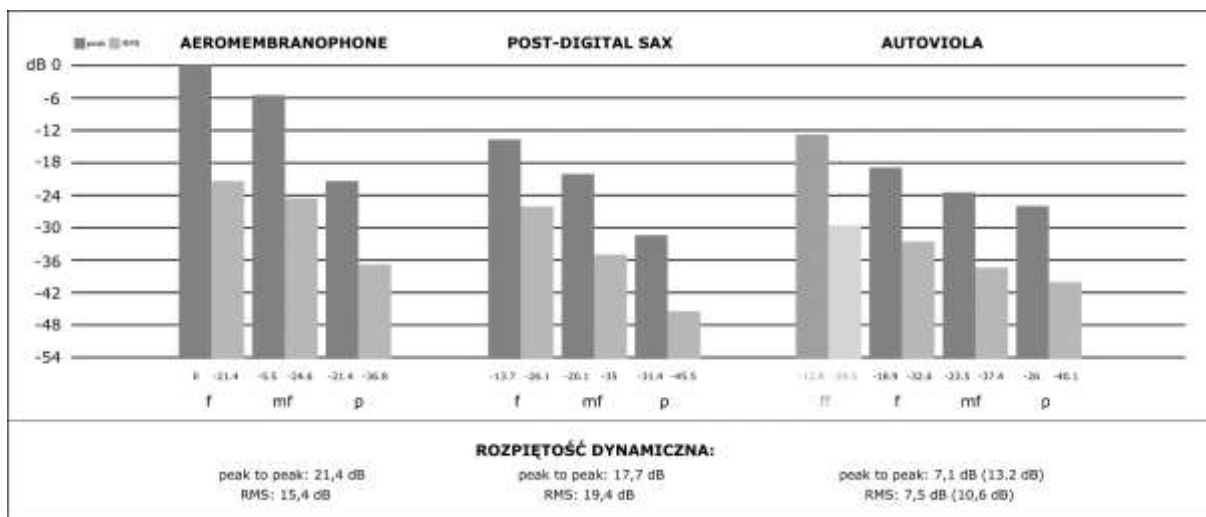


Ilustracja 51. Skale instrumentów w postaci wykresu, wyraźnie obrazującego ich wzajemne relacje: A) Post-Digital Sax, B) Aeromembranophone, C) Autoviola (rejestr uzyskiwany przy aktywacji tłumików flażoletowych zaznaczony jest jaśniejszym odcieniem)

Rezultatem opisanych zależności między rejestrami brzmieniowymi instrumentów było uwolnienie ich z jednoznacznie określonych ról, pozwalające na płynne zmiany funkcji pełnionych przez każdy z instrumentów w trakcie improwizowanych utworów.

3.5.2. Rozpiętość dynamiczna

Nie mniej istotnym parametrem determinującym brzmienie i możliwości wykonawcze zespołu instrumentów była ich rozpiętość dynamiczna. W podrozdziałach 3.2 i 3.4 opisałem działania mające na celu zwiększenie głośności Autovioli i instrumentu P-D Sax. Wzajemne relacje dynamiki ostatecznych wersji instrumentu prezentują się następująco (ilustracja 52):



Ilustracja 52. Przybliżone relacje zakresów dynamicznych poszczególnych instrumentów. Pomiarów dokonano na podstawie roboczych nagrań z wykorzystaniem mikrofonu z kapsułą Microtech Gefell MK 250 i przedwzmacniaczem MV 220 P48. Dynamika *ff* Autovioli została zmierzona podczas grania klasterów na wszystkich dwunastu strunach jednocześnie – w praktyce wykonawczej sytuacja ta występuje niezwykle rzadko, stąd zakres dynamiczny *p–ff* podany jest w nawiasach

Aeromembranophone w dynamice *fortissimo* pozostaje oczywiście najgłośniejszym z instrumentów (zarówno pod względem zmierzonego poziomu dźwięku, jak i w subiektywnym odbiorze wrażeniowym), niemniej jednak obfitość składowych harmonicznnych w brzmieniu pozostałych instrumentów powoduje w percepcji słuchacza właściwe zbilansowanie zakresów dynamicznych zespołu. Z perspektywy wykonawców wzajemne relacje między dźwiękiem instrumentów pozwalają na komfortową grę i czytelną komunikację. Próby zespołowe prowadzone były bez wykorzystania nagłośnienia; publiczna prezentacja w pomieszczeniu o odpowiednich właściwościach akustycznych mogłaby również odbywać się w formie czysto akustycznej. W praktyce jednak specyficzne warunki towarzyszące prawykonaniu dzieła (opisane szczegółowo w podrozdziale 3.8.1) spowodowały konieczność niewielkiego dogłośnienia instrumentów. Podobny zabieg został zastosowany podczas drugiego publicznego wykonania. W obu przypadkach reżyserzy dźwięku (Remigiusz Czechowicz, Wojciech Błażejczyk) skutecznie zadbał o zachowanie oryginalnego, naturalnego brzmienia instrumentów.

3.5.3. Instrumenty jako element systemu generatywnego

W pierwotnym założeniu komunikacja między instrumentami, niezbędna dla prawidłowej realizacji cyfrowych algorytmów, miała przebiegać jedynie za pośrednictwem dźwięku, który następnie miał być poddawany analizie fourierowskiej przy użyciu modułu *~fiddle*, dostępnego w środowisku Pure Data. Podobne rozwiązanie stosowałem już z powodzeniem we wcześniejszych projektach (CLSZ³¹⁴, Modular Process Music³¹⁵ oraz MORPH³¹⁶). W przypadku projektu AAAA praktyczna realizacja tego założenia wymagała jednak wyposażenia każdego z instrumentów w mikrofon, przechwytyjący dźwięk

³¹⁴ K. Cybulski, CLSZ...

³¹⁵ Modular Process Music – Krzysztof Cybulski International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn...

³¹⁶ K. Cybulski, MORPH...

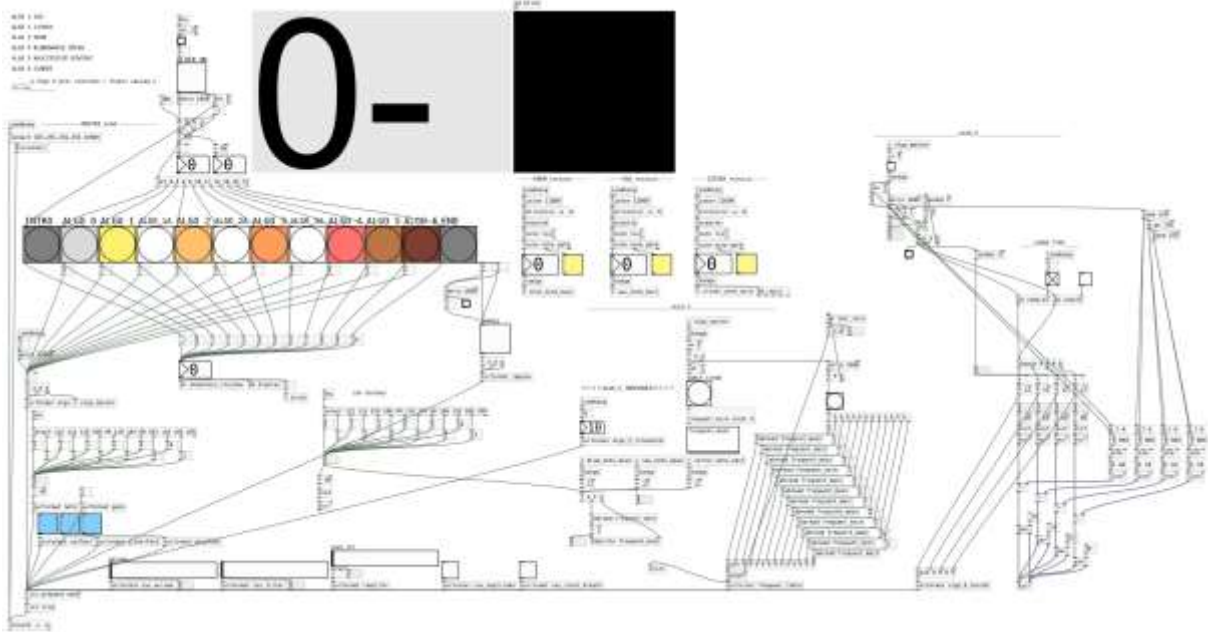
pozostałych instrumentów. Wstępne testy opisywanego rozwiązania zostały przeprowadzone podczas pierwszych dwóch prób zespołowych. Trudności nastęrczały jednak następujące kwestie:

- brak możliwości analizy dźwięku pozostałych instrumentów, podczas gdy instrument dokonujący analizy sam generował dźwięki (dźwięki własne były wówczas również przechwytywane przez wbudowany mikrofon);
- brak możliwości niezależnej analizy wysokości dźwięków każdego z pozostałych instrumentów z osobna (istotne na przykład w przypadku realizacji Algorytmu 5.)³¹⁷;
- niedostateczna skuteczność analizy dźwięku, wynikająca z lokalizacji mikrofonów w dużej odległości (kilka metrów) od analizowanych źródeł dźwięku;
- negatywny wpływ dźwięków z zewnątrz (na przykład odgłosów publiczności czy rozmów wykonawców podczas prób) na wyniki analizy.

Niedoskonałość tej metody analizy dźwięku uniemożliwiła skuteczną weryfikację wpływu algorytmów na zachowanie instrumentów i brak łatwo percepowalnego związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy dźwiękami granymi przez instrumenty wiodące i podążające w algorytmach 1., 2. i 3. Stało się to przyczyną podjęcia decyzji o wykorzystaniu do komunikacji między instrumentami protokołu *Open Sound Control*. OSC oparty jest z kolei na protokole sieciowym UDP – komunikacja może zatem przebiegać za pośrednictwem połączeń sieciowych (na przykład wi-fi), dzięki czemu nie wymaga wyspecjalizowanych fizycznych interfejsów (jak protokół MIDI). Zastosowanie protokołu OSC wymagało wyposażenia mikrokomputerów Bela Mini w adaptery wi-fi oraz zastosowanie odpowiednio skonfigurowanego standardowego routera wi-fi.

³¹⁷ Poszczególne algorytmy zostaną szczegółowo opisane w kolejnym podrozdziale.

3.5.4. Oprogramowanie kontrolne



Ilustracja 53. Patch AAAA_OSC_master

Oprócz *patchy* Pure Data kontrolujących zachowanie poszczególnych instrumentów powstał jeszcze dodatkowy *patch* – *AAAA_OSC_master* – kontrolujący zachowanie całego systemu. W praktyce jego rola polega na wysyłaniu do wszystkich instrumentów informacji o aktualnie wybranym algorytmie. Jedyny wyjątek stanowi Algorytm 5., w przypadku którego *patch* pełni dodatkową funkcję, polegającą na zliczaniu liczby poszczególnych dźwięków skali chromatycznej, zagranych przez wszystkie instrumenty (szczegóły działania algorytmów opisane są w kolejnym podrozdziale). *Patch* pozwala również na przeprowadzenie testów prawidłowej komunikacji pomiędzy instrumentami. Podobnie jak w przypadku *patchy* instrumentów, *AAAA_OSC_master* wykorzystuje również protokół *Open Sound Control*. Dodatkową funkcją *patcha* jest kontrolowanie rzutnika slajdów, wyświetlającego infografiki opisujące zasadę działania każdego z algorytmów (kwestia ta jest opisana szczegółowo w podrozdziale 3.8.1). *Patch* można pobrać ze strony krzysztofcybulski.com/aaaa.php.

Z przyczyn praktycznych (między innymi zminimalizowania liczby wykorzystywanych w projekcie niezależnych urządzeń cyfrowych) *AAAA_OSC_master* uruchamiany jest na laptopie wykorzystywanym do obsługi *Aeromembranophone*'u.

3.6. Algorytmy

Opisane powyżej cyfrowe rozszerzenia (relatywna zmiana wysokości dźwięków, zapętlanie i transpozycja fraz, pamięć akordów oraz możliwość ich automatycznej transpozycji) same w sobie są już implementacją podejścia postcyfrowego – poprzez wykorzystanie optymalnej kombinacji cech instrumentów akustycznych i technologii cyfrowej pozwalają uzyskać wiele unikalnych możliwości, niedostępnych w dotychczas powstałych instrumentach akustycznych. Pozostałe cechy wyróżniające

te zaprojektowane i wykonane od zera instrumenty to: możliwość wydobycia nieograniczenie niskich dźwięków w przypadku P-D Sax, możliwość grania wielodźwiękowych klasterów i akordów złożonych z niewielkich interwałów (na przykład samych sekund) w przypadku Autovioli czy też wreszcie możliwość wydobycia precyzyjnie nastrojonych dźwięków z pojedynczego instrumentu membranowego. Jednak podstawowym celem zastosowania podejścia postcyfrowego w opisywanym eksperymencie było wykorzystanie możliwości cyfrowej kontroli nad wysokością dźwięków, wydobywanych ze zbudowanych instrumentów, do stworzenia na ich bazie **systemu generatywnego**, umożliwiającego ingerencję w proces improwizacji grupowej z wykorzystaniem instrumentów akustycznych. Kluczowym elementem tego systemu są algorytmy, determinujące sposób, w jaki wysokości dźwięków grane przez poszczególnych wykonawców wpływają na dźwięki grane przez wykonawców pozostałych. Algorytmy te stanowią w pewnym sensie ekwiwalent szkieletowych kompozycji czy też założeń wstępnych / ramowych dla improwizowanych utworów. Stanowią one zatem jeden z kluczowych elementów całego projektu.

Co istotne, jak już wspominałem w podrozdziale 1.4.7, dla projektu AAAA istotna była **interpretowalność algorytmów** – w praktyce oznacza to, iż zasada ich działania powinna być:

- łatwo zrozumiała;
- możliwa do sformułowania w kilku słowach;
- możliwa do zaobserwowania poprzez samą obserwację interakcji między instrumentami.

W ostatecznej wersji projektu wykorzystane zostało pięć algorytmów. Ich nazewnictwo na potrzeby wykonania może być nieco mylące, jest ono jednak skutkiem określonego toku prac nad instrumentami i algorytmami oraz prowadzonych równolegle do nich prób zespołowych. W szczególności ów tok prac znajduje odzwierciedlenie w potencjalnie mylących nazwach par algorytmów 1 – 1A, 2 – 2A itd. – idea wprowadzenia dodatkowych wariacji algorytmów 1., 2. i 3. pojawiła się już na zaawansowanym etapie prac, na którym zaprogramowane i zaimplementowane we wszystkich instrumentach zostały już kolejne algorytmy – 4., 5. i 6. Zmiana numeracji pociągałaby za sobą konieczność daleko idącej reorganizacji wzajemnych relacji między oprogramowaniem poszczególnych instrumentów, stąd też podjęta przeze mnie decyzja o wykorzystaniu dopisku „A”. Z punktu widzenia wykonawców i – jak sądzę – słuchaczy konwencja ta nie budzi zbyt wielu kontrowersji. W poniższym opisie może jednak stanowić źródło pewnej konsternacji, stąd też konieczne wydało mi się wyjaśnienie przyczyn przyjęcia takiego, a nie innego nazewnictwa.

Źródłem konsternacji może być również *casus* pierwszego z opisywanych algorytmów – Algorytmu 0 – oraz wykorzystanie *de facto* identycznego zestawu reguł w algorytmach 1., 2. i 3. (oraz nieco innego, ale znów identycznego zestawu dla trzech kolejnych algorytmów – 1A, 2A i 3A). Poniższy, szczegółowy opis poszczególnych algorytmów powinien jednak rozwiązać ewentualne wątpliwości.

ALGORYTM 0 – swobodna improwizacja

W przypadku Algorytmu 0 – wbrew nazwie – nie jest wykorzystywany żaden faktyczny algorytm, czyli zestaw reguł determinujących wzajemne zależności między instrumentami. Jak sugeruje podtytuł, wykonawcy improwizują swobodnie, bez wykorzystania systemu generatywnego, zatem i bez wzajemnego wpływu instrumentów na siebie. Oczywiście – jak w każdym przypadku grupowej improwizacji – wykonawcy mogą wchodzić ze sobą w „pozacyfrową” interakcję, poprzez wzajemne słuchanie się i reagowanie na zasłyszane frazy. Wykonawcy mogą również wykorzystywać swoiste dla każdego z instrumentów cyfrowe rozszerzenia, opisane szczegółowo w poprzednich podrozdziałach.

ALGORYTM 1. – Post-Digital Sax *dyktuje* nuty pozostałym instrumentom

ALGORYTM 2. – Autoviola *dyktuje* nuty pozostałym instrumentom

ALGORYTM 3. – Aeromembranophone *dyktuje* nuty pozostałym instrumentom

Powyższe trzy algorytmy wykorzystują *de facto* tę samą regułę – jak sugerują podtytuły, w każdym z algorytmów jeden z instrumentów dyktuje nuty instrumentom pozostałym. Różnicę między algorytmami 1., 2. i 3. stanowi zatem jedynie instrument przyjmujący rolę wiodącą.

Działanie powyższych algorytmów przebiega następująco: instrument *wiodący* (czyli P-D Sax przy Algorytmie 1., Autoviola przy Algorytmie 2. itd.) wysyła w czasie rzeczywistym do pozostałych instrumentów (instrumentów *podążających*) informację o aktualnie granych dźwiękach, w postaci numerów nut midi. Ze względu na fakt, iż każdy z instrumentów ma inną skalę, informacja o konkretnej oktawie, do której przynależy zagrana nuta, jest pomijana – zatem na przykład zagrane na P-D Sax c małe, razkreślne i dwukreślne (czyli odpowiednio nuty midi 48, 60 i 72) zostaną potraktowane przez pozostałe instrumenty jako ta sama informacja – dźwięk C subsubkontra³¹⁸ (nuta midi 0).

Każdy z instrumentów podążających posiada czteropozycyjny bufor, w którym przechowywana jest informacja o ostatnich czterech nutach zagranych przez instrument wiodący. Prześledźmy – dla przykładu – zachowanie Algorytmu 2. (w którym rolę instrumentu wiodącego pełni Autoviola) na konkretnym scenariuszu:

³¹⁸ Oktave, Wikipedia, 2024 r.

DŹWIĘKI WYŚLANE PRZEZ INSTRUMENT PROWADZĄCY	BUFOR INSTRUMENTÓW PODĄŻAJĄCYCH
Autoviola gra arpeggio złożone z dźwięków c – e – g – h	w buforze pozostałych instrumentów zapisywane są następujące nuty: c e g h
Autoviola następnie gra dźwięk d	nowy dźwięk d zajmuje pierwszą pozycję w buforze; pozostałe nuty przesuwane są w buforze o jedną pozycję (w lewo), najstarsza zapisana nuta – czyli c – zostaje usunięta z bufora. Zaktualizowany bufor wygląda zatem następująco: e g h d
Autoviola następnie gra dwudźwięk f – a	nowe dźwięki f i a zajmują drugą i pierwszą pozycję w buforze; pozostałe nuty przesuwane są w buforze o dwie pozycje (w lewo); dwie najstarsze zapisane nuty – e i g – zostają usunięte z bufora. Zaktualizowany bufor wygląda zatem następująco: h d f a

Każdy z instrumentów, występując w roli wiodącej, zachowuje się analogicznie – wciśnięcie jednego z przycisków / klawiszy powoduje wysłanie nuty do pozostałych instrumentów. Nawet w przypadku jednoczesnego wciśnięcia kilku klawiszy – co ma miejsce przy grze akordowej na Autoviole – ich wciśnięcie nigdy nie następuje dokładnie w tym samym momencie, zatem akordy wysyłane są również w postaci sekwencji dźwięków. Co istotne, informacja o nowym zagrany dźwięku wysyłana jest tylko wówczas, gdy różni się on od dźwięku poprzedniego (na przykład dwukrotne wciśnięcie klawisza **c** nie spowoduje dwukrotnego wysłania nuty **c** do pozostałych instrumentów).

