

ANNA MARIA MATUSZEWSKA
INSTYTUT BADAŃ LITERACKICH, POLSKA AKADEMIA NAUK

ZASTOSOWANIE DIAGRAMATYKI W OBLICZENIOWEJ ANALIZIE MUZYCZNEJ

Rewolucja cyfrowa zmienia sposób, w jaki człowiek obserwuje otaczający nas świat i zdobywa wiedzę; wpływa na styl pracy, a nawet modus myślenia. Dynamiczny rozwój technologii definiuje obecnie nie tylko nauki informacyjne i przyrodnicze, lecz także w coraz większym stopniu również humanistyczne. Metody obliczeniowe, modele matematyczne, algorytmy i statystyki prowadzące do lepszego zrozumienia muzyki stanowią arsenał badawczy muzykologii obliczeniowej (ang. *computational musicology*), która zakotwiczona jest w humanistyce cyfrowej:

[...] ze względu na teoretyczny aspekt muzyki, muzykologia obliczeniowa jest mocno osadzona w ramach humanistyki cyfrowej i skupia się na tych samych rodzajach pytań, co tradycyjne badania humanistyczne. (Jednak z powodu różniących się metod, konkretne pytania są często inne.) Podobnie jak inni humaniści cyfrowi, muzykolodzy obliczeniowi wykorzystują (i tworzą) narzędzia cyfrowe aby badać, zadawać i odpowiadać na pytania dotyczące ludzkich artefaktów – w tym przypadku elementów strukturalnych utworów muzycznych i (meta)danych o ludzkiej interakcji z muzyką¹.

Korzenie muzykologii obliczeniowej sięgają lat sześćdziesiątych XX w., kiedy to na Princeton University zainicjowany został *Josquin Project*. Jego przedmiotem było wyodrębnienie charakterystycznych cech stylistycznych mszy Josquina des

1 „[...] due to the music theoretical aspect, computational musicology sits firmly within the *digital humanities* and focuses on the same kinds of questions as traditional humanities research. (Though, because of the differing methods, the specific questions are often different.) Like other digital humanists, computational musicologists use (and make) digital tools to explore, ask, and answer questions about human artifacts – in this case, the structural elements of musical works and (meta)data about human interaction with music”, w: Kris Shaffer, „What is Computational Musicology?”, <https://kshaffer.github.io/2016/01/computational-musicology/>, dostęp 10 XI 2022 (przekł. tu i dalej A.M.M.).

Prez, w celu uściślenia chronologii i wsparcia atrybucji dzieł kompozytora². Harald Heckmann już w 1967 r. prognozował, że wykorzystanie komputerów w muzykologii nie tylko pozwoli na przetwarzanie ogromnych ilości informacji, wykraczające poza możliwości człowieka, ale może wręcz doprowadzić do rozwoju nowych obszarów badawczych³.

Kilka dekad później David Huron, dostrzegając potencjał metod obliczeniowych, stwierdził, że ich wykorzystanie mogłoby przekształcić muzykologię w dyscyplinę bogatą w dane (ang. *data-rich*)⁴, w której nowy arsenał metod badawczych ułatwi