Jednak występując w roli instrumentu podążającego, każdy z instrumentów interpretuje zapisane w buforze informacje o wysokości dźwięku w sposób odmienny – ze względu na odmienne zasady działania każdego z instrumentów i wynikające z tego unikalne cechy:

- w przypadku Autoviole zawartość bufora odzwierciedlona jest bezpośrednio w układzie aktywnych strun – co oznacza, że w każdym momencie na instrumencie zagrać można czterodźwiękowy akord, złożony z czterech ostatnich nut zagranych przez instrument wiodący. Wyjątek stanowi sytuacja, w której instrument wiodący zagra sekwencję dźwięków, w której jedna lub dwie nuty powtarzają się – na przykład **c – d – c – e** (w tym przypadku aktywne będą tylko trzy struny Autoviole – **c, d i e**) lub **c – d – c – d** (w tym przypadku aktywne będą tylko dwie struny - **c i d**);
- w przypadku instrumentu P-D Sax nuty stanowiące zawartość bufora porządkowane są automatycznie pod względem wysokości – na przykład zagrana przez instrument wiodący sekwencja **f – d – c – a** przybierze formę | **c | d | f | a** |. Tak uporządkowane, zapisane w buforze dźwięki zostają następnie przyporządkowane trzem najniższym klawiszom instrumentu. Zatem – przy powyższej sekwencji nut – przy wciśnięciu wszystkich trzech klawiszy odezwie się dźwięk **c**, zwolnieniu najniższego klawisza towarzyszyć będzie dźwięk **d**, dwóm zwolnionym klawiszom dźwięk **f**, a trzem – dźwięk **a**. P-D Sax – nawet w roli instrumentu podążającego – zachowuje przy tym niektóre swoje podstawowe funkcje, w szczególności możliwość transponowania dźwięków o oktawę w górę lub w dół (za pomocą kciukowego

przycisku oktawowego) oraz możliwość płynnej zmiany wysokości dźwięku o sekundę wielką w górę poprzez niepełne dociśnięcie klawisza;

- w przypadku Aeromembranophone'u nuty zapisane w buforze są dostępne dla wykonawcy jako czterodźwiękowa sekwencja. Wciskanie przycisku „c” na klawiaturze nożnej pozwala na cykliczne przechodzenie pomiędzy kolejnymi nutami buforu – na przykład przy powyżej zaproponowanej zawartości buforu | **f** | **d** | **c** | **a** | rezultatem ośmiokrotnego wciśnięcia przycisku będzie sekwencja dźwięków **f – d – c – a – f – d – c – a**. Jeśli wykonawca w drodze cyklicznego przełączania dźwięków zatrzyma się na ostatnim dźwięku buforu (w powyższym przykładzie na nucie **a**), Aeromembranophone będzie w czasie rzeczywistym reagował na zmiany dźwięków granych przez instrument wiodący, odgrywając zawsze najświeższą przesłaną nutę, czego efektem jest gra *unisono* z instrumentem wiodącym.

ALGORYTM 1A – Post-Digital Sax *sugeruje* nuty pozostałym instrumentom

ALGORYTM 2A – Autoviola *sugeruje* nuty pozostałym instrumentom

ALGORYTM 3A – Aeromembranophone *sugeruje* nuty pozostałym instrumentom

Podobnie jak w przypadku poprzednio opisanych algorytmów, różnicę między algorytmami 1A, 2A a 3A stanowi wyłącznie instrument pełniący funkcję wiodącą.

Algorytmy z dopiskiem „A” stanowią wariację algorytmów 1., 2. i 3. Różnicę stanowi drobny, acz istotny szczegół: o ile – w przypadku algorytmów „bez dopisku” – zmiana nut zapisanych w buforze *instrumentów podążających* następowała automatycznie wraz z każdą nową nutą zagrana przez instrument wiodący, o tyle – w przypadku algorytmów „A” – to **wykonawcy grający na instrumentach podążających decydują o tym, w którym momencie nastąpi aktualizacja bufora**. Aktualizacji dokonuje się za pomocą odpowiedniego elementu interfejsu (przycisk nożny odpowiadający nucie h w przypadku Aeromembranophone'u, klawisz „h” Autovioli, najwyższy klawisz instrumentu P-D Sax). Ta drobna różnica znacznie zwiększa wpływ wykonawców obsługujących *instrumenty podążające* na przebieg struktury harmonicznego utworu: o ile w przypadku algorytmów „bez dopisku” w ich gestii pozostawał jedynie wybór nut z puli dźwięków przechowywanych w automatycznie aktualizowanym buforze, o tyle w przypadku algorytmów „A” *wykonawcy podążający* mogą zdecydować kiedy – i czy w ogóle – ta aktualizacja następuje. Spróbujmy prześledzić tę różnicę na przykładzie konkretnego scenariusza, rozgrywającego się w trakcie realizacji algorytmów 1. oraz 1A:

Wykonawca improwizujący na instrumencie P-D Sax gra następującą sekwencję dźwięków:



Stanowią one pasaże akordów C-dur, D-dur i Es-dur (wszystkie z dodaną septymą wielką). Gdyby sekwencja ta została zagrana w trakcie realizowania Algorytmu 1., a wykonawca grający na Autovioli zechciał zagrać półnutowe akordy na trzeciej mierze każdego taktu, bufor Autovioli – aktualizujący się w czasie rzeczywistym na podstawie dźwięków zagranych przez P-D Sax – wygenerowałby następującą partię:

The image shows a musical score for two instruments: P-D Sax and Autoviola. The P-D Sax part is written in a treble clef with a 4/4 time signature. It consists of three measures of music. The first measure contains a quarter note C4, a quarter note D4, a quarter note E4, and a half note F#4. The second measure contains a quarter note G4, a quarter note A4, a quarter note B4, and a half note C5. The third measure contains a quarter note B4, a quarter note A4, a quarter note G4, and a half note F#4. The Autoviola part is written in a treble clef with a 4/4 time signature. It consists of three measures of music. The first measure is a whole rest. The second measure contains a chord of C major with a sharp 7th (F#), represented by a vertical line with a sharp sign and a 7. The third measure contains a chord of E-flat major with a sharp 7th (D), represented by a vertical line with a flat sign and a sharp sign and a 7.

Rezultat jest zgodny z oczekiwaniami improwizującego na P-D Sax wykonawcy: zaproponowane pasaże znajdują odzwierciedlenie w realizowanej przez Autoviolę warstwie harmoniczej. Gdyby grający na Autovioli zrezygnował z pauz, poszczególne nuty granego przezeń czterodźwięku zmieniałyby się w trakcie granych na P-D Sax ósemkowych pasaży, ale przez pozostałe pół taktu odpowiadałyby przedstawionemu w powyższym zapisie obrazowi. Zatem w przypadku algorytmów „bez dopisku” wykonawca wiodący w dużej mierze samodzielnie decyduje o warstwie harmoniczej tworzonego na bieżąco utworu.

Nieco inaczej kształtuje się sytuacja pod auspicjami Algorytmu 1A. Załóżmy, że P-D Sax ponownie rozpoczyna grę od pasaży C-dur. Grający na Autovioli postanawia dołączyć w połowie pierwszego taktu, wciskając klawisz aktualizujący bufor w momencie oznaczonym czarną kropką. W kolejnym takcie P-D Sax gra już jednak pasaż kolejnego akordu, ale Autoviola postanawia kontynuować granie akordu pierwszego. Powstaje – zależnie od interpretacji – dysonujący klaster albo interesująca struktura bitonalna. Wykonawca grający na P-D Sax, preferujący pierwszą z interpretacji, może zechcieć wrócić do poprzedniego akordu; zwolennik nieoczywistych harmonii może jednak kontynuować improwizację w oparciu o akord D-dur. Tymczasem grający na Autovioli postanawia jednak dokonać aktualizacji buforu (czwarta miara drugiego taktu), ale już za chwilę P-D Sax proponuje akord Es-dur, tworząc jeszcze bardziej dysonujące współbrzmienie:

The image shows a musical score for two instruments: P-D Sax and Autoviola. The P-D Sax part is identical to the first score. The Autoviola part is written in a treble clef with a 4/4 time signature. It consists of three measures of music. The first measure is a whole rest. The second measure contains a complex chord structure with a black dot above the staff, indicating a buffer update. The third measure contains a complex chord structure with a black dot above the staff, indicating a buffer update.

Opisany powyżej scenariusz ukazuje sposób, w jaki pozornie niewielka różnica między Algorytmem 1. a 1A może wpłynąć zarówno na samą warstwę harmoniczną tworzonego utworu, jak i – przede wszystkim – na interakcję i stopień współzależności między poszczególnymi wykonawcami.

W przypadku kolejnych algorytmów nie występuje już rozbieżność pomiędzy nazwą / numeracją a faktycznie wykorzystywanymi regułami – każdy z algorytmów 4., 5. i 6. składa się z odrębnych zestawów reguł.

Kolejną istotną cechą wspólną niżej opisywanych algorytmów jest brak podziału na instrumenty wiodące i podążające – wszystkie instrumenty pełnią równorzędne role i podlegają tym samym regułom.

ALGORYTM 4. – zmiana wysokości dźwięku jest możliwa tylko przy grze solo

W Algorytmie 4. kluczową daną jest sygnał *gate*, pochodzący z każdego z instrumentów, informujący o tym, czy dany instrument wydaje z siebie dźwięk. Od strony technicznej informacja ta pochodzi z czujnika dźwięku (mikrofonu elektretowego z komparatorem) zainstalowanego wewnątrz *Aeromembranophone*'u, piezoelektrycznego mikrofonu kontaktowego zainstalowanego na gryfie *Autovioli* oraz czujnika ciśnienia wbudowanego w ustnik instrumentu *P-D Sax*. Reguła determinująca zachowanie instrumentów jest niezwykle prosta – zmiana wysokości dźwięku danego instrumentu możliwa jest tylko wtedy, kiedy pozostałe instrumenty nie wydają dźwięku. Zatem gdy dźwięk wydobywa się z dwóch lub trzech instrumentów, elementy interfejsu – klawisze i przyciski – przestają działać; próby zmiany wysokości dźwięku nie przynoszą żadnych efektów aż do momentu, gdy przynajmniej dwa z trzech instrumentów ponownie zamilkną.

Ta prosta reguła wpływa w znacznym stopniu na interakcję między wykonawcami. Prześledźmy hipotetyczny scenariusz: utwór zaczyna się od solowej gry na przykład *Autovioli*. Wykonawca improwizuje swobodnie do momentu, gdy któryś z pozostałych wykonawców (na przykład grający na *Aeromembranophone*) postanowi do niego dołączyć. W tym momencie nuty grane przez oba instrumenty pozostają w zawieszeniu – powstaje zatem statyczne współbrzmienie (choć wykonawcy mogą oczywiście wpływać na nie poprzez zmianę dynamiki, artykulacji czy w końcu rytmu granych dźwięków). Na poziomie interakcji między muzykami pojawia się kilka możliwych scenariuszy – grający na *Autovioli* – jako ten, który rozpoczął utwór i miał możliwość zagrania krótkiej partii solowej – może ustąpić miejsca drugiemu wykonawcy i zapauzować, umożliwiając zmianę wysokości dźwięków granych na *Aeromembranophone*. Może jednak zacząć się swoista próba sił – grający na *Autovioli*, chcąc kontynuować rozpoczętą myśl muzyczną, może unikać wycofania się, próbując skłonić współwykonawcę do wstrzymania gry. Obaj – lub też wszyscy trzej – muzycy mogą wyjść z innego założenia, grając na tyle oszczędnie, aby zapewnić jak najwięcej przestrzeni pozostałym wykonawcom. Mogą wreszcie grać krótkie, szybkie frazy, próbując „wstrzelić się” w pauzy pozostałych wykonawców.

Algorytm 4. zatem oferuje formę interakcji najbardziej zbliżoną do zabawy czy wręcz osobliwej gry komputerowej – chęć zrealizowania własnych muzycznych pomysłów wymaga pewnej zręczności czy umiejętności przewidywania, kiedy nastąpi pauza w grze pozostałych wykonawców. Ten stan rzeczy sprzyja wzmożonemu wsłuchiwaniu się w grę współwykonawców, próbie odgadnięcia i antycypowania ich kolejnych muzycznych posunięć. Efekty muzyczne improwizacji w oparciu o Algorytm 4. są bardzo

charakterystyczne – składają się w dużej mierze z krótkich, urwanych fraz, przeplatanych dłuższymi plamami akordowymi czy klasterami.

ALGORYTM 5. – najczęściej grane nuty stają się niedostępne dla wykonawców

W ramach Algorytmu 5. wszyscy wykonawcy otrzymują do wykorzystania ograniczoną pulę dźwięków – każda z nut skali chromatycznej może być wykorzystana tylko dwanaście razy. Liczba powtórzeń danej nuty jest zliczana globalnie dla wszystkich instrumentów. Co istotne, podobnie jak w przypadku algorytmów 1., 2. i 3., kilkukrotne wciśnięcie tego samego klawisza nie jest tożsame z kilkukrotnym zagranie tej samej nuty. Aby system mógł zarejestrować dwukrotnie na przykład dźwięk c#, musi on wystąpić dwukrotnie w dłuższej sekwencji, przedzielony innymi nutami, na przykład **c# – d – c#**.

O ile w przypadku dotychczas opisywanych algorytmów rola głównego oprogramowania sterującego AAAA_OSC_master sprowadzała się do zdalnego przełączania algorytmów we wszystkich instrumentach (oraz zmiany slajdów w rzutniku³¹⁹), o tyle w przypadku Algorytmu 5. pełni ono kluczową funkcję, polegającą na globalnym zliczaniu liczby poszczególnych nut skali chromatycznej, zagranych przez wszystkie instrumenty. AAAA_OSC sprawdza, czy liczba powtórzeń danej nuty przekroczyła zadany próg (dwanaście powtórzeń) – jeśli tak, nuta ta oznaczana jest jako wyeliminowana z dalszej gry. Informacja ta, aktualizowana w czasie rzeczywistym i przechowywana w tabeli, jest co 2 sekundy wysyłana do wszystkich instrumentów.

Zachowanie całego systemu najłatwiej będzie prześledzić na przykładzie kolejnego hipotetycznego scenariusza: Wszyscy trzej wykonawcy swobodnie improwizują. W ciągu pierwszych trzydziestu sekund jeden z instrumentów zagrał frazy składające się z dźwięków c – d – e – c – f – d – c – g – h – d – c, drugi: h – c – c# – c – h – b – a – h – c – c# c – h, trzeci: g – c – f – b – c – d – c – b – c. Nuta c została zatem zagrana łącznie dwanaście razy, co oznacza, że zostaje wyeliminowana z dalszego użycia – wciskanie klawisza czy przycisku odpowiedzialnego za dźwięk c na którymkolwiek z instrumentów nie przyniesie już żadnych rezultatów. Drugi co do liczby powtórzeń dźwięk h może być wykorzystany jeszcze siedem razy, po czym również zostanie wyeliminowany.

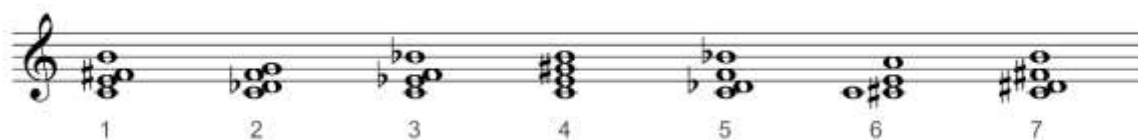
Rezultatem tak działającego algorytmu jest stopniowe zawężanie puli dostępnych dźwięków. Ponieważ pula ta jest wspólna dla wszystkich instrumentów, eliminacja dźwięków sprzyja powstawaniu spójnych współbrzmień – już na etapie wyeliminowania ośmiu z dwunastu dźwięków słyszalny powinien być fakt, że wszystkie instrumenty korzystają ze wspólnego czterodźwięku. Algorytm wyczerpuje się w momencie, gdy do dyspozycji wykonawców pozostaje ostatnia nuta – co, jak pokazuje praktyka (oraz przykłady dźwiękowe opisane w podrozdziale 4.2), nie wyczerpuje możliwości dalszej ekspresyjnej gry.

³¹⁹ O czym piszę szczegółowo w podrozdziale 3.8.1.

ALGORYTM 6. – instrumenty odgrywają cyfrowo wygenerowaną sekwencję nut / akordów

Algorytm 6. wykorzystuje w zasadzie odrębny, prosty system generatywny, który można nazwać roboczo *systemem podrzędnym* (w tym znaczeniu, że jego rola jest podrzędna wobec całościowego systemu generatywnego, jakim jest kombinacja instrumentów, oprogramowania i czynnika ludzkiego, który z kolei można nazwać roboczo *systemem nadrzędnym*). Jego zadaniem jest wyłącznie wytworzenie sekwencji akordów, które następnie przesyłane są do instrumentów. Dopiero wówczas owe wylosowane sekwencje stają się elementem systemu nadrzędnego, będącego – jak w przypadku wszystkich wcześniej opisanych algorytmów – kombinacją cyfrowego zestawu reguł, fizycznych instrumentów i wkładu ludzkich wykonawców.

System podrzędny Algorytmu 6. oparty jest na materiale dźwiękowym w postaci siedmiu arbitralnie skomponowanych czterodźwiękowych akordów oraz zestawie trzech prostych reguł. Wyjściowy materiał składa się z następujących współbrzmień³²⁰:



1. Akord durowy na bazie skali lidyjskiej (kwarta zwiększona w roli kwinty) z dodaną septymą wielką – w zapisie jazzowym $C^{\text{maj}7 \#11}$.
2. Akord zawieszony (z kwartą czystą w miejsce tercji) z dodaną sekundą małą – w zapisie jazzowym $C^{\text{sus}4 \text{ add}b2}$.
3. Akord mollowy z septymą małą i kwartą zamiast kwinty – w zapisie jazzowym $C^{-7 \text{ sus}4}$.
4. Akord durowy z podwyższoną kwintą z dodaną septymą wielką – w zapisie jazzowym $C^{\text{maj}7 \#5}$; może być interpretowany jako akord E-dur z nutą C w basie – w zapisie jazzowym E^{\flat}/C .
5. Akord zawieszony (z kwartą czystą w miejsce tercji), bez kwinty, z dodaną sekundą małą i septymą małą – w zapisie jazzowym $C^{7 \text{ sus}4 \text{ add}b2}$; może być interpretowany jako H-moll z nutą c w basie – w zapisie jazzowym B^{\flat}/C .
6. Akord durowy z sekstą zamiast kwinty, z dodaną sekundą małą – w zapisie jazzowym $C^{6 \text{ add}b2}$; w zapisie zastosowałem nutę C# zamiast D \flat ze względu na możliwość interpretacji jako akordu A-dur z nutą C w basie – w zapisie jazzowym A^{\flat}/C .
7. Akord zmniejszony z dodaną septymą wielką; może być interpretowany jako akord H-dur z nutą C w basie – w zapisie jazzowym B^{\flat}/C .

Dobór takich, a nie innych współbrzmień, został dokonany przeze mnie arbitralnie – jest to zestaw czterodźwięków posiadających w moim subiektywnym odczuciu intrygujące brzmienie. **Algorytm 6. jest zatem jedynym elementem całego projektu AAAA, w którym moja rola wpisuje się częściowo w postawę Kompozytora A.** Cztery z powyższych akordów wykazują cechy struktur bitonalnych –

³²⁰ J. Glenc, *Harmonia jazzowa. Kluczowa problematyka stylistyczno-estetyczna*, Katowice 2015.

umieszczenie prostego trójdźwięku durowego lub mollowego na nucie basowej odległej o tercję wielką, sekstę wielką lub septymę wielką przynosi w moim odczuciu interesujące, ambiwalentne współbrzmienia, mimo w zasadzie konsonansowego charakteru.

Wspomniane trzy reguły – stanowiące oprócz przedstawionych powyżej współbrzmień sedno Algorytmu 6. – można opisać następująco:

- a) losowy wybór jednego z siedmiu akordów;
- b) przypisanie wybranemu akordowi losowo wybranej transpozycji z zakresu 0–11 półtonów;
- c) losowy wybór czasu trwania danego akordu z zakresu 2–9 sekund.

Gdyby potraktować sam *system podrzędny* jako samoistny system generatywny – na przykład syntetyzując wylosowane przezeń współbrzmienia za pomocą instrumentu elektronicznego – efekt muzyczny byłby dość monotony; zastosowanie powyżej opisanych reguł gwarantuje co prawda pewną złożoność powstających struktur harmoniczných, bazują one jednak na ograniczonej puli siedmiu współbrzmień. Losowy wybór kolejności akordów oraz ich transpozycji daje z kolei przypadkowe relacje harmoniczne między następującymi po sobie akordami. Jednak wykorzystanie tak wygenerowanych współbrzmień w *systemie nadrzędnym* umożliwia powstanie kolejnych poziomów złożoności: wszak to w gestii wykonawców pozostaje decyzja co do rytmu, czasu, dynamiki, artykulacji czy też ogólnej faktury utworu.

Z punktu widzenia wykonawców Algorytm 6. teoretycznie pozostawia najmniejsze pole manewru ze wszystkich opisanych algorytmów, w praktyce jednak uwalnia wszystkich trzech wykonawców od konieczności podejmowania decyzji dotyczących wysokości granych dźwięków, umożliwiając przekierowanie kreatywności na pozostałe obszary ekspresji muzycznej.

3.7. Wykonawcy

Istotnym elementem projektu AAAA był dobór wykonawców spełniających określone kryteria, wynikające częściowo z właściwości instrumentów i algorytmów.

Jedynym parametrem kontrolowanym przez cyfrowe algorytmy jest wysokość dźwięku, w istocie ograniczona jedynie do wyboru jednego z dwunastu stopni skali równomiernie temperowanej. Decyzja ta miała na celu osiągnięcie łatwej interpretowalności algorytmów. Ograniczenie do skali dwunastostopniowej, obejmującej w przypadku dwóch z trzech instrumentów jedynie zakres oktawy, z oczywistych względów ułatwia również konstrukcję samych fizycznych instrumentów. Punktem wyjścia dla takiej decyzji było jednak dążenie do wykorzystania algorytmów do tworzenia **muzyki tonalnej**, zatem umiejętność swobodnego poruszania się i improwizacji w oparciu o język harmonii (tradycyjnej lub rozszerzonej harmonii dur-mol, harmonii jazzowej czy wreszcie harmonii stosowanej w muzyce pop i rock) była kluczowym kryterium doboru muzyków.

U muzyków biorących udział w przedsięwzięciu poszukiwałem zatem następujących cech:

- umiejętność improwizacji tonalnej;
- doświadczenie w grze na instrumentach o charakterze zbliżonym do jednego ze zbudowanych przeze mnie dla potrzeb projektu AAAA;
- umiejętność poruszania się w różnych stylach muzycznych;
- otwartość na działania eksperymentalne.

Początki prac nad pierwszym z instrumentów – P-D Sax – przypadły na przelot lat 2020 i 2021. Okres ten, ze względu na panującą pandemię wirusa COVID-19, znacznie utrudniał bezpośrednie spotkania z muzykami, a P-D Sax, jako instrument dęty, niósł ze sobą szczególne ryzyko ewentualnego zakażenia wirusem. W toku prac nad pierwszymi prototypami prowadziłem niezbędne praktyczne próby i testy gry na instrumencie, w związku z czym przekazywanie P-D Sax innemu instrumentalistcie wymagałoby każdorazowo demontażu i dezynfekcji ustnika. Ze względu na te uwarunkowania – mimo braku wcześniejszego doświadczenia w grze na instrumentach dętych drewnianych – podjąłem się roli wykonawcy obsługującego P-D Sax. Rola ta była dla mnie ekscytującym wyzwaniem – moje doświadczenia jako instrumentalisty związane są przede wszystkim z instrumentami strunowymi (gitara basowa, kontrabas), zatem gra na instrumencie o odmiennym charakterze umożliwiła uzyskanie świeżego spojrzenia – pozbycia się nawyków, które nieodłącznie towarzyszą wieloletniej grze na określonym instrumencie.

Zaproszenie do udziału w projekcie przyjęli następujący muzycy, spełniający z nawiązką wymienione wcześniej kryteria:

- Piotr Zalewski³²¹ – muzyk łączy wieloletnie doświadczenie w grze na historycznych instrumentach smyczkowych – altowej i basowej violi da gamba – z aktywnością w muzyce pop i rock, gra bowiem na gitarze, gitarze basowej oraz syntezatorze. Miałem przyjemność współpracować z Piotrem przy wspomnianym już projekcie Spectral Score, przy tej okazji Piotr dał się poznać jako muzyk niezwykle otwarty na nowe doświadczenia.
- Hubert Zemler³²² – wykształcony klasycznie perkusista, łączy doświadczenia wykonawcy w szerokim zakresie stylów (muzyka współczesna, jazz, rock i szeroko pojmowana muzyka eksperymentalna) z własną twórczością w charakterze kompozytora oraz artysty solowego, poruszającego się w obszarach muzyki eksperymentalnej i elektroakustycznej.

3.8. Strategie wykonawcze

3.8.1. Muzyka i komunikatywność performatywna

Projekt AAAA prezentowany był dotychczas dwukrotnie – premiera odbyła się 15 września 2023 r. podczas zorganizowanej w formie koncertu promenadowego inauguracji 66. Międzynarodowego

³²¹ Zalewski, Piotr. *Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/wykonawcy/zalewski-piotr> [dostęp: 7 czerwca 2024 r.].

³²² H. Zemler, *Bio*, <https://hubertzemler.com/bio/> [dostęp: 7 czerwca 2024 r.].

Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień³²³. Składały się na nią trzy sety (osobne wykonania). Druga prezentacja miała formę tradycyjnego koncertu, odbywającego się w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab w Warszawie 19 marca 2024 r. Podczas każdej z tych prezentacji została przyjęta nieco odmienna strategia.

W podrozdziałach 3.2–3.4 przybliżyłem już specyficzne możliwości wykonawcze każdego z instrumentów, w podrozdziale 3.6 – szczegóły działania algorytmów, będących w pewnym sensie ekwiwalentem kompozycji, mających kluczowe znaczenie dla kierunku, który obrać może improwizacja z wykorzystaniem zbudowanych przeze mnie instrumentów. Mimo iż instrumenty i algorytmy kształtują dość wyraźne ramy, w których mogą poruszać się improwizujący wykonawcy, wciąż pozostaje jednak szerokie pole swobody, umożliwiające kształtowanie w szerokim zakresie powstających *ad hoc* utworów.

Wykonawcy dokonują oczywiście indywidualnych wyborów estetycznych w trakcie realizacji każdego improwizowanego dzieła muzycznego, istnieje jednak możliwość przyjęcia ogólnej, wspólnej strategii dla każdego z granych koncertów. W przypadku projektu AAAA strategie te mogą być przyjmowane na kilku poziomach:

- Przyjęcie ogólnych założeń dla całego koncertu, dotyczących przebiegu dramaturgicznego, dynamiki, faktury (na przykład czy podjąć starania o wspólne budowanie harmonii, czy też grać bardziej *free*, atonalnie; czy grać „gęsto”, czy bardziej zachowawczo, pozostawiając przestrzeń pozostałym wykonawcom).
- W toku prób zespołowych miałem – wraz z pozostałymi wykonawcami – możliwość eksperymentalnego testowania możliwości każdego z algorytmów, poszukując rozwiązań i gestów muzycznych przynoszących najciekawsze dla każdego z algorytmów rezultaty. Owe rozwiązania i gesty muzyczne wykrystalizowały się do pewnego stopnia podczas prób, szczególnie w przypadku dwóch algorytmów:
 - rezultatem działania Algorytmu 4. nader często stają się dwie występujące na przemian figury muzyczne: krótkie frazy czy pojedyncze dźwięki grane *staccato* przez każdy instrument solo oraz dłuższe, statyczne pod względem zawartości harmonicznego zespołowe współbrzmienia, w trakcie których wykonawcy operują głównie zmianami dynamiki i artykulacji;
 - w przypadku Algorytmu 5. stopniowa eliminacja dostępnych dźwięków prowadzi każdorazowo do sytuacji, w której instrumenty grają *unisono* ostatni dostępny dźwięk; sytuacja ta, podczas potrójnego prawykonania, stawała się punktem wyjścia do coraz odważniejszej eksploracji granic muzycznej ekspresji w oparciu o pojedynczą nutę, z wykorzystaniem możliwości dynamicznych, artykulacyjnych i brzmieniowych instrumentów.

³²³ *Soliści ORKIESTRY SYMFONICZNEJ FILHARMONII ŚLĄSKIEJ / HASHTAG ENSEMBLE / NEOQUARTET / SINFONIA VARSOVIA / ZAMANI. Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/program/15-09/inauguracja> [dostęp: 8 czerwca 2024 r.].

Wypracowane (czy też odkryte) w toku prób rozwiązania muzyczne stanowią rodzaj strategii wykonawczych dla powyżej opisanych algorytmów, stanowiąc punkt wyjścia – czy też „bezpieczną przystań” – podczas grupowej improwizacji; mogą one jednak stanowić również ograniczenie, prowokować do poruszania się podczas improwizacji jedynie po utartych ścieżkach.

- Trzeci poziom założeń strategicznych jest (podobnie jak opisane uwarunkowania dla Algorytmu 4. i Algorytmu 5.) specyficzny dla projektu AAAA i dotyczy kwestii komunikatywności performatywnej. Czy podczas wykonania skupiać się bardziej na zaprezentowaniu zasady działania systemu, czy też na tworzeniu możliwie najwartościowszej muzyki? Czy wykonanie utworu na nowych instrumentach musi z konieczności stać się przede wszystkim prezentacją możliwości wykorzystanej w przedsięwzięciu technologii, czy też jest to kwestia mniej istotna niż właściwa ekspresja artystyczna? Stosunkowo wysoki poziom złożoności koncepcji stojącej za projektem AAAA powoduje, że trudne jest streszczenie zasady działania w kilku słowach, zrozumiałych dla niewtajemniczonego odbiorcy. Jeszcze trudniejsze jest jednoznaczne zaprezentowanie zasady działania instrumentów i zależności między nimi w sposób niewerbalny – wyłącznie poprzez grę na nich.

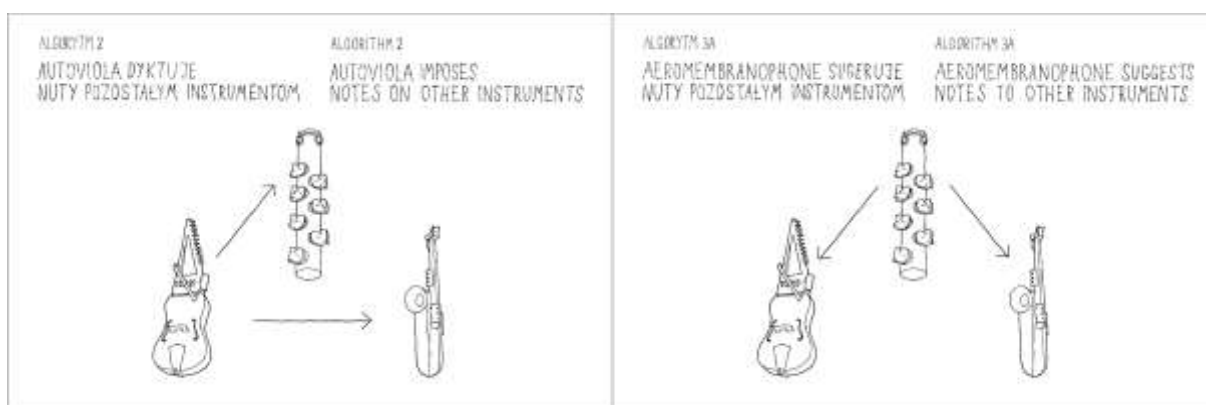
Wobec powyższego, przygotowując ostateczną formę premierowej prezentacji projektu, wyszedłem z założenia, iż przy pracy nad dziełami o podobnym stopniu złożoności i zaawansowania konieczne jest położenie nacisku przede wszystkim na wyraz artystyczny i aspekty estetyczne – w tym wypadku zarówno czysto muzyczne (struktura, dramaturgia) i brzmieniowe, jak i wizualne (od estetyki samych instrumentów, do dbałości o oprawę wizualną wykonania). Jest to bowiem poziom oddziaływania najbardziej bezpośredni, potraktowanie go zatem jako priorytetu – nawet w przypadku niezrozumienia przez publiczność kryjących się za muzyką zależności między instrumentami a algorytmami – daje szansę dotarcia do wrażliwości estetycznej odbiorców, bez względu na ich poziom wiedzy muzycznej czy doświadczenia w odbiorze muzyki nieoczywistej. Jednocześnie jednak należy zapewnić odbiorcom możliwość pogłębienia zaangażowania w odbiór utworu poprzez udostępnienie kolejnych poziomów uszczegółowienia informacji o istocie dzieła.

Próbując znaleźć złoty środek między wyczerpującym wyjaśnieniem idei a spodziewanym w kontekście okoliczności prawykonania (wiele utworów przedstawianych w jednym miejscu) brakiem skłonności odbiorców do zagłębiania się w obszerne teksty kuratorskie, zaproponowałem dwustopniowy tryb „wtajemniczenia” słuchaczy:

- projekcja slajdów o zwartej treści, prezentujących schematyczne infografiki oraz krótkie informacje o zależnościach zachodzących między instrumentami w danej części utworu;
- przygotowanie tekstu, zamieszczonego w książce programowej festiwalu Warszawska Jesień, która w bardziej wyczerpujący sposób opisuje założenia i zasady rządzące

interakcjami między instrumentami, umieszczając dzieło w szerszym kontekście relacji między twórcą a technologią.

Sformułowanie „slajdy” należy w tym przypadku rozumieć dosłownie – do projekcji infografik został wykorzystany analogowy rzutnik Braun Paximat Multimag 250 AF. Slajdy zawierają zwięzłe opisy algorytmów w języku polskim i angielskim (tożsame z podtytułami algorytmów przedstawionymi w podrozdziale 3.6), wraz z grafikami przedstawiającymi sylwetki instrumentów oraz zasygnalizowanymi za pomocą strzałek zależnościami między instrumentami.



Ilustracja 54. Przykładowe slajdy dla algorytmów 2. oraz 3A (do projekcji wykorzystane zostały wersje negatywowe)

Zastosowanie faktycznego analogowego rzutnika slajdów – w miejsce rzutnika cyfrowego, który w dzisiejszej dobie byłby naturalnym wyborem – jest jednym z elementów swobodnego manifestu, jakim jest cały projekt AAAA. Wykorzystywanie cyfrowej projekcji, które stało się do pewnego stopnia obligatoryjnym elementem utworów muzyki współczesnej³²⁴, nosi w sobie pewne znamiona „epatowania technologią” czy wręcz „epatowania nowoczesnością”. Utwory, które stawiają sobie za cel wywołanie podobnego wrażenia, mają niestety tendencję do szybkiego „starzenia się”, co w moim odczuciu stało się udziałem chociażby kompozycji *Generation Kill* Stefana Prinsa (nie jestem zresztą w tej opinii odosobniony)³²⁵ – choć kompozycja ta, w momencie stosunkowo niedawnej premiery (2012 r.), zdawała się wręcz szokować nowoczesnością.

U podstaw decyzji o zastosowaniu tego anachronicznego z dzisiejszej perspektywy narzędzia leżała prosta konstatacja – skoro i tak za pośrednictwem projektora mają być prezentowane jedynie statyczne, monochromatyczne infografiki, wykorzystywanie zaawansowanego cyfrowego narzędzia nie jest

³²⁴ Mam tu na myśli sytuacje, w których projekcja jest elementem zastosowanym niejako „na siłę” – niebędącym integralnym elementem dzieła, sprawiającym wrażenie dodanego naprędce uzupełnienia; istnieją oczywiście liczne przykłady utworów, w których projekcja – czy też szeroko rozumiana warstwa wizualna – stanowi głęboko przemyślany, nieodzowny komponent całościowej koncepcji i zamysłu estetycznego.

³²⁵ M. Kęsicka, *NeoQuartet objaśnia nam świat MUZYKI NOWEJ*, „Ruch Muzyczny” 2021, t. 23, s. 19–20.

konieczne, skoro cel ów da się osiągnąć za pomocą prostszej, analogowej technologii. Decyzja ta była zatem kolejnym przejawem leżącego u podstaw projektu AAAA podejścia postcyfrowego³²⁶.

Zastosowanie analogowego rzutnika wymagało zbudowania dodatkowego cyfrowego kontrolera, umożliwiającego przetaczanie slajdów za pomocą *patcha* kontrolnego Pure Data, opisywanego w podrozdziale 3.5.4. Połączenie zmiany algorytmów na poziomie oprogramowania z fizycznym ruchem mechanizmu rzutnika i zmianą rzutowanej infografiki stało się katalizatorem zasugerowanego przez Huberta Zemlera pomysłu, prowadzącego do podjęcia decyzji o istotnym z performatywnego punktu widzenia znaczeniu: zamiast przetaczać algorytmy manualnie, zautomatyzowałem tę czynność – czas trwania każdego z algorytmów zapisany jest w *patchu*, zatem przejście do kolejnego algorytmu następuje po określonym czasie samoistnie, czemu towarzyszy zmiana slajdu – będąca sygnałem zmiany algorytmu zarówno dla publiczności, jak i wykonawców. Efektem tej decyzji jest brak przerw pomiędzy poszczególnymi algorytmami-utworami, co sprzyja osiągnięcia stanu *flow* przez wykonawców oraz wytworzeniu wrażenia ciągłości wykonania z perspektywy słuchaczy.

Zastosowanie rzutnika analogowego przynosi dodatkową korzyść natury estetycznej – brak widocznych na ekranie pikseli oraz wysoki kontrast projekcji. Projekcja oparta na świetle żarówki halogenowej daje obraz o relatywnie ciepłym odcieniu, w odróżnieniu od chłodnej bieli towarzyszącej projekcji cyfrowej. Efekt swoistego „analogowego ciepła” został podczas prawykonania dodatkowo wzmocniony poprzez zastosowanie oświetlenia opartego na reflektorach żarowych, wyposażonych w filtry o ciepłym odcieniu.

Informacja zamieszczona w książce programowej festiwalu Warszawska Jesień przyjęta następującą formę:

Czy instrument może determinować zachowanie wykonawcy? Czy obdarzony wolną wolą improwizator może poddać się sugestiom algorytmu? W dobie dynamicznego rozwoju sztucznej inteligencji pytania o relację narzędzie-twórca nabierają coraz większego znaczenia.

Dla twórcy pragnącego zachować poczucie sprawczości w pełni autonomiczna, nieprzenikniona sieć neuronowa nie spełnia kryterium narzędzia. „Czarna skrzynka”, nieujawniająca rządzących nią wewnętrznych mechanizmów, budzi również obawy naukowców – stąd ich dążenie do tzw. Interpretable AI. Niedoskonałe interfejsy, stanowiące barierę między człowiekiem a maszyną, prowokują z kolei do tworzenia nowych ucieleśnionych form obcowania z technologią.

AAAA wykorzystuje wzajemne relacje między trzema elementami: relatywnie prostymi, interpretowalnymi algorytmami, ich ucieleśnieniem w postaci hybrydowych, akustyczno-cyfrowych instrumentów oraz improwizującymi muzykami. Zbudowana z tych elementów pętla sprzężenia zwrotnego generuje artefakt o dużej złożoności, mimo pozornej przewidywalności elementów składowych. Wciąż jednak zmiana parametrów dowolnego elementu pozwala znacząco zmodyfikować ostateczny rezultat.

³²⁶ W praktyce wykonanie fizycznych slajdów (przezroczy) nastęczyło dodatkowych trudności w porównaniu z realizacją projekcji na bazie cyfrowych grafik, niemniej jednak było istotnym elementem całościowego zamysłu.

Zaprojektowane i zbudowane przeze mnie instrumenty pozwalają na cyfrową kontrolę wysokości granych dźwięków, co umożliwia zbadanie szerokiego spektrum interakcji między muzykami a instrumentami: od swobodnej improwizacji, przez zapętlanie fraz, wzajemne podpowiadanie nut, eliminację najczęściej lub najrzadziej występujących dźwięków, aż do dyktowanej muzykom przez instrumenty wygenerowanej cyfrowo kompozycji, pozostawiającej w ich gestii jedynie rytm, dynamikę i artykulację. Z kolei fizyczność akustycznych instrumentów i niemal namacalny charakter ich brzmienia zmniejsza dystans między dźwiękiem a wykonawcami i słuchaczami³²⁷.

Relatywnie lakoniczna nota programowa z oczywistych względów nie wyczerpuje złożoności przedsięwzięcia, jednak – wraz z opisanymi wcześniej slajdami – w założeniu ma ułatwiać odbiorcom bardziej świadomy odbiór dzieła, przez co w praktyce rozumiem:

- uświadomienie sobie istnienia robotyczno-cyfrowego aspektu instrumentów oraz głębszych zależności między nimi;
- umożliwienie śledzenia tych zależności na bieżąco, w trakcie trwania utworu.

Mimo zastosowania powyżej opisanych zabiegów dwustopniowego „wtajemniczenia” odbiorców w reguły rządzące elementami składowymi projektu AAAA zdawałem sobie sprawę z wielości wydarzeń mających odbywać się jednocześnie w budynku Filharmonii Narodowej w trakcie inauguracji festiwalu Warszawska Jesień, oraz z towarzyszącego formule koncertu promenadowego poczucia przesytu informacyjnego, mogącego towarzyszyć publiczności. Przesyt ów z pewnością nie sprzyja skupieniu nad każdym wydarzeniem z osobna czy też zapoznaniu się z notami programowymi każdego z utworów. Mając to na uwadze, postanowiłem na okazję prawykonania wykonać dodatkowy krok w stronę zwiększenia czytelności prezentowanego dzieła. Krok ten przyjął formę niewerbalnej, wpisanej w wykonanie utworu prezentacji zależności między instrumentami, zachodzącymi przy wykorzystaniu algorytmów 1. i 2.:

- W trakcie realizacji Algorytmu 1. – w którym P-D Sax pełni funkcję instrumentu wiodącego – starałem się zawrzeć w każdym z wykonań kilka fraz, składających się z prostych pochodów opartych na interwałach sekundy małej i wielkiej oraz tercji małej. Ich rezultatem jest dość czytelna odpowiedź ze strony pozostałych instrumentów – w przypadku Autovioli przy sekundach małych powstają charakterystyczne półtonowe klasterki; sekunda wielka daje również charakterystyczne współbrzmienia oparte na skali całotonowej; tercja mała wreszcie – akordy zmniejszone. Odpowiedź dostarczana przez Aeromembranophone jest z kolei szczególnie przejrzysta przy pasażach małosekundowych, kiedy wyraźnie słyszalna jest stopniowa zmiana wysokości dźwięków instrumentu (towarzyszy jej również łatwo dostrzegalne stopniowe otwieranie lub zamykanie kolejnych klap instrumentu).
- W trakcie prób zespołowych z wykorzystaniem Algorytmu 2. zaobserwowałem wraz z wykonawcami szczególnie atrakcyjną formę prezentacji wpływu dźwięków granych na Autovioli na zachowanie pozostałych instrumentów: wciskanie klawiszy Autovioli, nawet

³²⁷ AAAA (*augmented acoustic actuated autonomous*) – Krzysztof Cybulski Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/utwory/aaaa-augmented-acoustic-actuated-autonomous-krzysztof-cybulski> [dostęp: 9 czerwca 2024 r.].

bez pobudzania strun smyczkiem, powoduje wystanie informacji o zagranych nutach do pozostałych instrumentów, co uwidocznione jest przede wszystkim w ruchu kłap Aeromembranophone'u. Zasugerowałem zatem Piotrowi rozpoczęcie kontrolowanej przez Algorytm 2. części utworu od kilkunastosekundowego wykorzystania opisanej powyżej formuły.

Zaobserwowałem powyższe zachowania instrumentów, postanowiłem włączyć je podczas prawykonania jako stałe elementy skądinąd improwizowanych utworów – decyzja ta miała na celu zwiększenie komunikatywności performatywnej prawykonania projektu AAAA. Wciąż jednak znakomita większość muzyki powstaje w toku prawdziwej grupowej improwizacji³²⁸.

Nieco inne uwarunkowania, towarzyszące kolejnemu wykonaniu w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab, skłoniły mnie do zaproponowania odmiennej strategii wykonawczej. Po pierwsze, koncert przyjął formę tradycyjną – nie towarzyszyły mu odbywające się w sąsiednich pomieszczeniach wydarzenia. Po drugie, za sugestią organizującego koncert Wojciecha Błażejczyka wykonanie zostało poprzedzone słownym wprowadzeniem, podczas którego starałem się w przystępnej, acz treściwej formie przybliżyć publiczności zasadę działania projektu AAAA. Wykonaniu towarzyszyła również projekcja slajdów.

Warunki te – znacznie bardziej komfortowe niż podczas prawykonania – sprawiły, iż w moim odczuciu samo wykonanie nie musiało już zawierać elementów prezentujących *explicite* zasadę działania systemu, pozwalając mnie i pozostałym instrumentalistom skupić się wyłącznie na muzyce. Zaproponowałem zatem wykonawcom przyjęcie następujących założeń:

- skupienie się w stu procentach na celu, jakim ma być wspólne tworzenie interesującej muzyki, z pominięciem obecnego przy prawykonaniu celu pobocznego, czyli dążenia do czytelnego zaprezentowania zasady działania systemu;
- odstępstwo – na tyle, na ile to możliwe – od wcześniej wypracowanych strategii „ogrywania” każdego z algorytmów, na rzecz poszukiwania na bieżąco nowych (i najwłaściwszych z punktu widzenia pierwszego założenia) sposobów na improwizację w ramach algorytmów.

Efektom opisanego podejścia były wyraźnie odmienne rezultaty muzyczne, co zaobserwować można na podstawie nagrań opisanych w podrozdziale 4.2.1.

Pomiędzy oboma publicznymi wykonaniami, 24 stycznia 2024 r. w studiu S1 Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina przeprowadzone zostały dodatkowe nagrania. Nie towarzyszyły im żadne odgórne założenia dotyczące strategii wykonawczych, ale brak publiczności w oczywisty sposób wyeliminował

³²⁸ Wykorzystanie ustalonych z góry elementów w improwizowanym utworze można potraktować jako ekwiwalent *head arrangement*, opisywanego w rozdziale 1.5.4.

imperatyw komunikatywności performatywnej, umożliwiając wykonawcom swobodniejszą improwizację.

Efekty starań o uzyskanie komunikatywności performatywnej zostaną omówione w podrozdziałach 4.2.2 i 4.2.3.

3.8.2. Strategie wykonawcze z punktu widzenia produkcji koncertów

Przygotowanie do publicznej prezentacji tak złożonego od strony technicznej dzieła nie kończy się na przetestowaniu całego systemu w warunkach „laboratoryjnych” – próby prowadzone w pracowni oraz w sali ćwiczeniowej umożliwiają spokojne rozwiązywanie nieprzewidzianych wcześniej problemów technicznych oraz ewentualnych usterek; wykonanie na żywo stawia jednak przez projektem zupełnie inne wyzwania. Z oczywistych względów charakter wydarzenia wpływa na stopień pobłażliwości widowni; z moich dotychczasowych doświadczeń wynika, iż najbardziej wyrozumiałą publicznością są uczestnicy konferencji i wydarzeń z obszaru technologii muzycznej (na przykład International Conference of New Interfaces for Musical Expression, Guthman Musical Instruments Competition) – sami najczęściej będący twórcami nietypowych instrumentów i urządzeń dźwiękowych, mający w związku z tym świadomość trudności, z jakimi wiąże się ich publiczna prezentacja. Festiwale sztuki nowych mediów (takie jak Ars Electronica czy Biennale WRO) z reguły także gromadzą publiczność świadomą eksperymentalnego charakteru prezentowanych obiektów i performansów, skłoną wybaczać ewentualne problemy techniczne. Premierowa prezentacja niniejszego projektu miała jednak miejsce podczas inauguracji Międzynarodowego Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień: wydarzenia z jednej strony bardzo prestiżowego, z drugiej – gromadzącego publiczność zainteresowaną przede wszystkim muzyką jako taką, w mniejszym zaś stopniu skłoną ważyć racje między perfekcją wykonania a innowacyjnością czy oryginalnością stworzonych dla potrzeb wydarzenia przedsięwzięć. Choć problemy techniczne, towarzyszące szczególnie utworom wykorzystującym warstwę elektroniczną, zdarzają się i tutaj, traktowane są jednak bardziej jako wyjątek od reguły niż nieodłączny element wykonywanych utworów. Podczas wykonywania utworów wykorzystujących eksperymentalne, unikatowe instrumenty i urządzenia konieczne jest zatem przyjęcie strategii pozwalających na kontynuację wykonania nawet w przypadku zaistnienia problemów technicznych.

U podstaw takich strategii leży w gruncie rzeczy założenie, iż wystąpienie problemów technicznych jest niemal pewne; należy zidentyfikować najbardziej prawdopodobne usterki i przygotować się na ewentualność ich wystąpienia.

Wykorzystane przeze mnie przy budowie instrumentów techniki szybkiego prototypowania (druk 3D SLA oraz FDM) umożliwiają sprawną i wygodną pracę; wytworzone tymi metodami elementy mechaniczne są jednak znacznie mniej odporne na uszkodzenia mechaniczne niż wykonywane technikami przemysłowymi elementy instrumentów fabrycznych; wszelkie części zamienne z oczywistych względów należy wykonać we własnym zakresie – jak łatwo się domyślić, nie są one dostępne w sklepach muzycznych.

Oprócz dostępności części zamiennych ważnym aspektem w kontekście publicznego wykonania jest również możliwość ich łatwej i szybkiej wymiany. W kontekście projektu AAAA, w przypadku większości elementów mechanicznych taka wymiana w trakcie wykonywania utworu nie jest możliwa, stąd podstawową strategią stało się zapewnienie instrumentów zapasowych. W przypadku instrumentów Autoviola oraz Post-Digital Sax za instrumenty zapasowe posłużyły wcześniejsze prototypy, zmodyfikowane w niewielkim stopniu tak, aby umożliwić uruchomienie ostatecznej wersji oprogramowania. W przypadku obu instrumentów oznaczało to wyposażenie minikomputerów Bela Mini w adaptory wi-fi, umożliwiające komunikację instrumentów za pośrednictwem protokołu OSC. W przypadku Aeromembranophone'u jedyny kompletny z wcześniejszych prototypów miał poważną wadę – opisywany wcześniej zbyt wysoki poziom głośności mechanizmów klapowych; stąd podjęta przeze mnie decyzja o niewykorzystywaniu go jako instrumentu zapasowego. Mechanizmy w ostatnim prototypie są relatywnie bezawaryjne³²⁹ (w porównaniu z delikatniejszymi mechanizmami wykorzystanymi w Autovioli), stąd moje przekonanie o ich prawidłowym działaniu. Nie wyklucza to jednak innych awarii czy zużycia elementów instrumentu, stąd konieczność przeglądu przed jego każdorazowym wykorzystaniem.

Aby zmiana instrumentu na zapasowy umożliwiła kontynuację wykonania, konieczna była również taka modyfikacja *patcha* kontrolnego, by informacja o aktualnie wykorzystywanym algorytmie była wysyłana cyklicznie (co 10 sekund) do wszystkich instrumentów. Rozwiązanie to umożliwia kontynuowanie gry w razie wymiany lub ponownego uruchomienia instrumentu.

Najbardziej newralgicznym i podatnym na uszkodzenia elementem instrumentu Post-Digital Sax jest stroik; jego wymiana jest jednak bardziej skomplikowana niż w przypadku tradycyjnych instrumentów dętych drewnianych, stąd dodatkowym środkiem ostrożności było wykonanie zapasowych modułów, składających się ze stroika, ustnika i szyjki, oraz umożliwienie łatwej wymiany całego modułu poprzez zastosowanie kabla z odpinanym złączem oraz łatwej w obsłudze blokady szyjki ustnika. Jak się okazało podczas prawykonania, na skutek zużycia uszkodzeniu uległ nie stroik, a czujnik oddechu, stanowiący jeden z elementów ustnika; przygotowanie zapasowych ustników umożliwiło szybką wymianę całego modułu w sposób niezauważalny dla większości słuchaczy, bez konieczności przerywania utworu.

³²⁹ Oparte o serwomechanizmy typu standard marki Dagü, intensywnie eksploatowane przeze mnie we wcześniejszych projektach (autorskim AAS oraz ECHOOOOOOO grupy panGenerator).



Ilustracja 55. Skonstruowane przeze mnie skrzynie transportowe, mieszczące zarówno wersje ostateczne instrumentów, jak i zapasowe prototypy

Najbardziej przyziemnym, ale w praktyce niezwykle istotnym elementem zapobiegającym przypadkowym uszkodzeniom instrumentów jest wyposażenie ich w skrzynie transportowe, umożliwiające bezpieczne przechowywanie i przenoszenie; dobrze zaprojektowane futerały przyspieszają także montaż i demontaż na scenie, co jest z punktu widzenia produkcji wydarzeń muzycznych równie istotnym czynnikiem.

Rozdział 4. Weryfikacja tez badawczych

Weryfikacja założeń wstępnych w przypadku projektu łączącego sztukę z technologią może przebiegać na dwóch płaszczyznach: założenia dotyczące kwestii konstrukcyjnych i technologicznych poddają się łatwej zero-jedynkowej weryfikacji. Pozostałe kwestie – dotyczące zarówno aspektów brzmieniowych czy ergonomicznych pojedynczych instrumentów, jak i wpływu zastosowanych w projekcie AAAA algorytmów na ekspresję improwizujących wykonawców, czy też wreszcie wyrazu artystycznego kolejnych wykonań dzieła – są w dużej mierze kwestią subiektywnej interpretacji, choć i tu istnieją metody oceny powodzenia w realizacji wyjściowych tez badawczych. Niniejszy rozdział został zatem podzielony na dwie części, dokonujące weryfikacji odpowiednio wymiernych i niewymiernych (czy też obiektywnych i subiektywnych) rezultatów prac nad projektem.

4.1. Aspekty wymierne (obiektywne)

4.1.1. Zespół instrumentów

Podstawowym założeniem technicznym dla całego zespołu instrumentów było uzyskanie możliwości cyfrowej kontroli nad wysokościami dźwięków granych przez poszczególne instrumenty, poprzez zastosowanie cyfrowych algorytmów interpretujących na różne sposoby grane na instrumentach nuty. W pierwotnym zamyśle informacja o granych dźwiękach miała być pozyskiwana przez każdy z instrumentów poprzez analizę dźwięku otoczenia z wykorzystaniem wbudowanych w instrumenty mikrofonów. W podrozdziale 3.5.3 opisałem szczegółowo przyczyny, dla których rozwiązanie to zostało zarzucone. Zastąpiła je komunikacja za pośrednictwem protokołu OSC, zapewniającego bezbłędne przesyłanie między instrumentami i *patchem* kontrolnym informacji o granych nutach. Rozwiązanie to nie spowodowało zmiany ogólnych założeń wstępnych, ułatwiając w praktyce ich realizację.

Pod względem technicznym komunikacja między instrumentami a *patchem* kontrolnym przebiega zgodnie z założeniami, a wpływ algorytmów na zachowanie instrumentów jest zgodny z przewidywaniami.

4.1.2. Autoviola

Podstawowe założenie – wykorzystanie cyfrowo kontrolowanych mechanizmów do selektywnego tłumienia dwunastu nastrojonych chromatyczne strun, umożliwiające pełną kontrolę nad granymi wielodźwiękami – zostało zweryfikowane pomyślnie.

Planowane pierwotnie techniczne środki realizacji podstawowego założenia – czyli wykorzystanie elektromagnetycznie poruszanych tłumików do aktywacji i dezaktywacji strun – okazało się nieskuteczne, co opisuję w podrozdziale 3.2.2. *Prototyp 1*. Problem ów został rozwiązany w toku prac

nad kolejnymi prototypami instrumentu, czego rezultatem jest rozwiązanie wykorzystujące mechanizmy przemieszczające struny, umożliwiające skuteczną realizację założeń wstępnych.

Poboczne założenie wstępne, dotyczące wykorzystania w instrumencie pływającej płyty rezonansowej z drewna balsy, nie sprawdziło się (co opisuję w podrozdziale 3.2.2. *Prototyp 3.*). W ostatecznej wersji Autovioli płyta wierzchnia została wykonana w tradycyjnej technice (z sezonowanego drewna świerkowego).

Dodatkowym elementem ostatecznej formy instrumentu, nieprzewidzianym w pierwotnych założeniach, powstałym w toku iteracyjnych prac nad kolejnymi prototypami oraz prowadzonych równolegle konsultacji i prób, jest zestaw tłumików flażoletowych; umożliwiają one łatwą transpozycję skali instrumentu o oktawę w górę.

4.1.3. Aeromembranophone

Podstawowe założenie – zbudowanie instrumentu perkusyjnego o określonej wysokości dźwięku, w którym zmiana wysokości dźwięku następuje poprzez zmianę długości słupa powietrza za pomocą cyfrowo kontrolowanych klap – zostało zweryfikowane pomyślnie.

Pierwotnie zakładane wykorzystanie wytłumionej membrany, której funkcją miało być jedynie pobudzenie słupa powietrza do drgań, zostało zastąpione rozwiązaniem doskonalszym (opisywanym w podrozdziale 3.3.2). Zastosowanie standardowej membrany, stanowiącej element akustycznego systemu sprzężonego, umożliwiło zwiększenie możliwości artykulacyjnych i brzmieniowych instrumentu.

Nieprzewidzianym w pierwotnych założeniach elementem, rozszerzającym możliwości instrumentu, jest pedał ekspresji, umożliwiający kontrolę prędkości ruchu klap, co pozwala na uzyskanie płynnych zmian wysokości dźwięku.

4.1.4. Post-Digital Sax

Podstawowe założenie – zbudowanie instrumentu dętego drewnianego, w którym częstotliwość drgań stroika jest kontrolowana cyfrowo, z zachowaniem kontroli nad pozostałymi parametrami dźwięku za pomocą zadęcia – zostało zweryfikowane pomyślnie.

Opisane w podrozdziale 3.4.2. *Prototyp 1.* właściwości elektromagnetycznie aktuowanego stroika spowodowały trudności z wydobyciem dźwięków wyższych niż oktawa mała. Zastosowane rozwiązanie umożliwiło jednakże uzyskanie nieograniczonej skali z zakresu dźwięków niskich – uzyskanie częstotliwości poniżej progu słyszalności – co stało się jedną z unikatowych cech instrumentu.

4.2. Aspekty niewymierne (subiektywne)

4.2.1. Analiza wybranych nagrań

Opisane w niniejszym podrozdziale nagrania pochodzą z trzech źródeł – prawykonania projektu AAAA podczas inauguracji 66. Międzynarodowego Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień w Filharmonii Narodowej, sesji nagraniowej przeprowadzonej w studiu S1 Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina oraz drugiego wykonania w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab. Dokonana przeze mnie selekcja nagrań umożliwia zapoznanie się z efektami działania każdego z sześciu algorytmów w dwóch wersjach. Nagrania zamieszczone są na dołączonej do opisu dzieła płycie DVD; można je również pobrać ze strony internetowej krzysztofcybulski.com/aaaa.php.

Należy podkreślić, że aspekt fonograficzny przedstawionych nagrań nie stanowi elementu dzieła artystycznego w przewodzie doktorskim; nagrania są jedynie dokumentacją improwizowanych utworów, powstałych z wykorzystaniem elementów projektu AAAA – instrumentów i algorytmów. Rejestracja utworów przeprowadzona była jednak w ścisłej współpracy między mną a reżyserami dźwięku; miks nagrań dokonanych w studiu S1 UMFC został przeprowadzony przez Jana Olejniczaka w konsultacji ze mną oraz promotorką prof. dr hab. Barbarą Okoń-Makowską. Miksy pozostałych nagrań przeprowadziłem osobiście.

Z oczywistych względów najdoskonalsze pod względem technicznym są nagrania zrealizowane w studiu S1 UMFC, umożliwiającym wykorzystanie wielu mikrofonów w doskonałych warunkach akustycznych. Pozostałe nagrania zostały zarejestrowane z wykorzystaniem minimalnej liczby mikrofonów, służących przede wszystkim do dogłośnienia instrumentów podczas publicznych wykonań. Nagraniom dokonywanym podczas inauguracji festiwalu Warszawska Jesień towarzyszą w niewielkim stopniu dźwięki pochodzące z sąsiednich pomieszczeń Filharmonii Narodowej, w których równoległe odbywały się wykonania innych utworów.

Nagrania przedstawione są w kolejności chronologicznej z co najmniej dwóch powodów. Nagraniu z prawykonania towarzyszy warstwa wideo, zatem przedstawienie go w pierwszej kolejności umożliwia pełniejsze zapoznanie się ze szczegółami technicznymi i mechanicznymi samych instrumentów, jak i techniki gry na nich i interakcji między nimi. Co nie mniej istotne, kolejne nagrania ukazują ewolucję projektu AAAA – zaimprovizowane w studiu S1 oraz Hashtag Lab utwory cechuje wyższy poziom dojrzałości muzycznej i swoistej powściągliwości poszczególnych wykonawców, wynikający zapewne zarówno z pełniejszego opanowania techniki gry na poszczególnych instrumentach, jak i zdobytego podczas wcześniejszych wykonań i nagrań doświadczenia w poruszaniu się w ramach kontrolowanego przez algorytmy systemu generatywnego. Każdemu kolejnemu wykonaniu towarzyszył również rozwój strategii performatywnych, opisany w podrozdziale 3.8.1.

W odróżnieniu od opisów towarzyszących tradycyjnym, opartym na partyturze kompozycjom, analizowane improwizowane utwory nie mają wyraźnego podziału na takty, stąd też – odnosząc się do

konkretnych fragmentów nagrań – podaję ich przybliżony czas w minutach i sekundach. W poniższych opisach nie dokonuję analizy muzykologicznej – odnotowuję jedynie charakterystyczne przykłady zastosowania określonych technik wykonawczych, rozszerzeń cyfrowych, algorytmów czy wreszcie artefaktów dźwiękowych towarzyszących pracy mechanizmów.

4.2.2. Koncert inauguracyjny 66. Międzynarodowego Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień

Rejestracja koncertu została przeprowadzona przez Remigiusza Czechowicza, z wykorzystaniem następujących mikrofonów:

- Aeromembranophone: dwa mikrofony Audix D2 (górze i dół);
- Autoviola: Neumann KM184;
- Post-Digital Sax: DPA 4099.

Nagranie niniejsze jest jedynym, w którym dopuściłem się ingerencji w strukturę utworów poprzez montaż. Większość przedstawionego materiału pochodzi z *setu 3*.³³⁰, choć równoległe prowadzenie montażu materiału muzycznego i wizualnego, mające na celu przejrzyste zaprezentowanie właściwości wszystkich instrumentów, skłoniło mnie do wykorzystania kilku fragmentów pochodzących z *setu 2*.³³¹

Nagranie „WARSZAWSKA_JESIEN_algorytm_0-5.mp4”

00:00–04:21: Algorytm 0 – swobodna improwizacja:

00:57 – słyszalne jest wykorzystanie trybu 2. P-D Saxu do zapętlenia i transpozycji krótkich fraz;

02:19 – P-D Sax wykorzystuje tryb 3. do przetransponowania dźwięku do kilkuhercowej częstotliwości;

02:35 – P-D Sax wykorzystuje tryb 3. do zagrania krótkiej, postępującej w górę frazy, ukazującej wysoki rejestr instrumentu;

04:21–07:27: Algorytm 1. – Post-Digital Sax dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

04:24 – wyraźnie widoczny i słyszalny wpływ nut granych na P-D Sax na ruchy klap i zmiany wysokości dźwięku Aeromembranophone’u;

04:42 – pasaż grane na P-D Sax w wyraźny sposób znajdują odzwierciedlenie w strukturach harmonicznym granych na Autoviooli i w dźwiękach Aeromembranophone’u;

05:43 – P-D Sax gra frazę złożoną ze wstępujących sekund małych; Autoviola gra współbrzmienia oparte na czterodźwiękowych klasterach, będących efektem poddyktowanych przez P-D Sax nut;

06:27 – zagrane przez P-D Sax z wykorzystaniem trybu 3. pasaż, oparte o interwał tercji małej, znajdują odzwierciedlenie w granych na Autoviooli akordach zmniejszonych;

³³⁰ Jak wspominałem w podrozdziale 3.8.1, prawykonanie podczas Międzynarodowego Festiwalu Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień odbyło się w trzech odstępach (*setach*).

³³¹ Jak wspominałem w podrozdziale 1.5.4, tworzenie utworów o zwartej formie poprzez montaż improwizowanych nagrań można postrzegać jako formę pośrednią między improwizacją a kompozycją – jest to zatem *improwizacja jako kompozycja w sensie wąskim*.

07:08 – Aeromembranophone i Autoviola *pizzicato* grają dźwięki *unisono* z P-D Saxem;

07:27–08:20: Algorytm 1A – Post-Digital Sax sugeruje nuty pozostałym instrumentom

08:20–10:07: Algorytm 2. – Autoviola dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

08:20 – wykorzystanie opisanej w podrozdziale *Strategie wykonawcze* figury, w której Autoviola dyktuje dźwięki Aeromembranophone'owi bez pobudzania strun;

10:07–11:18: Algorytm 2A – Autoviola sugeruje nuty pozostałym instrumentom

11:18–14:15: Algorytm 3. – Aeromembranophone dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

11:18 – Aeromembranophone wykorzystuje tryb 2. do transponowania dźwięku o kwartę czystą w górę i w dół;

13:10 – Aeromembranophone wykorzystuje tryb 2. do zagrania zstępującego pochodzenia złożonego z sekund wielkich, co znajduje odzwierciedlenie w granych przez pozostałe instrumenty strukturach, opartych o skalę całotonową;

14:15–17:01: Algorytm 4. – zmiana wysokości dźwięku jest możliwa tylko przy grze solo:

15:15 – wyraźnie zauważalny brak reakcji P-D Sax na wciskanie klawiszy, na skutek realizacji zasady działania Algorytmu 4.;

17:01–21:45: Algorytm 5. – najczęściej grane nuty stają się niedostępne dla wykonawców:

18:30 – da się zauważyć wybiórczą reakcję interfejsów wszystkich instrumentów – część nut została już wyeliminowana z dalszego użycia na skutek działania Algorytmu 5.; stopniowe zmniejszanie puli dostępnych dźwięków słychać również w harmoniach, tworzących się z dźwięków granych przez wszystkie instrumenty;

19:37 – do dyspozycji wykonawców pozostaje ostatnia nuta;

19:45 – slajd z symbolem „X” sygnalizuje zakończenie sekwencji algorytmów, odtwarzanej z *patcha* kontrolnego; wykonawcy kontynuują jednak improwizację na bazie ostatniej nuty przez kolejne dwie minuty;

20:58 – Autoviola zostaje przestrojona poprzez wykorzystanie tłumika flażoletowego.

4.2.3. Sesja nagraniowa w Studiu S1 Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina

Rejestracja została przeprowadzona przez Jana Olejniczaka przy wsparciu Szymona Nalepy, z wykorzystaniem następujących mikrofonów:

Aeromembranophone:

- dwa mikrofony Shure SM57 (górze i dół);
- DPA 4099 (górze);
- dwa mikrofony Neumann KM84 w konfiguracji *vertical XY*.

Autoviola:

- dwa mikrofony DPA4011 w konfiguracji XY;

- DPA 4099;
- mikrofon kontaktowy AKG C411.

Post-Digital Sax

- DPA 4099;
- Neumann KM184.

Plan ogólny: trzy mikrofony Neumann KM184 w konfiguracji *Quasi LCR*.

Miks nagrań został przeprowadzony przez Jana Olejniczaka. Część mikrofonów nie została wykorzystana w ostatecznym miksie.

Nagranie „UMFC_take_1_algorytm_0-2A.wav”

00:00–03:57: Algorytm 0 – swobodna improwizacja:

00:00: nagranie rozpoczyna się od wyraźnego dźwięku mechanizmów strunowych Autovioli; Aeromembranophone gra pałkami filcowymi w dynamice *piano* krótkie serie dźwięków o wyraźniej wysokości;

00:01–00:13: P-D Sax gra dwie frazy złożone z nut w interwale seksty wielkiej, stopniowo obniżane w zakresie sekundy małej z wykorzystaniem płynnej akcji klawiszy;

00:13: Piotr Zalewski kontynuuje poruszanie mechanizmami Autovioli bez pobudzania strun, wykorzystując sonorystyczne właściwości mechanizmów;

00:20: moją intencją jest odpowiedź na zaproponowane przez Piotra efekty sonorystyczne, poprzez zagranie dźwięków o częstotliwości kilku herców; P-D Sax pracuje zatem w trybie 3., umożliwiającym relatywną zmianę wysokości dźwięku; słyszalne szybkie wciskanie klawiszy P-D Sax ma na celu szybkie przestrojenie dźwięku instrumentu do pożądanej, niskiej częstotliwości;

00:22: rezultatem powyżej opisanej akcji są wyraźnie słyszalne pojedyncze uderzenia stroika o ustnik;

02:43: P-D Sax w odpowiedzi wykorzystuje tryb 2. do zapętlenia i transpozycji krótkich fraz melodycznych; Aeromembranophone w odpowiedzi zaczyna grać tremola z wykorzystaniem techniki *rim-shot*; Autoviola zaczyna grać *arco* zmieniające się wielodźwięki, faktura utworu zagęszcza się, dynamika przechodzi płynnie do *forte*;

03:44: Piotr Zalewski stosuje zabieg sonorystyczny, prowadząc smyczek między podstawkiem a strunociągami Autovioli;

03:57–05:57: Algorytm 1. – P-D Sax dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

03:57–04:06: wyraźnie słyszalny ruch mechanizmów Autovioli w reakcji na kolejne dźwięki gamy d-moll grane przez P-D Sax;

04:31–04:38: P-D Sax gra pasaż akordu Bb⁷, zmieniając ośrodek tonalny, co znajduje odzwierciedlenie w dźwiękach granych przez pozostałe instrumenty;

04:55–04:59: P-D Sax gra frazę złożoną ze zstępujących sekund wielkich, czego efektem jest wyraźne, oparte na skali całotonowej współbrzmienie, grane przez Autoviolę;

05:02–05:32: P-D Sax kontynuuje granie fraz złożonych z wstępujących i zstępujących sekund (najpierw małych, później wielkich), czego efektem jest zauważalna praca mechanizmów pozostałych instrumentów; Autoviola gra długie współbrzmienia, oparte na czterodźwiękowych klasterach, będących

efektem podyktowanych przez P-D Sax nut. Aeromembranophone gra pałkami filcowymi tremola w unisonie z P-D Sax;

05:57–07:57: Algorytm 1A – P-D Sax sugeruje nuty pozostałym instrumentom:

06:52: Hubert Zemler zmienia pałki na werblowe; przy wyższej dynamice wciąż wyraźnie słyszalna jest określona wysokość dźwięku Aeromembranophone'u;

07:13–07:28: wyraźnie słyszalna jest różnica w działaniu algorytmu z dopiskiem „A”: Piotr Zalewski podejmuje decyzję o pozostaniu przy konkretnym współbrzmieniu, mimo proponowanych przez P-D Sax kolejnych nut;

07:41–07:56: wyraźne wykorzystanie przez P-D Sax funkcji płynnej zmiany wysokości dźwięku za pośrednictwem stopniowego dociskania klawiszy;

07:57–09:57: Algorytm 2. – Autoviola dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

07:57: Autoviola rozpoczyna swoją partię instrumentu prowadzącego od dźwięków granych *pizzicato*;

09:43–09:55: Aeromembranophone i P-D Sax grają nuty dyktowane przez bezgłosną Autviolę;

09:57–12:11: Algorytm 2A – Autoviola sugeruje nuty pozostałym instrumentom:

Opisywane w podrozdziale *Strategie performatywne* oraz przy opisie poprzedniego nagrania charakterystyczne dla algorytmów 1. i 2. figury zostały wykorzystane przez P-D Sax frazach, złożonych z pochodów sekundowych; Piotr Zalewski w swojej partii zachował je tylko w szczątkowej formie (09:43–09:55).

Nagranie „UMFC_take_1_algorytm_6.wav”

00:00–03:48: Algorytm 6. – instrumenty odgrywają cyfrowo wygenerowaną sekwencję nut/akordów:

01:32–02:00: Autoviola gra triolowe arpeggia w oparciu o wylosowane przez *patch* kontrolny struktury harmoniczne;

02:00–02:15: P-D Sax odpowiada podobną figurą, w postaci triolowych pasaży akordów;

02:30: faktura i dynamika utworu ulega stopniowemu zagęszczeniu.

Mimo iż zasada działania Algorytmu 6. jest niemal identyczna, jak algorytmów 1., 2. i 3., brak podziału na instrument wiodący i instrumenty podążające powoduje, że zmiany nut / współbrzmień następują dla wszystkich instrumentów w tych samych momentach; stąd improwizacje tworzone pod wpływem reguł Algorytmu 6. w największym stopniu przypominają zaplanowane z góry kompozycje. Przebieg improwizacji w opisywanym nagraniu jest dość spokojny, z zagęszczeniem faktury drugiej połowie nagrania.

Nagranie „UMFC_take_2_algorytm_6.wav”

00:00–03:53: Algorytm 6. – instrumenty odgrywają cyfrowo wygenerowaną sekwencję nut/akordów:

Nagranie zostało przeprowadzone w tym samym dniu, co poprzednie z opisywanych nagrań. Improwizacja w ramach reguł Algorytmu 6. ma jednak w tym przypadku zupełnie inny przebieg – charakteryzuje się gęstą fakturą i wyższym poziomem dynamicznym, które ulegają intensyfikacji w środkowej części nagrania.

4.2.4. Koncert w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab

Rejestracja została przeprowadzona przez dr. hab. Wojciecha Błażejczyka z wykorzystaniem następujących mikrofonów:

Aeromembranophone:

- Shure SM57 (górnica);
- AKG C1000 (dół).

Autoviola: T.Bone CC 100.

Post-Digital Sax: T.Bone CC 100.

Dwa mikrofony ambientowe Rode nt5.

Nagranie „HASHTAG_LAB_algorytm_3-3A.wav”

00:00–02:00: Algorytm 3. – Aeromembranophone dyktuje nuty pozostałym instrumentom:

00:00 – Aeromembranophone gra nuty **c – e – g**, znajdujące odzwierciedlenie w strukturach harmonicznym granych na pozostałych instrumentach, podobnie jak kolejne nuty, grane przez wykonawcę;

01:30 – zachodzi podobny proces w oparciu o czterodźwięk zmniejszony **c – eb – f# – a**;

02:00–04:00: Algorytm 3A – Aeromembranophone sugeruje nuty pozostałym instrumentom:

02:00 – da się zaobserwować rozbieżność w harmoniach i pasażach granych przez poszczególne instrumenty; wykonawcy wykorzystują cechę właściwą dla algorytmów z dopiskiem „A”, czyli możliwość aktualizacji bufora w wybranym (nienarzuconym przez wykonawcę wiodącego) momencie.

Nagranie „HASHTAG_LAB_algorytm_4.wav”

00:00–03:42: Algorytm 4. – zmiana wysokości dźwięku jest możliwa tylko przy grze solo:

00:00–02:28 – słyszalne są charakterystyczne dla Algorytmu 4. naprzemiennie występujące faktury: krótkie frazy melodyczne grane na instrumentach solo, naprzemiennie ze statycznymi współbrzmieniami granymi przez dwa lub trzy instrumenty;

02:28–03:10 – przez cały ten fragment grają co najmniej dwa instrumenty, w związku z tym zmiana wysokości granych dźwięków za pomocą interfejsów instrumentów nie jest możliwa; grający na Autoviole Piotr Zalewski stosuje jednak zabieg, polegający na grze *pizzicato* pojedynczych nut i *arpeggio* z wykorzystaniem wcześniej zagranej akordu;

02:53 – tłumik fłażoletowy Autoviole zostaje aktywowany, czemu towarzyszy zmiana rejestru.

W porównaniu z nagraniem Algorytmu 4., przeprowadzonym podczas inauguracji festiwalu Warszawska Jesień, w niniejszym wykonaniu zauważalna jest większa ilość przestrzeni, którą wykonawcy pozostawiają sobie nawzajem. W środkowej części, granej przez wszystkich wykonawców, słychać świadome, wspólne budowanie utworu poprzez zastosowanie zabiegów dynamicznych i artykulacyjnych, wobec tymczasowo zablokowanej możliwości zmiany granych nut.

Nagranie „HASHTAG_ LAB_algorytm_5.wav”

00:00–06:30: Algorytm 5. – najczęściej grane nuty stają się niedostępne dla wykonawców:

01:19–01:29 – dwie frazy zagrane na P-D Sax, składające się z wielu szybko zmieniających się dźwięków, sprzyjające szybkiemu wyczerpaniu puli dostępnych dźwięków;

01:44–01:56 – słyszalne są dźwięki serwomechanizmów Autovioli: Piotr Zalewski z przyczyn technicznych kilkakrotnie podniósł i opuścił wszystkie mechanizmy strunowe za pomocą przetącznika; efektem było każdorazowo wystąpienie do *patcha* kontrolującego informacji o zagranie wszystkich dźwięków skali chromatycznej po kolei, co przyczyniło się do wyczerpania puli dostępnych dźwięków na wczesnym etapie;

02:08 – do dyspozycji wykonawców pozostaje ostatnia nuta (ab);

02:33 – Autoviola uruchamia tłumik flażoletowy.

W opisywanym wykonaniu Algorytmu 5. możliwości zbudowania utworu w oparciu o ostatnią dostępną nutę zostały poddane ekstensywnej eksploracji, trwającej ponad cztery minuty. O ile w nagraniu z prawykonania końcowa część Algorytmu 5., trwająca dwie minuty, dosyć szybko osiąga pełną intensywność pod względem zastosowanej dynamiki i artykulacji, po czym następuje powolne, stopniowe *diminuendo*, o tyle w wykonaniu w Hashtag Lab część końcowa ma odmienny, znacznie bardziej zróżnicowany rozwój. Aeromembranophone nadaje wyraźny rytm, poprzez grane miękkimi pałkami w dynamice *piano* naprzemiennie pojedyncze nuty i szesnastkowe tremola. Autoviola rozpoczyna od długiego dźwięku *arco*, po chwili podejmując rytm, akcentując go krótkimi dźwiękami *staccato*. P-D Sax gra frazy o zróżnicowanej, kontrastującej artykulacji, barwie i przebiegu dynamicznym. Wykonawcy pozostawiają sobie wzajemnie sporo przestrzeni. Faktura zagęszcza się dopiero po około dwóch minutach; rozszerza się paleta stosowanych środków artykulacyjnych – Piotr Zalewski stosuje grę drzewcem smyczka, Hubert Zemler zaczyna wykorzystywać *rimshot*. Utwór dopiero pod koniec osiąga dynamikę *forte*; w trakcie końcowego *diminuendo* Piotr Zalewski gra *vibrato*, dociskając strunę między siodełkiem a kluczem.

4.2.5. Projekt AAAA w recenzjach

Wydarzenia inauguracyjne 66. festiwalu Warszawska Jesień doczekały się dość skromnej liczby recenzji, a te, do których udało mi się dotrzeć, ze zrozumiałych przyczyn nie odnosiły się zbyt szczegółowo do każdego z licznych wykonań z osobna. W kontekście projektu AAAA, spośród znanych mi recenzji, ta napisana przez Dorotę Szwarzman odnotowuje jedynie pojawienie się trzech nietypowych instrumentów na balkonie Filharmonii Narodowej³³². Opublikowana na łamach magazynu „Glissando”³³³ recenzja autorstwa Marty Dziewanowskiej-Pacowskiej i Urszuli Świątek jest znacznie obszerniejsza, opisując premierę projektu w następujących słowach:

Za ścianą Saloniku, we foyer na II. piętrze, pod wyblakłą tapiserią, w ciepłym, żółtym, przygaszonym świetle (jak gdyby świec), na ślicznych, drewnianych, autorskich instrumentach, rozgrywał się inny rodzaj futuryzmu: AAAA (augmented acoustic actuated autonomous) Krzysztofa Cybulskiego. Muzycy grali na zbudowanych przez Cybulskiego cyfrowo-akustycznych instrumentach (Post-Digital Sax, autoviola, aeromembranofon) i zaproponowali algorytmowi poprowadzenie improwizacji. Vibe jak na jam session, a do tego złoty odbłask kłap aeromembranofonu wędrujący po ścianie. (...) Z oceanu brzmień wynurzyły

³³² D. Szwarzman, *Oswojona filharmonia*, „Co w duszy gra”, <https://szwarzman.blog.polityka.pl/2023/09/16/oswojona-filharmonia/> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].

³³³ *Warsztaty ze słuchania. Warszawska Jesień 2023*, „Glissando”, 19 października 2023 r., <http://glissando.pl/aktualnosci/warsztaty-ze-sluchania-warszawska-jesien-2023/> [dostęp: 24 czerwca 2024 r.].

się wyspy-tematy eksplorowane przez kolejne dni: (...) wielozmysłowa percepcja WIBRACJI fal dźwiękowych (m.in. Cybulski i Mofakham) oraz nieograniczone możliwości starych i nowych INSTRUMENTÓW – akustycznych i elektronicznych.

Wspomniany w recenzji „inny rodzaj futuryzmu”³³⁴ świadczy o czytelności zawartego w projekcie AAAA „drugiego dna” – istotnej dla przedsięwzięcia, ale manifestującej się jedynie poprzez strukturę improwizowanych utworów technologii cyfrowej. „Pierwsze dno” stanowi jednakże warstwa bezpośredniego estetycznego oddziaływania – autorki dostrzegły przede wszystkim możliwość odbioru dzieła wieloma zmysłami – zarówno słuchem, jak i wzrokiem (choć może nawet i dotykiem – skoro o wibracji fal dźwiękowych mowa). Recenzja zdaje się potwierdzać skuteczność zabiegów estetycznych opisanych w podrozdziale 3.8.1 – decyzja o zastosowaniu reflektorów żarowych i analogowego rzutnika, jak i dizajn samych instrumentów, przyczyniły się do wytworzenia specyficznej, kameralnej atmosfery. Jak to zreczęnie ujął w prywatnej rozmowie ze mną altowiolista Neo Quartet Michał Markiewicz, wizualna strona prawykonania – analogowa projekcja i oświetlenie o ciepłej barwie, jak i estetyka samych instrumentów – wytworzyły wspólnie interesującą, sceniczną **sytuację**. Choć recenzja nie dotyka kwestii brzmieniowych, w moim odczuciu również akustyczna barwa instrumentów, zachowana dzięki dyskretnej, transparentnej reżyserii dźwięku (za którą odpowiadał Remigiusz Czechowicz), pozwoliła na uzyskanie wrażenia owego specyficznego futuryzmu – technologia cyfrowa w projekcie AAAA manifestuje się nie przez brzmienie, a wyłącznie poprzez struktury dźwiękowe.

Nieco mniej przychylny w swej relacji, opublikowanej na łamach „Ruchu Muzycznego”, był Piotr Mika:

Drugie piętro oferowało zaś zdarzenia, które ciekawie przedstawiały się tylko w książce programowej: trudno weryfikowalny był determinizm SI³³⁵ i muzyków improwizujących na post-digital saxie, autovioli i aeromembranofonie w AAAA Krzysztofa Cybulskiego (...)³³⁶.

Komentarz ten zawiera osobliwą sprzeczność – autor, powołując się na notę z książki programowej festiwalu, dostarcza jednocześnie dowodu, że nie zapoznał się z nią w całości. Cytowany w podrozdziale 3.8.1 opis projektu dystansuje się bowiem wprost od AI, oferując jako alternatywę wykorzystanie zwięzłych, interpretowalnych algorytmów. Być może niepełne zrozumienie przez autora recenzji intencji projektu AAAA było skutkiem wielości wydarzeń rozgrywających się w przestrzeniach Filharmonii Narodowej oraz wypełniających książkę programową Warszawskiej Jesieni. Interesujące jest zresztą, że – podobnie jak w przypadku wcześniej przytoczonych relacji – autor nie odnosi się w ogóle do kwestii muzycznych czy brzmieniowych projektu AAAA, tak jakby kwestia czytelności wewnętrznych mechanizmów była głównym kryterium oceny przedsięwzięcia.

Z drugiej strony nieścistość obserwacji Piotra Miki wynika zapewne ze sposobu, w jaki sztuczna inteligencja jest obecnie postrzegana przez ogół społeczeństwa³³⁷. Jest to zresztą w dużej mierze problem definicji AI (SI) jako takiej oraz – wobec dynamicznego jej rozwoju w początkach trzeciej dekady

³³⁴ Odnoszący się do umieszczonej w sąsiednim pomieszczeniu Filharmonii Narodowej instalacji *Why Frets* Marko Cicilianiego.

³³⁵ Sztucznej inteligencji.

³³⁶ P. Mika, *Warszawa, jak się bawicie?*, <https://ruchmuzyczny.pl/article/3652-warszawa-jak-sie-bawicie> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].

³³⁷ F. Alizadeh, G. Stevens, M. Esau, *I Don't Know, Is AI Also Used in Airbags?...*

XXI w. – wszechobecności terminu „sztuczna inteligencja” w dyskursie publicznym. Bywa on wszak wykorzystywany jako kolokwialne określenie wszelkich pseudointeligentnych procesów wykorzystujących technologię cyfrową, choć faktyczna definicja AI jest znacznie ściślejsza^{338,339}.

O powszechnej tendencji do nadużywania terminu AI, również w kontekście muzyki współczesnej, świadczy chociażby opublikowana na łamach magazynu „Glissando” relacja³⁴⁰ z wcześniejszej edycji festiwalu Warszawska Jesień, w treści której sformułowanie to jest używane kilkakrotnie w kontekście utworu *Trans-instrumentalizm*³⁴¹ Jacka Sotomskiego. Kompozycja Sotomskiego – podobnie jak projekt AAAA – nie wykorzystuje technik, które można by zaklasyfikować jako AI³⁴².

Abstrahując jednak od faktycznej czytelności czy komunikatywności performatywnej (będącej zresztą przedmiotem moich starań opisanych w podrozdziale 3.8.1) konkretnego projektu, warto w tym miejscu postawić pytanie, czy czytelność procesów, generujących strukturę muzyczną utworu jest warunkiem niezbędnym dla jego satysfakcjonującego odbioru? Czy słuchając kompozycji Schoenberga czy Bouleza, jesteśmy w stanie usłyszeć kolejne przekształcenia serii? Czy wreszcie struktura utworu o relatywnie wysokim poziomie złożoności jest w ogóle dostępna dla ludzkiej percepcji przy jednorazowym odsłuchu? Pytania te (oraz udzielone na nie odpowiedzi przeczące) bywały już wielokrotnie źródłem kontrowersji, chociażby w przypadku Milтона Babitta³⁴³ i Briana Ferneyhough³⁴⁴.

4.2.6. Projekt AAAA z perspektywy publiczności

Nieco innego obrazu stopnia komunikatywności performatywnej projektu AAAA dostarczają jednak wyniki ankiety przeprowadzonej wśród publiczności podczas drugiego publicznego wykonania w przestrzeni muzyki współczesnej Hashtag Lab. Strategia performatywna przyjęta podczas koncertu została już opisana w podrozdziale 3.8.1 – koncert został poprzedzony słownym wprowadzeniem, a podczas improwizacji skupiłem się, wraz z pozostałymi wykonawcami, przede wszystkim na aspekcie muzycznym, nie stawiając sobie za istotny cel przejrzystej prezentacji zależności między instrumentami.

Publiczność została poproszona o wypełnienie anonimowych ankiet, składających się z trzech pytań. Uczestnicy ankiety mieli możliwość zaznaczenia dla każdego z pytań jednej z pięciu odpowiedzi: zdecydowanie tak, raczej tak, trudno powiedzieć, raczej nie, zdecydowanie nie. W ankiecie wzięto udział 27 osób, z których dwie odnotowały fakt, iż nie słyszały w całości słownego wprowadzenia do koncertu – ich głosy nie zostały zatem wzięte pod uwagę. Wyniki ankiety przedstawiają się następująco:

³³⁸ Obecnie pod sformułowaniem AI rozumie się przede wszystkim narzędzia bazujące na sztucznych sieciach neuronowych, zdolne do samodzielnego uczenia się (uczenie maszynowe).

³³⁹ H. Sheikh, C. Prins, E. Schrijvers, *Artificial Intelligence: Definition and Background*, [w:] *Mission AI*, Cham 2023.

³⁴⁰ Szukając połączeń. *Warszawska Jesień 2022 (1/3)*, 21 października 2022 r., „Glissando”, <http://glissando.pl/aktualnosci/szukajac-polaczen-warszawska-jesien-2022-1-3/> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].

³⁴¹ *Trans-instrumentalizm – Jacek Sotomski. Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2022/program/utwory/transinstrumentalizm-jacek-sotomski> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].

³⁴² Kompozycja *Trans-humanizm* wykorzystuje mechatroniczną patkę perkusyjną Polyend Perc, realizującą partię werbla na podstawie odtwarzanej z laptopa prekomponowanej sekwencji.

³⁴³ M. Babbitt, *Who Cares If You Listen?*, „High Fidelity” 1958.

³⁴⁴ T. Ruthford-Johnson, *Ferneyhough gets the Today treatment*, „The Rambler”, 25 lutego 2011 r., <https://johnsonsrambler.wordpress.com/2011/02/25/ferneyhough-gets-the-today-treatment/> [dostęp: 13 czerwca 2024 r.].

- **Pytanie 1. Czy wpływ algorytmów na improwizacje był słyszalny?**

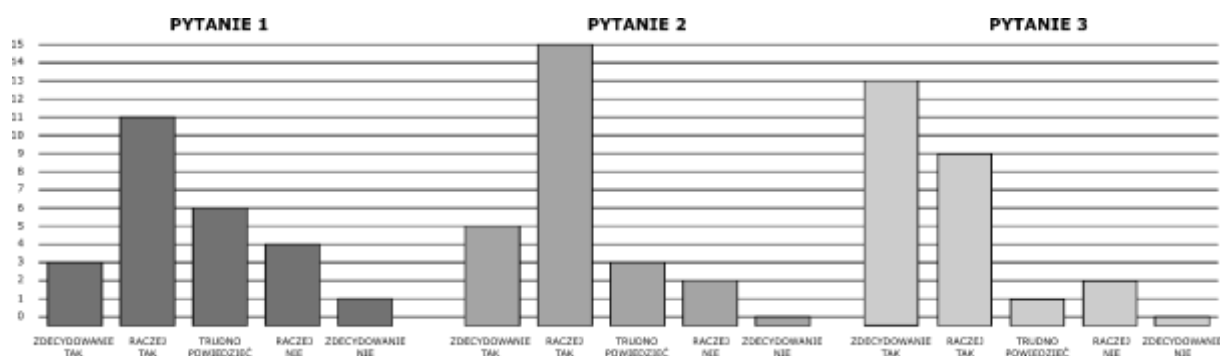
56% uczestników (14 osób) udzieliło odpowiedzi pozytywnej („zdecydowanie tak” lub „raczej tak”), 20% (5 osób) negatywnej („raczej nie” lub „zdecydowanie nie”), a 24% (6 osób) nie miało zdania.

- **Pytanie 2. Czy słyszalne były różnice pomiędzy fragmentami koncertu granymi pod wpływem różnych algorytmów?**

80% uczestników (20 osób) udzieliło odpowiedzi pozytywnej, 8% (2 osoby) negatywnej, a 12% (3 osoby) nie miało zdania.

- **Pytanie 3. Czy słowne wprowadzenie oraz wyświetlane na ekranie infografiki przyczyniły się do pełniejszego odbioru koncertu?**

88% uczestników (22 osoby) udzieliło odpowiedzi pozytywnej, 8% (2 osoby) negatywnej, a 4% (1 osoba) nie miało zdania.



Ilustracja 56. Wyniki ankiety przeprowadzonej wśród publiczności koncertu w Przestrzeni Muzyki Współczesnej Hashtag Lab

Wyniki ankiety pozwalają przypuszczać, że słowne wprowadzenie przed koncertem oraz wyświetlane z rzutnika slajdów infografiki wyraźnie przyczyniają się do zwiększenia komunikatywności performatywnej wykonania, nawet w przypadku strategii performatywnej, w której prezentacja zależności między instrumentami nie była głównym celem.

Ankieta nie zawierała pytań dotyczących kwestii *stricte* muzycznych czy estetycznych, odpowiedź na pytanie drugie sugeruje jednak pośrednio, że z perspektywy słuchaczy przebieg koncertu w wyraźny sposób ukształtowany był przez zestawy reguł towarzyszące poszczególnym algorytmom.

4.2.7. Projekt AAAA z perspektywy wykonawców

Nie mniej istotne dla weryfikacji tez projektu są opinie i wrażenia wykonawców biorących w nim udział. Wkład wykonawców w ostateczny kształt projektu AAAA był niebagatelny – wnioski z konsultacji oraz wspólnych prób przyczyniły się do formy, jaką przyjęły ostateczne wersje Aeromembranophone’u i Autovioli; miały również wpływ na selekcję algorytmów zastosowanych podczas publicznych wykonań.

Sama zaś tworzona z wykorzystaniem instrumentów i algorytmów muzyka była w oczywisty sposób wypadkową zbudowanej przeze mnie platformy, jak i kreatywności oraz umiejętności muzycznych zaproszonych do udziału w projekcie instrumentalistów. Ich opinia na temat przedsięwzięcia była zatem dla mnie niezwykle istotna – zarówno wrażenia z samej gry na powierzonych wykonawcom instrumentach, jak i doświadczenia i obserwacje dotyczące wpływu całego systemu generatywnego AAAA na proces tworzenia muzyki w drodze improwizacji.

Wykonawcy zostali poproszeni o wyrażenie własnych opinii na temat mocnych i słabych stron zarówno indywidualnych instrumentów, jak i całego systemu AAAA. W razie potrzeby zadawałem dodatkowe pytania doprecyzowujące³⁴⁵.

Piotr Zalewski

Obserwacje dotyczące instrumentu solo:

- Piotr Zalewski w pierwszej kolejności zwrócił uwagę na estetykę instrumentu; wygląd ostatecznej formy Autovioli wzbudza reakcję, którą można opisać słowami „ciekawe, jak to gra”; w jego odczuciu dobrze wyglądający instrument zachęca, aby wziąć go do rąk i od razu zacząć na nim grać;
- intrygujące w formie instrumentu jest widoczne na pierwszy rzut oka połączenie dwóch odległych estetyk – formy pudła rezonansowego nawiązującej do wczesnych gamb czy fideli, z gryfem, który wraz z mechanizmami sugeruje jednoznacznie, że instrument został wykonany wspólnie;
- dodatkową zaletą jest poczucie wyjątkowości w obcowaniu z instrumentem, który jest unikatowym, jednostkowym egzemplarzem;
- konieczność dostosowania techniki gry lewej ręki do interfejsu (klawiatury) i fakt, że trzeba się tej techniki niejako na nowo nauczyć (lub przynajmniej poświęcić czas na jej wyćwiczenie) uznał za interesującą cechę instrumentu³⁴⁶;
- fakt, że mechanizmy nie działają natychmiastowo – są swego rodzaju pośrednikiem między lewą ręką a strunami – postrzega jako jednocześnie wadę i zaletę; z jednej strony opóźnienie powodowane przez mechanizmy uniemożliwia granie szybkich przebiegów, co można by uznać za wadę, z drugiej strony jednak cecha ta musi zostać uwzględniona podczas gry, wpływając na proces kreatywny; Piotr zgodził się ze stwierdzeniem, że ograniczenie to prowokuje wykonawcę do zmiany nawyków i sposobu myślenia o graniu; rozwijając myśl, zauważył, że pozwala ono uniknąć „wymiatania” i „popisywania się”;
- dzięki potencjalnej dostępności wszystkich dźwięków skali chromatycznej jednocześnie można uzyskać układy akordów niemożliwe do zagrania na innych instrumentach smyczkowych – na przykład współbrzmienie złożone z wielu półtonów;
- opisując ostateczną wersję Autovioli, szczególnie porównując ją z prototypem 3., zauważył, że pudło rezonansowe zachowuje się jak w klasycznym instrumencie: „to działa jak [tradycyjny – K.C.] instrument, przenosi drgania”; zastosowane w ostatecznej wersji Autovioli syntetyczne struny określił jako „ładnie brzmiące”, choć ustępujące brzmieniem

³⁴⁵ Przedstawiona w pracy zredagowana forma wypowiedzi wykonawców uzyskała ich autoryzację.

³⁴⁶ Jeśli dobrze rozumiem intencję wypowiedzi Piotra Zalewskiego, fakt ten stanowił dla niego rodzaj interesującego wyzwania.

naturalnym strunom jelitowym; przeprowadzenie testów z wykorzystaniem strun jelitowych postrzega jako potencjalny kierunek dalszego rozwoju instrumentu³⁴⁷;

- zauważa, że użyteczna rozpiętość dynamiczna instrumentu jest nieduża, jednocześnie zwracając uwagę, że istnieje sporo instrumentów „w ogóle bez dynamiki”, co nie wyklucza satysfakcji z gry na nich; odpowiednie wykorzystanie ograniczonej dynamiki instrumentu wymaga, zdaniem Piotra, znalezienia „*sweet spotu*”;
- na pytanie, czy niewielka dynamika instrumentu nie ogranicza responsywności Autovioli na technikę prawej ręki, odpowiedział, że nie zaobserwował braku reakcji instrumentu na przykład na mocniejsze czy agresywniejsze szarpnięcie lub pociągnięcie smyczka – „da się to zrobić i jest [spodziewana – K.C.] odpowiedź instrumentu”;
- zwrócił uwagę na konieczność przyzwyczajania się do płaskości podstawka – w porównaniu z tradycyjnymi instrumentami smyczkowymi „trzeba sobie to ułożyć w głowie (...) od nowa”;
- zwrócił uwagę na „ładne brzmienie” dźwięków granych *pizzicato*;
- szczególnie interesującym elementem Autovioli jest z perspektywy Piotra tłumik flażoletowy; zauważa, że jest to jeden z elementów stanowiących o przewadze Autovioli nad innymi instrumentami smyczkowymi; wyraził zainteresowanie zainstalowaniem podobnego rozwiązania w gambie [choć tłumik flażoletowy działa tylko przy pustych strunach, w związku z czym sprawdza się najlepiej w przypadku Autovioli – K.C.];
- cyfrowe rozszerzenia Autovioli (w szczególności tryb 3.) określił jako korzystne rozszerzenie możliwości instrumentu; zwrócił uwagę, że funkcja ta znana jest z syntezatorów, ale nie występuje w instrumentach akustycznych; z tej przyczyny czasami podczas gry zapominał o istnieniu cyfrowych rozszerzeń, tłumacząc to faktem, iż „mózg nie zakłada, że tak można” [przy użyciu instrumentów akustycznych – K.C.].

Obserwacje dotyczące gry zespołowej:

- Piotr Zalewski spytany, czy ograniczenia wynikające z gry z wykorzystaniem algorytmów były przyczyną jego negatywnej reakcji w trakcie gry, odpowiedział, że przystępując do udziału w przedsięwzięciu, miał świadomość, że forma interakcji będzie odbiegać od jego dotychczasowych doświadczeń [w domyśle: był otwarty na inną formę interakcji – K.C.], w związku z tym nie towarzyszyła mu frustracja; poczynił przy tym spostrzeżenie, że Algorytm 0 pozwala na grę bez ograniczeń;
- odbiera algorytmy, które zostały wybrane dla ostatecznej wersji projektu, jako zaletę, interesującą cechę - przynajmniej dla wykonawców; zauważył, że z punktu widzenia wykonawcy gra na instrumencie w ramach algorytmów jest jednocześnie zarówno improwizacją, jak i rodzajem gry [w znaczeniu gry komputerowej – K.C.], „trochę jak *Tetris*”; doświadczenie to opisał jako wymagające połączenia muzycznej kreatywności z sytuacją, w której trzeba komputer albo „przechrzcić”, albo „grać na jego zasadach”;
- pytany, na ile w jego odczuciu algorytmy 1., 2. i 3. wnoszą coś nowego do procesu improwizacji grupowej, a w szczególności o to, na ile jako wykonawca wiodący miał poczucie sprawczości (czy słyszał proponowane przez siebie dźwięki w odpowiedzi pozostałych instrumentów), odpowiedział, że doświadczenie to różni się od improwizacji tonalnej na standardowych instrumentach istotną cechą: o ile przy zwyczajnej improwizacji wykonawcy mogą grać we wspólnej tonacji, nie powtarzając nuta w nutę tych samych dźwięków, o tyle w przypadku AAAA narzucane są konkretne nuty, czego efektem jest gra instrumentów *unisono*; jest to odmienne doświadczenie od zwykłej improwizacji: „nie można nic dodać od siebie” – jeśli solista gra szybko, to akordy w instrumentach

³⁴⁷ Rozważając podczas prac nad prototypami 3. i 4. zastosowanie naturalnych strun jelitowych, miałem jednak obawy, czy będą się one poddawać ruchowi mechanizmów strunowych w stopniu umożliwiającym prawidłowe funkcjonowanie instrumentu; praktyczne testy nie zostały przeprowadzone.

podążających też się szybko zmieniają; zauważa jednak, że algorytmy z dopiskiem „A” zapewniają wykonawcom większą swobodę w podejmowaniu własnych decyzji.

Hubert Zemler

Obserwacje dotyczące instrumentu solo:

- Hubert Zemler w pierwszej kolejności zwrócił uwagę na fakt, iż Aeromembranophone oferuje możliwość wydobywania szeregu dźwięków z jednego instrumentu; porównując instrument do kottów i *rototomów*, zwrócił uwagę na różnicę w zasadzie działania (przestrzajanie Aeromembranophone’u poprzez zmianę długości słupa powietrza, w odróżnieniu do zastosowanej w pozostałych instrumentach zmiany napięcia membrany);
- istotniejszą różnicę z perspektywy Huberta stanowi jednak sposób zmiany wysokości dźwięku za pomocą klawiatury nożnej, w oparciu o konkretną skalę, który jest unikalny dla Aeromembranophone’u;
- zauważył, że wybór nut poprzez wykorzystanie klawiatury nożnej wymaga zmiany naturalnego dla perkusistów odruchu, wynikającego z faktu, iż zmiana granych nut przy tradycyjnym instrumentarium wymaga „przesuwania rąk w przestrzeni w inny punkt”; w tym sensie zmiana wysokości dźwięków na Aeromembranophone przypomina bardziej grę na instrumentach klawiszowych niż perkusyjnych; różnica ta „otwiera nowy sposób myślenia”;
- wskazał jako korzystną cechę możliwość zmiany trybu działania kontrolera nożnego – pozwalającą na wybór absolutnej lub interwałowej (relatywnej) zmiany wysokości dźwięku; tryb 2. umożliwi nietypowy sposób gry w oparciu o konkretne skale (gamy);
- zauważa, że główny minus i ograniczenie Aeromembranophone’u stanowi mała średnica membrany, w związku z czym obszar, w który należy uderzać pałkami, aby uzyskać optymalne brzmienie, jest bardzo niewielki;
- w porównaniu z dobrej jakości standardowymi bębnami, czuje, że Aeromembranophone nie jest dobrej jakości instrumentem (w sensie jakości brzmienia pojedynczych dźwięków): „pojedyncze uderzenie [pałką w instrument – K.C.] jest w zasadzie nieinteresującym uderzeniem”, sytuacja jednak zmienia się podczas zmian wysokości dźwięków, które stanowią mocną stronę instrumentu;
- „najważniejszy oręż perkusisty, czyli artykulacja, jest trochę osłabiony, bo tylko przy niektórych pałkach (...) zmiana wysokości dźwięku jest słyszalna”; optymalne brzmienie (czytelność nut) występują tylko w wąskim zakresie dynamicznym; w odczuciu Huberta, przy wykorzystaniu pałek werblowych i wyższej dynamiki wysokość dźwięku nie jest czytelna – w związku z tym „nie da się za głośno grać, bo w ogóle nie słychać wysokości dźwięku”³⁴⁸; cechy te mogą stanowić jednak „jednocześnie plus i minus, bo jest inaczej”;
- zauważa, że niektóre nuty grane na Aeromembranophone są głośniejsze, a inne cichsze [co jest efektem zastosowania chwytów widetkowych – K.C.]; zapytany o różnicę między prototypem 2. a ostateczną wersją instrumentu, zauważył znaczącą poprawę;
- zwrócił uwagę, że możliwość regulacji prędkości ruchu kłap za pomocą pedału ekspresji daje możliwość płynnego przechodzenia między nutami przy grze tremolo miękkimi pałkami, przejścia między dźwiękami stają się ciekawe: „to rzeczywiście jest inspirujące”;
- zauważa, że dobrą zmianą jest wyciszenie mechanizmów kłap, które w prototypie 2. zdecydowanie dominowały nad właściwym dźwiękiem instrumentu;
- konkluduje, że w jego odczuciu Aeromembranophone to „zupetnie nowy instrument, nie grałem nigdy na czymś takim”.

³⁴⁸ Omówione w poprzednich podrozdziałach nagrania pokazują, że gra *forte* pałkami drewnianymi pozwala uzyskać dźwięki o wyraźnie czytelnej wysokości; być może jest to kwestia perspektywy – wykonawca podczas gry słyszy przede wszystkim dźwięk pochodzący bezpośrednio z membrany; odstuchowi z pewnej odległości towarzyszy większy udział rezonansu słupa powietrza w całościowym „akustycznym miksie” instrumentu.

Obserwacje dotyczące gry zespołowej:

- spytany, czy wykorzystanie algorytmów nie stanowi ograniczenia, odpowiedział, że ich obecność ma korzystny wpływ na grę: „[algorytmy] dają formę kompozycji, więc to jest świetne”, zwracając uwagę zarówno na Algorytm 5., jak i algorytmy 1., 2. i 3.;
- opisując wrażenia z wykorzystania Algorytmu 4.: „(...) nie możesz zmienić dźwięku, kiedy inni grają, [dzięki czemu – K.C.] zaczynasz od razu grać mniej”;
- „W obecnych czasach, kiedy wszystko już zostało zagrane, ciekawa jest sytuacja, w której trzem improwizatorom ogranicza się możliwość swobodnej komunikacji; zresztą ona nigdy nie jest swobodna, bo wszyscy improwizatorzy grają swoje »patenty«, nawet ci najlepsi”. W przypadku projektu AAAA proces improwizacji może być ciekawszy, „bo jest to połączenie »maszynowe« między instrumentami, co daje projektowi świeżość”; powstają „dziwne, kreatywne ograniczenia, które mobilizują do grania”;
- kontynuując obserwację dotyczącą brzmienia pojedynczych nut Aeromembranophone’u, wyraził podobną refleksję w odniesieniu do P-D Sax, który w odczuciu Huberta przy graniu pojedynczych dźwięków „nie brzmi pięknie”, ale gdy następują zmiany dźwięków, zaczyna brzmieć interesująco;
- jako możliwy kierunek dalszego rozwoju projektu AAAA Hubert wskazał dopracowanie barw instrumentów (zwracając jednocześnie uwagę, że najbardziej dopracowane jest brzmienie Autovioli), przede wszystkim zaś dalsze poszerzenie czy obniżenie skali; w szczególności korzystne byłoby w jego odczuciu obniżenie skali Aeromembranophone’u, umożliwiające grę częstotliwościami basowymi.

4.3. Konkluzja

Przedstawione w niniejszej pracy nagrania są dokumentacją jedynie kilku możliwych realizacji dzieła – innymi słowy, ukazują wybrane artefakty muzyczne będące efektem działania systemu generatywnego, jakim jest projekt AAAA. Wchodzące w skład systemu fizyczne instrumenty oraz niematerialne algorytmy stwarzają jedynie warunki specyficznej formy interakcji między improwizującymi muzykami. Same zaś efekty muzyczne są w dużej mierze zależne od czynników, takich jak przyjęte dla danego wykonania strategie performatywne, dobór algorytmów i ich kolejności czy wreszcie – tak istotne dla procesu improwizacji – emocja chwili i dyspozycja dnia, czego dowodem są różnice pomiędzy udokumentowanymi w nagraniach realizacjami muzycznymi projektu.

Ocena efektów estetycznych przedsięwzięcia jest oczywiście subiektywna. Niemniej jednak faktem pozostaje, że projekt AAAA stanowi platformę do nowej formy interakcji między muzykami, czego efektem przy każdej kolejnej realizacji jest powstawanie nowych, nieoczywistych utworów – zarówno pod względem muzycznym i brzmieniowym, jak i performatywnym.

Co istotne, projekt AAAA jest systemem otwartym, umożliwiającym stworzenie jeszcze wielu artefaktów, zarówno poprzez modyfikację wspomnianych strategii performatywnych, jak i wykorzystanie innych algorytmów czy wreszcie poprzez dalszą ewolucję samych instrumentów.

Postscriptum – potencjalne kierunki dalszego rozwoju projektu AAAA

W podrozdziałach dotyczących prac nad poszczególnymi instrumentami zasygnalizowałem już potencjalne ścieżki ich dalszej ewolucji. Poniżej znajduje się ich krótka lista:

- brzmienie Autovioli może zostać udoskonalone poprzez zastosowanie naturalnych strun jelitowych o parametrach dostosowanych do właściwości instrumentu;
- mechanizmy klapowe, zastosowane w prototypie 5. Aeromembranophone'u, mogą zostać zaadaptowane do korpusu o większej średnicy, umożliwiając obniżenie stroju i wydłużenie czasu wybrzmienia instrumentu; zwiększenie średnicy membrany może z kolei umożliwić poszerzenie palety technik gry i dostępnych środków artykulacyjnych;
- każdy z instrumentów może zostać zmodyfikowany poprzez zmianę stroju, umożliwiającą wykorzystanie innych skal (na przykład mikrotonalnych i xenharmonicznych);
- Autoviola i P-D Sax mogą być dostosowane do potrzeb wykonawców z niepełnosprawnościami – zmiany wysokości dźwięków obu instrumentów mogą być z góry zaprogramowane, pozwalając wykonawcom na ekspresję w obszarze dynamiki i artykulacji.

Bibliografia

- AAAA (*augmented acoustic actuated autonomous*) – Krzysztof Cybulski Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/utwory/aaaa-augmented-acoustic-actuated-autonomous-krzysztof-cybulski> [dostęp: 9 czerwca 2024 r.].
- Abd El Ghani M. i in., *Tangible Interaction with In-Car Smart Intelligence*, [w:] *AutomotiveUI '22: Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, New York 2022.
- Ablinger P., *Speaking Piano*, https://ablinger.mur.at/speaking_piano.html [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- After 27 years, the Blue Man Group is using a new PVC pipe*, Mashable.com, 5 lutego 2019 r., <https://mashable.com/video/blue-man-group-pipe> [dostęp: 28 maja 2024 r.].
- Alizadeh F., Stevens G., Esau M., *I Don't Know, Is AI Also Used in Airbags?: An Empirical Study of Folk Concepts and People's Expectations of Current and Future Artificial Intelligence*, „i-com” 2021, t. 20, nr 1, DOI: 10.1515/icom-2021-0009.
- Anderson B., Hilton B., Giorgini F., *Equivalent circuit modeling and vibrometry measurements of the Nigerian-origin Udu Utar drum*, „The Journal of the Acoustical Society of America” 2013, t. 133, DOI: 10.1121/1.4789892.
- Ângelo T. i in., *Actuated Musical Instruments – A State of the Art*, Porto 2018.
- Armitage J. i in., *The Proto-Langspil: Launching an Icelandic NIME Research Lab with the Help of a Marginalised Instrument*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2022.
- Augmented Instruments Laboratory*, <https://instrumentslab.org/> [dostęp: 17 czerwca 2024 r.].
- Auslander P., *Lucille Meets GuitarBot: Instrumentality, Agency, and Technology in Musical Performance*, [w:] T. Bovermann i in. (red.), *Musical Instruments in the 21st Century: Identities, Configurations, Practices*, Singapore 2017.
- Babbitt M., *Who Cares If You Listen?*, „High Fidelity” 1958.
- Barkin E., Brody M., *Babbitt, Milton*, t. 1, Oxford 2001.
- Barrett R., *Ensemble compositions*, <https://richardbarrettmusic.com/scores2ensemble.html> [dostęp: 13 maja 2024 r.].
- Barton S., Prihar E., Carvalho P., *Cyther: a Human-playable, Self-tuning Robotic Zither*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017.

- Beaumont-Thomas B., *Aphex Twin – Computer Controlled Acoustic Instruments pt2 review: „Sometimes unlistenably irritating”*, „The Guardian” 2015, <https://www.theguardian.com/music/2015/jan/23/aphex-twin-computer-controlled-acoustic-instruments-pt2-review> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Benade A.H., *Fundamentals of Musical Acoustics*, Dover Publications 1990.
- Berdahl E. i in., *Force-Feedback Instruments for the Laptop Orchestra of Louisiana*, [w:] S. Papetti, C. Saitis (red.), *Musical Haptics*, Cham 2018.
- Berdahl E., *How to Make Embedded Acoustic Instruments*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2014.
- Berthaud A., *Playing With Machines*, <https://alexandreberthaud.com/portfolio/playing-with-machines/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Berthaut F., Dahl L., *The Effect of Visualisation Level and Situational Visibility in Co-located Digital Musical Ensembles*, [w:] *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Auckland 2022.
- Black box*, Wikipedia, 2024 r.
- Bloland P., *The electromagnetically-prepared piano and its compositional implications*, 2007 r., http://www.ems-network.org/IMG/pdf_EMS11_Bloland.pdf [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Błażejczyk W., *Obiektofony: wykorzystanie odpadów cywilizacyjnych w utworze Trash music*, Warszawa 2017.
- Britt N.C., *Actuated Acoustic Instruments: Relationships and Mind-sets with „Fill Up Jar” and „Ctenophora” (original music compositions)*, 2014 r., <https://dataspace.princeton.edu/handle/88435/dsp012r36tx669> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Castelvecchi D., *Can we open the black box of AI?*, „Nature” 2016, t. 538, nr 7623, DOI: 10.1038/538020a.
- Chaigne A., Kergomard J., *Coupled Systems*, [w:] A. Chaigne, J. Kergomard (red.), *Acoustics of Musical Instruments*, New York 2016.
- Cieślakowa A., *Design czy Dizajn?*, „2+3D” 2001.
- Composers as Gardeners* | Edge.org, https://www.edge.org/conversation/brian_eno-composers-as-gardeners [dostęp: 1 maja 2024 r.].
- Conforti S., A. Güsewell, *PRIME Gesture Recognition applied to the Paetzold recorder: New paradigms for the interaction between recorder players and machines in live electronic music*, „Dissonance/Dissonanz” 2015, nr 132.
- Cook P., *Remutualizing the Musical Instrument: Co-Design of Synthesis Algorithms and Controllers*, „Journal of New Music Research” t. 33 (2004), DOI: 10.1080/0929821042000317877.

- Cramer F., *What Is 'Post-Digital'?*, „A Peer-Reviewed Journal About” 2014, t. 3, nr 1, DOI: 10.7146/aprja.v3i1.116068.
- Crowley D., *Ultra sounds: the sonic art of Polish Radio Experimental Studio*, Karlsruhe–Warsaw–Łódź–Heidelberg–Berlin 2019.
- Csikszentmihályi M., *Finding Flow. The Psychology of Engagement With Everyday Life*, New York 1998.
- Csikszentmihályi M., *Flow. The Psychology of Optimal Experience*, New York 1990.
- Csikszentmihályi M., Rich G., *Musical Improvisation: A Systems Approach*, [w:] *Creativity in Performance*, London 1997.
- Csikszentmihályi M., *The Systems Model of Creativity: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*, Dordrecht 2014.
- Cybulski K., *ABBBEEEIKKR*, <https://krzysztofcybulski.com/ab.php> [dostęp: 12 maja 2024 r.].
- Cybulski K., *Acoustic Additive Synthesizer*, <https://krzysztofcybulski.com/aas.php> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Cybulski K., *Acoustic Harmonic Synthesizer*, <https://krzysztofcybulski.com/ahs.php> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- Cybulski K., *CLSZ*, <https://krzysztofcybulski.com/clsz.php> [dostęp: 11 czerwca 2024 r.].
- Cybulski K., *Feedboxes*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017.
- Cybulski K., *Modular Process Music*, Zenodo 2020.
- Cybulski K., *MORPH*, <https://krzysztofcybulski.com/morph.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Cybulski K., *Post-digital sax – a digitally controlled acoustic single-reed woodwind instrument*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2022.
- Cybulski K., *Spectral Score*, <https://krzysztofcybulski.com/spectralscore.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Cybulski K., *Tape Sampler*, <https://krzysztofcybulski.com/tapesampler.php> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Czernecka K., *Korelaty mózgowie wykonawstwa muzycznego*, [w:] *Psychologia muzyki*, Warszawa 2020.
- Davisson K., *Improvisation as a Method of Composition: Reconciling the Dichotomy*, „The British Journal of Aesthetics” 2022, t. 62, nr 3, DOI: 10.1093/aesthj/ayac018.
- Discreet Music Liner Notes*, http://music.hyperreal.org/artists/brian_eno/discreet-txt.html [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Dodecaudion*, panGenerator, <https://pangenerator.com/projects/dodecaudion/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].

- Doppelgänger*, <https://www.rafalryterski.com/doppelganger> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- Drobner M., *Instrumentoznawstwo i akustyka*, Warszawa 1993.
- Eno B., *Studio as Compositional Tool. Part I*, „Downbeat” 1983, nr 50, s. 57.
- Ensemble Kompopolex*, <http://www.kompopolex.pl/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].
- Fabrizi M., „*Irrational Thoughts Should be Followed Absolutely and Logically*”... – SOCKS, 15 czerwca 2016 r., <https://socks-studio.com/2016/06/15/irrational-thoughts-should-be-followed-absolutely-and-logically-sol-lewitts-variations-of-incomplete-open-cubes-1974/> [dostęp: 1 maja 2024 r.].
- Feedback Musicianship Network*, <https://feedback-musicianship.pubpub.org/> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Fell M., *Collateral Damage: Mark Fell – The Wire*, „The Wire Magazine – Adventures In Modern Music”, <https://www.thewire.co.uk/in-writing/essays/collateral-damage-mark-fell> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Ferguson J., Brown A., *Fostering a Post-Digital Avant-Garde: Research-led teaching of music technology*, „Organised Sound” 2016, t. 21, DOI: 10.1017/S1355771816000054.
- Fiumara A., *Anthony Fiumara | Three Variations (Brian Eno)*, <https://www.anthoniyfiumara.com//music//pachelbel.html> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Flocking*, Wikipedia, 2024 r.
- Flores C.R., Murphy J., Norris M., *HypeSax: Saxophone acoustic augmentation*, Zenodo 2019, DOI: 10.5281/ZENODO.3672996, <https://zenodo.org/record/3672996>.
- Freeman J. i in., *LOLC for laptop music ensemble*, „C&C '11: Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition”, listopad 2011 r.
- Galanter P., *Generative Art Theory*, [w:] C. Paul (red.), *A Companion to Digital Art*, New York 2016.
- Galanter P., *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory*, 2003 r., http://philipgalanter.com/downloads/ga2003_paper.pdf [dostęp: 19 maja 2024 r.].
- Gioia T., *The imperfect art: reflections on jazz and modern culture*, Oxford 1988.
- Giordano M., Sullivan J., Wanderley M., *Design of Vibrotactile Feedback and Stimulation for Music Performance*, [w:] S. Papetti, C. Saitis (red.), *Musical Haptics*, Cham 2018.
- Glenc J., *Harmonia jazzowa. Kluczowa problematyka stylistyczno-estetyczna*, Katowice 2015.
- Goodheart M., *Reembodied Sound and Transducer-actuated Instruments in Refraction Interlude*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2023.
- Gradim R., Duarte Pestana P., *Overview of Generative Processes in the work of Brian Eno, 11th Workshop on Ubiquitous Music (UbiMus 2021)*, Matosinhos 2021.

- Gregorio J., Kim Y.E., *Evaluation of Timbre-Based Control of a Parametric Synthesizer*, [w:] *NIME 2021*, Shanghai 2021.
- Gunther J.G., *Improvising with Tones: Connecting Jazz Improvisation and Serial Music Through Spooky Actions*, New York 2008.
- Ham J., *Ultralight cello and other heresies*, philharmoniedeparis.fr, 2013 r., <https://catalogue.philharmoniedeparis.fr/catalogue/doc/ALOES/0998715/ultralight-cello-and-other-heresies-by-james-ham> [dostęp: 27 maja 2024 r.].
- Hart E., Di Blasi Z., *Combined flow in musical jam sessions: A pilot qualitative study*, „Psychology of Music” 2015, t. 43, nr 2, DOI: 10.1177/0305735613502374.
- Hayes L.S., *Audio-haptic relationships as compositional and performance strategies*, 2014 r., <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/9481> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Henshaw Danielson J., *Karlheinz Stockhausen: The Search for Control*, „Synapse” 1977, t. 2, nr 37.
- Historie robotyczne – Michał Górczyński. Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/utwory/historie-robotyczne-michal-gorczyński> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- Hoffman G., Weinberg G., *Shimon: an interactive improvisational robotic marimba player*, New York 2010.
- Hopkin B., *Percussion Aerophones*, „Experimental Musical Instruments” 1990, t. 6, nr 3, https://dn790004.ca.archive.org/0/items/emi_archive/EMI_6_3_October1990_text.pdf [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Hopkin B., Scoville J., *Musical instrument design: practical information of musical instrument making*, Tucson 2010.
- How Brian Eno Created „Ambient 1: Music For Airports”*, 11 lipca 2019 r., <https://reverbmachine.com/blog/deconstructing-brian-eno-music-for-airports/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Hummels C., Lévy P., *Matter of transformation: designing an alternative tomorrow inspired by phenomenology*, „Interactions” 2013, t. 20, DOI: 10.1145/2533713.
- Intelligent Instruments Lab*, <https://iil.is> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- It's Gonna Rain*, Wikipedia, 2023 r.
- Jojo Mayer – DRUMMERWORLD*, https://www.drummerworld.com/drummers/JOJO_Mayer.html [dostęp: 4 maja 2024 r.].
- Jose K., Chatterjee A., Gupta A., *Acoustics of Idakkā: An Indian snare drum with definite pitch*, „The Journal of the Acoustical Society of America” 2018, t. 143, nr 5, DOI: 10.1121/1.5038111.

- Kamatani T., Sato Y., Fujino M., *Ghost Play – A Violin-Playing Robot using Electromagnetic Linear Actuators*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2022.
- Kettlewell D., Long L.M., *Autoharp*, t. 1, Oxford 2013.
- Kęsicka M., *NeoQuartet objaśnia nam świat MUZYKI NOWEJ*, „Ruch Muzyczny” 2021, t. 23, s. 19–20.
- Kokoras P., *Fab Synthesis: Performing sound, from Musique Concrète to Mechatronics*, „Musica/Tecnologia” 2023, DOI: 10.36253/music_tec-14419.
- Korošec K., Sušić B., Habe K., *Improvisation as the Foundation of Flow in Music Education: Connections to Attitudes, Gender and Genre*, „Revija za elementarno izobraževanje” 2022, t. 15, DOI: 10.18690/rei.15.3.339-356.2022.
- Kreidler J., *COIT*, <http://www.kreidler-net.de/theorie/coit.htm> [dostęp: 12 maja 2024 r.].
- Kvifte T., *Musical Instrument User Interfaces: the Digital Background of the Analogue Revolution*, Oslo 2013.
- Lagarias J.C., *The Ultimate Challenge: The 3x+1 Problem*, Providence 2010.
- Lambda Ensemble*, 14 listopada 2022 r., <http://lambdaensemble.com.pl/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Laptop battle*, Wikipedia, 2023 r.
- Larsen N.P.A., *Conducted improvisation. A study of the effect of the concept of signs on musical creativity*, Malmö 2015.
- Lerdahl F., *Cognitive Constraints on Compositional Systems*, „Contemporary Music Review” 2009, t. 6, DOI: 10.1080/07494469200640161.
- LeWitt S., *Paragraphs on Conceptual Art*, „Artforum” 1967.
- Li W. i in., *The effect of blowing pressure, lip force and tonguing on transients: a study using a clarinet-playing machine*, „Journal of the Acoustical Society of America” 2016, DOI: 10.1121/1.4960594.
- Libin L., *Acoustic (instruments)*, t. 1, Oxford 2014.
- Lidström M., Lidström F., *Synplant 2*, „Sonic Charge”, <https://soniccharge.com/synplant> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Limb C., Braun A., *Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation*, „PloS one” 2008, t. 3, DOI: 10.1371/journal.pone.0001679.
- Llera Blanes G. de, *Controllers as Musical Instruments and Controllerism as a Musical Practice – Practices of a new 21st Century musical culture*, wrzesień 2017 r., <https://run.unl.pt/bitstream/10362/45945/1/TESE%20MESTRADO%20-Guillermo%20de%20Llera%202017.pdf> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Long B., *Morris, Butch [Lawrence (Douglas)]*, t. 1, Oxford 2013.

- Magnusson T., Kiefer C., Ulfarsson H., *Reflexions upon Feedback*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017.
- Małe Instrumenty – Życie i twórczość*, Culture.pl, <https://culture.pl/pl/tworca/male-instrumenty> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Mark Fell: interview*, *Art Sheffield 2016*, <https://www.studiointernational.com/index.php/mark-fell-interview-art-sheffield> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Marshall A., „*The status quo will be obliterated!*” – *the inventors making their own musical instruments*, „*The Guardian*” 2017, <https://www.theguardian.com/music/2017/nov/24/the-status-quo-will-be-obliterated-the-inventors-making-their-own-musical-instruments> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Marshall M., *Physical interface design for digital musical instruments*, 4 stycznia 2008 r.
- Maszyna i tubafon*, dwutygodnik.com, <https://www.dwutygodnik.com/artykul/8840-maszyna-i-tubafon.html> [dostęp: 28 maja 2024 r.].
- Matthews L., *Heiner Goebbels’s Stiffers Dinge and the Arendtian Public Sphere*, „*Performance Philosophy*” t. 5 (2019), DOI: 10.21476/PP.2019.51271.
- McMillan A., Morreale F., *Designing accessible musical instruments by addressing musician-instrument relationships*, „*Frontiers in Computer Science*” 2023, t. 5, DOI: 10.3389/fcomp.2023.1153232.
- McPherson A., *Techniques And Circuits For Electromagnetic Instrument Actuation*, Zenodo 2012, DOI: 10.5281/ZENODO.1180533.
- Melbye A.P., Úlfarsson H.A., *Sculpting the behaviour of the Feedback-Actuated Augmented Bass: Design strategies for subtle manipulations of string feedback using simple adaptive algorithms*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2020.
- MEMO/MOVE*, [w:] K. Tahiroğlu, *NOISA: Network of Intelligent Sonic Agents*, Linz 2019.
- Meyer J., *Acoustics and the Performance of Music*, New York, NY 2009.
- Michon R., Smith J., *A Hybrid Guitar Physical Model Controller: The BladeAxe*, 2014 r., <https://ccrma.stanford.edu/~rmichon/publications/doc/ICMC14-BladeAxe.pdf> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Mika P., *Warszawa, jak się bawicie?*, <https://ruchmuzyczny.pl/article/3652-warszawa-jak-sie-bawicie> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].
- Miles B., Evans R., *Crwth*, [w:] *Grove Music Online*, <https://www.oxfordmusiconline.com/grovemusic/> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Modular Process Music – Krzysztof Cybulski International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn*, International Festival of Contemporary Music Warsaw Autumn, <https://warszawska->

- jesien.art.pl/en/2022/program/utwory/modular-process-music-krzysztof-cybulski [dostęp: 11 czerwca 2024 r.].
- MOE SAX, 8 marca 2017 r., <https://barthopkin.com/instrumentarium/moe-sax/> [dostęp: 5 czerwca 2024 r.].
- Moore F., *The dysfunctions of MIDI*, „Computer Music Journal” 1988, t. 12, DOI: 10.2307/3679834.
- Morawska-Büngeler M., *Schwingende Elektronen. Eine Dokumentation über das Studio für Elektronische Musik des Westdeutschen Rundfunks Köln 1951–1986*, Köln–Rodenkirchen 1988.
- Mueller J.S., Melwani S., Goncalo J.A., *The Bias Against Creativity: Why People Desire But Reject Creative Ideas*, „Psychological Science” 2010, t. 23, nr 1, <https://hdl.handle.net/1813/74949> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Nia H.T. i in., *The evolution of air resonance power efficiency in the violin and its ancestors*, „Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences” 2015, t. 471, nr 2175, DOI: 10.1098/rspa.2014.0905.
- Nijs L., Lesaffre M., Leman M., *The musical instrument as a natural extension of the musician*, [w:] *Music and its instruments*, Sampzon 2013.
- Norman D., *Dizajn na co dzień*, Kraków 2023.
- Norman D., Nielsen J., *The Definition of User Experience (UX)*, Nielsen Norman Group, 8 sierpnia 1998 r., <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/> [dostęp: 7 maja 2024 r.].
- Oktave, Wikipedia, 2024 r.
- Orson Welles on „divine accidents”, <https://www.youtube.com/watch?v=CFKgWzllQtA> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Overholt D., Berdahl E., Hamilton R., *Advancements in Actuated Musical Instruments*, „Organised Sound” 2011, t. 16, DOI: 10.1017/S1355771811000100.
- Overholt D., *The Overtone Fiddle: an Actuated Acoustic Instrument*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2011.
- panGenerator – *Życie i twórczość*, Culture.pl, <https://culture.pl/pl/tworca/pangenerator> [dostęp: 2 maja 2024 r.].
- panGenerator » *icons*, <https://pangenerator.com/projects/icons/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].
- Papetti S. i in., *Implementation and Characterization of Vibrotactile Interfaces*, [w:] S. Papetti, C. Saitis (red.), *Musical Haptics*, Cham 2018.
- Papetti S., Saitis C. (red.), *Musical Haptics*, Cham 2018.
- Paradiso J.A., Gershenfeld N., *Musical Applications of Electric Field Sensing*, „Computer Music Journal” 1997, t. 21, nr 2, DOI: 10.2307/3681109.

- Pardue L. i in., *Separating sound from source: sonic transformation of the violin through electrodynamic pickups and acoustic actuation*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2019.
- Pasiecznik M., *Jennifer Walshe – kameleon muzyki współczesnej*, „Glissando” 2016, t. 29, <https://glissando.pl/tekst/jennifer-walshe-kameleon-muzyki-wspolczesnej/>.
- Pat Metheny: Orchestrion album review @ All About Jazz*, All About Jazz, 19 stycznia 2010 r., <https://www.allaboutjazz.com/orchestrion-by-john-kelman/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Pätynen J., Lokki T., *Directivities of Symphony Orchestra Instruments*, „Acta Acustica united with Acustica” 2010, t. 96, nr 1, DOI: 10.3813/AAA.918265.
- Pérez J., Martínez I.C., *Music Improvisation as an Embodied Activity. The Performer-Environment Interaction*, [w:] *POMI – Perspectives on Musical Improvisation Conference*, Oxford 2012.
- Pitchfork, *Aphex Twin: Drukqs*, Pitchfork, <https://pitchfork.com/reviews/albums/225-drukqs/> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- PLOrk – Home*, <https://plork.princeton.edu/> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Pollens S., *New research into the development of violin f-holes is simplistic at best*, „The Strad” 2015, <https://www.thestrad.com/new-research-into-the-development-of-violin-f-holes-is-simplistic-at-best/4073.article> [dostęp: 19 czerwca 2024 r.].
- Poullin J., *Son et espace*, „Vers une musique expérimentale” 1953, t. 236.
- Powell M., *Acoustic Analysis of the Viola*, Davis 2012.
- Raes G.-W., *Godfried-Willem Raes: experimental music composer and instrument builder*, <https://logosfoundation.org/index-god.html> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Rakowski A., *Pitch strength, pitch value and pitch distance*, „Acustica – Acta Acustica” 1996, t. 82.
- Revkin A.C., *String Theory: New Approaches to Instrument Design*, „The New York Times” 2006, <https://www.nytimes.com/2006/11/28/science/28acou.html> [dostęp: 27 maja 2024 r.].
- Reżyseria Dźwięku w Nowych Mediach*, 2023 r., <https://www.youtube.com/watch?v=yKYFQHB5T5M> [dostęp: 17 czerwca 2024 r.].
- Riches M., *Automatic Viola*, <https://martinriches.de/violamore1.html> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- Riches M., *More about the Singing Machine*, <https://martinriches.de/singmore.html> [dostęp: 15 czerwca 2024 r.].
- Riches M., *Tom Johnson and Martin Riches: Knock on Wood, a percussion installation*, <https://martinriches.de/knockmore3.html> [dostęp: 16 czerwca 2024 r.].
- Rogala T., *Identyfikacja melodii jako metoda badania siły wysokości dźwięku*, „Muzyka. Kwartalnik Instytutu Sztuki Polskiej Akademii Nauk” 2010, t. 55, nr 4.

- Rogała T., *Siła wysokości dźwięków muzycznych. Praca doktorska*, Katedra Akustyki Muzycznej UMFC, Warszawa 2008.
- Rogerson B., *JazzMutant Lemur to be discontinued*, „MusicRadar”, 16 listopada 2010 r., <https://www.musicradar.com/news/tech/jazzmutant-lemur-to-be-discontinued-301774> [dostęp: 6 maja 2024 r.].
- Rosen J., *Digital music pioneer, 1980s pop icon Thomas Dolby to join Hopkins faculty*, „The Hub”, 1 marca 2014 r., <https://hub.jhu.edu/2014/03/01/thomas-dolby-johns-hopkins/> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Rovan J., Hayward V., *Typology of Tactile Sounds and their Synthesis in Gesture-Driven Computer Music Performance*, [w:] *Trends in Gestural Control of Music*, Paris 2000.
- Runco M.A., Acar S., *Divergent Thinking*, [w:] J.C. Kaufman, R.J. Sternberg (red.), *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge 2019.
- Rutherford-Johnson T., *Ferneyhough gets the Today treatment*, „The Rambler”, 25 lutego 2011 r., <https://johnsonsrambler.wordpress.com/2011/02/25/ferneyhough-gets-the-today-treatment/> [dostęp: 13 czerwca 2024 r.].
- Schmidt A.G., Gurevich M., *The Hummellaphone: An Electromagnetically Actuated Instrument and Open-Source Toolkit*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2023.
- Schubert A., *Switching worlds*, Hofheim am Taunus 2021.
- Seddon F.A., *Modes of communication during jazz improvisation*, „British Journal of Music Education” 2005, t. 22, nr 1, DOI: 10.1017/S0265051704005984.
- Self D., *The Auxetophone*, <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/auxetophone/auxetoph.htm#aux> [dostęp: 4 czerwca 2024 r.].
- Shapiro L., Spaulding S., *Embodied Cognition*, [w:] E.N. Zalta, U. Nodelman (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University, Stanford 2021.
- Sheikh H., Prins C., Schrijvers E., *Artificial Intelligence: Definition and Background*, [w:] *Mission AI*, Cham 2023.
- Silvert C., *Joe Zawinul: Wayfaring Genius – Part II*, „Down Beat” 1978.
- Skin Udu® L tuneable*, Percussion handmade in Germany – Schlagwerk, <https://www.schlagwerk.com/en/products/ethno-drums/udu-drums/skin-udu/skin-udur-l-tuneable> [dostęp: 6 czerwca 2024 r.].
- Smalley D., *The listening imagination: Listening in the electroacoustic era*, „Contemporary Music Review” 1996, t. 13, nr 2, DOI: 10.1080/07494469600640071.
- Smith B., Acker A.B., *Samchillian*, t. 1, Oxford 2016.

- Solis J. i in., *Development of the Waseda Saxophonist Robot and Implementation of an Auditory Feedback Control*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2010.
- Soliści ORKIESTRY SYMFONICZNEJ FILHARMONII ŚLĄSKIEJ / HASHTAG ENSEMBLE / NEOQUARTET / SINFONIA VARSOVIA / ZAMANI. *Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/program/15-09/inauguracja> [dostęp: 8 czerwca 2024 r.].
- Souvignier T., *Closing the Loop*, „Electronic Musician” 2003.
- Stanford Laptop Orchestra (SLOrk) | CCRMA, <https://ccrma.stanford.edu/groups/stanford-laptop-orchestra-slork> [dostęp: 18 czerwca 2024 r.].
- Steve Reich interview – Pendulum Music, <https://www.furious.com/perfect/ohm/reich.html> [dostęp: 1 maja 2024 r.].
- Stienstra J., *Embodying Phenomenology in Interaction Design Research*, „Interactions” 2015, t. 22, DOI: 10.1145/2685364.
- SUD1, Doyek, <https://www.doyek.com/mobile/ProductDetails/8/SUD1> [dostęp: 6 czerwca 2024 r.].
- Sun C., *Resisting the airport: Bang on a can performs Brian Eno*, „Musicology Australia” 2007, t. 29, nr 1, DOI: 10.1080/08145857.2007.10416592.
- Szlifirski K., *Muzyka elektroniczna jako przedmiot nauczania w wyższych szkołach muzycznych*, [w:] *Studia z teorii przekazu dźwięku. Praca zbiorowa pracowników Katedr Reżyserii Muzycznej i Akustyki Muzycznej Wydziału Reżyserii Dźwięku Akademii Muzycznej im. F. Chopina w Warszawie*, Warszawa 1982.
- Szukając połączeń. *Warszawska Jesień 2022 (1/3)*, 21 października 2022 r., „Glissando”, <http://glissando.pl/aktualnosci/szukajac-polaczen-warszawska-jesien-2022-1-3/> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].
- Szwarcman D., *Oswojona filharmonia*, „Co w duszy gra”, <https://szwarcman.blog.polityka.pl/2023/09/16/oswojona-filharmonia/> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].
- Tahiroğlu K., *NOISA: Network of Intelligent Sonic Agents*, Linz 2019.
- The Metropole Orkest conducted by Vince Mendoza „A Tribute to Joe Zawinul”*, NN North Sea Jazz Festival, <http://www.northseajazz.com/nl/programma/2008/vrijdag-11-juli/6450-the-metropole-orkest-conducted-by-vince-mendoza/> [dostęp: 13 maja 2024 r.].
- The Story Of Acid House: As Told By DJ Pierre*, <https://daily.redbullmusicacademy.com/2012/12/dj-pierre-interview> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].
- Thomas Dolby | Peabody Institute, <https://peabody.jhu.edu/faculty/thomas-dolby/> [dostęp: 29 kwietnia 2024 r.].

- Trans-instrumentalizm – Jacek Sotomski. Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*, <https://warszawska-jesien.art.pl/2022/program/utwory/transinstrumentalizm-jacek-sotomski> [dostęp: 12 czerwca 2024 r.].
- Troika, *Irma watched over by machines*, „Troika”, <https://troika.uk.com/work/works/irma-watched-over-by-machines/> [dostęp: 2 maja 2024 r.].
- Turner T., *The Resonance of the Cubicle: Laptop Performance in Post-digital Musics*, „Contemporary Music Review” 2003, t. 22, nr 4, DOI: 10.1080/0749446032000156928.
- Twomey Ch., *Eno's Music for Airports Process or Preference*, „Musicworks” 1999, t. 39.
- Úlfarsson H., *The Halldorophone: The ongoing innovation of a cello-like drone instrument*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2018.
- Utz Ch., *Time-Space Experience in Works for Solo Cello by Lachenmann, Xenakis and Ferneyhough: a Performance-Sensitive Approach to Morphosyntactic Musical Analysis: A Performance-Sensitive Approach to Morphosyntactic Analysis*, „Music Analysis” 2016, t. 36, DOI: 10.1111/musa.12076.
- Verdugo F. i in., *Feeling the Effort of Classical Musicians – A Pipeline from Electromyography to Smartphone Vibration for Live Music Performance*, [w:] *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Zenodo 2017.
- Violare, The Violare, Breaking Tradition*, 11 kwietnia 2013 r., <https://violinstocellos.wordpress.com/tag/violare/> [dostęp: 27 maja 2024 r.].
- Warsaw Electronic Festival*, Wikipedia, wolna encyklopedia, 2024 r.
- Warszawska Jesień 2015 – AELA – Włodzimierz Kotoński*, <http://archiwum.warsaw-autumn.art.pl/wj2015/program-i-bilety/utwory/1573855144> [dostęp: 23 czerwca 2024 r.].
- Warsztaty ze słuchania. Warszawska Jesień 2023*, „Glissando”, 19 października 2023 r., <http://glissando.pl/aktualnosci/warsztaty-ze-sluchania-warszawska-jesien-2023/> [dostęp: 24 czerwca 2024 r.].
- WOODEN SAX*, 8 marca 2017 r., <https://barthopkin.com/instrumentarium/wooden-sax/> [dostęp: 5 czerwca 2024 r.].
- Woodhouse J., *Reverse Engineering the Violin*, CIRMMT, <https://www.cirmmt.org/en/events/distinguished-lectures/jim-woodhouse-2021> [dostęp: 28 maja 2024 r.].
- Wrocław | Siedem bram Jerozolimy*, https://www.polmic.pl/index.php?Itemid=196&catid=83&id=7176:wroclaw-the-seven-gates-of-jerusalem&lang=pl&option=com_content&view=article [dostęp: 28 maja 2024 r.].

Zalewski, Piotr. *Międzynarodowy Festiwal Muzyki Współczesnej Warszawska Jesień*,
<https://warszawska-jesien.art.pl/2023/program/wykonawcy/zalewski-piotr> [dostęp: 7 czerwca 2024 r.].

Zattra L., *'Collaborating on Composition: The Role of the Musical Assistant at IRCAM, CCRMA and CSC'*,
[w:] *Live-Electronic Music. Composition, Performance and Study*, London 2018, s. 59–80.

Zemler H., *Bio*, <https://hubertzemler.com/bio/> [dostęp: 7 czerwca 2024 r.].