- 2 John Selleck, Robert Bakeman, „Procedures for the Analysis of Form: Two Computer Applications”, *Journal of Music Theory* 9 (1965) nr 2, s. 281–293.
- 3 Harald Heckmann, „Elektronische Datenverarbeitung in Musikdokumentation und Musikwissenschaft. Eine Einleitung”, w: *Elektronische Datenverarbeitung in der Musikwissenschaft*, red. Harald Heckmann, Regensburg 1967, s. VII–XVII, cyt. za: Anja Volk, Frans Wiering, Peter van Kranenburg, „Unfolding the Potential of Computational Musicology”, w: *Proceedings of the 13th International Conference on Informatics and Semiotics in Organisations*, Leeuwarden 2011, s. 137–144.
- 4 Zob.: David Huron, *The New Empiricism: Systematic Musicology in a Postmodern Age*, Berkeley 2009, s. 16, 25: „Pomimo tego, iż termin «dane» niestety sugeruje coś naukowego, interpretuję go w najszerszym możliwym znaczeniu, w efekcie czego może on oznaczać każdą informację, obserwację, artefakt lub dowód, który może być istotny dla jakiejś teorii, hipotezy, interpretacji lub intuicji (łac., *datum*: rzecz znana lub przekazywana). [...] Podczas gdy fizyka subatomowa wchodzi w okres niedostatku danych, w przypadku muzyki sytuacja wydaje się być odwrotna. Jak zauważono wcześniej, innowacje techniczne i organizacyjne mogą przekształcić dziedziny ubogie w dane w dziedziny bogate w dane. W ciągu ostatnich dwudziestu pięciu lat takie innowacje pojawiły się w wielu dziedzinach nauk muzycznych – podążając za trendami dyscyplin takich jak lingwistyka, edukacja i antropologia. Współcześni badacze muzyki mają dostęp do zasobów obliczeniowych i źródeł bazodanowych, wszechstronnych narzędzi referencyjnych, wysokiej jakości metod pozyskiwania danych, wyrafinowanych technik modelowania oraz innych innowacji, które znacznie ułatwiają gromadzenie, analizę i interpretację istotnych z punktu widzenia badacza muzyki dowodów i artefaktów. Trudno wskazać jakąkolwiek dziedzinę muzyki, która nie mogłaby skorzystać z poszerzonych zasobów i z wynikającej z tego możliwości przyjęcia bardziej rygorystycznych standardów dowodowych. Dotyczy to takich dziedzin, jak badanie manuskryptów, semiotyka, historia, ikonografia, analiza, wykonawstwo, pedagogika, recepcja, estetyka i krytyka, fenomenologia, teoria społeczna i krytyczna, kulturoznawstwo, polityka kulturalna, media i etnologia. Powiększanie się ilości dostępnych zasobów nie dotyczyło i nie będzie dotyczyło wszystkich dziedzin nauki o muzyce. Również spekulatywna i twórcza filozofia muzyki nie straci całkowicie swojej wartości. Aktualny rozwój muzykologii zmierzający do przyjęcia bardziej empirycznych metod nie wiąże się z wyparciem ducha humanistyki przez antytetyczny etos naukowy. Zasadniczo jest on odpowiedzialny za precyzyjniejsze epistemologiczne rozumienie roli metodologii. Zmieniające się warunki pozwalają nam po prostu być lepszymi badaczami muzyki, przyjmować wyższe standardy dowodowe i być bardziej świadomymi moralnymi i estetycznymi reperkusji naszych twierdzeń dotyczących wiedzy, w tym również twierdzeń, że coś jest niepoznawalne lub że pewnych zjawisk badać nie należy. Nasza najsurowsza krytyka powinna być skierowana przeciwko tym, którzy nalegają na dyskurs spekulatywny, podczas gdy narzędzia i środki pozwalające na sprawdzenie takich twierdzeń są łatwo dostępne” („Although the term «data» unfortunately implies something scientific, I intend the term to be construed in the broadest possible sense, meaning any information, observation, artifact, or evidence that may be pertinent to some theory, hypothesis, interpretation, or intuition. (In Latin, *datum*: a thing known, or passed around.) [...] While sub-atomic physics is moving into a period of data scarcity, the reverse situation appears to be happening for music. As noted earlier, technical and organizational innovations can transform data-poor fields into data-rich fields. Over the past 25 years, such innovations have arisen in many areas of musical study – following the trends of such disciplines as linguistics, education and anthropology. Contemporary music scholars have access to computational and database resources, com-

odrzucając konkurencyjne hipotezy i zminimalizuje ryzyko fałszywych wyników pozytywnych (ang. *false positive*, chodzi o wyniki tylko pozornie poprawne), zaś dostęp do wszechstronnych narzędzi referencyjnych oraz metod pozyskiwania danych wysokiej jakości ułatwi ich gromadzenie, analizę muzyczną, interpretację⁵.

Jakkolwiek metody obliczeniowe zostały z powodzeniem zastosowane w praktyce w wielu dziedzinach humanistycznych, niewątpliwie zmieniając podejście badawcze wielu naukowców, wykorzystanie systematycznej analizy obliczeniowej do analizy korpusów muzycznych nie przyjęło się na taką skalę jak w przypadku badań literaturoznawczych czy językoznawczych⁶.

W swojej systematyce analizy muzycznej Jean-Jacques Nattiez odwołuje się do teorii trójpodziału działania symbolicznego, stworzonej przez Jeana Molino⁷. Ten ostatni wyróżnił trzy poziomy analityczne: opisujący intencję nadawcy informacji, np. kompozytora (*poiesis*), skupiony na odczuciach estetycznych, emocjach odbiorcy informacji czyli słuchacza (*aisthesis*) oraz oparty na analizie informacji, np. zapisu muzycznego (poziom neutralny). Obliczeniowa analiza muzyczna skoncentrowana jest właśnie na poziomie neutralnym. Nie oznacza to całkowitego pominięcia dwóch pozostałych poziomów analitycznych, a raczej zdystansowanie się i badanie tekstu muzycznego niezależnie od nich. Pełna analiza dzieła opiera się na ustaleniu relacji między wszystkimi poziomami⁸.

Rozwój metod algorytmicznych doprowadził do tego, że przy pomocy programów komputerowych można uzyskać odpowiedzi na konkretne pytania analityczne i w sposób zautomatyzowany identyfikować zasady rządzące konstrukcją dzieła muzycznego. Metody obliczeniowe umożliwiają szczegółową analizę pojedynczych

prehensive reference tools, high quality data acquisition methods, sophisticated modeling techniques, and other innovations that make it far easier to collect, analyze and interpret musically-pertinent evidence and artifacts. There is hardly any area of music that cannot benefit from the increased resources, and from the ensuing opportunity to adopt more rigorous standards of evidence. This includes areas such as manuscript studies, poetics, history, iconography, analysis, performance, pedagogy, reception, esthetics and criticism, phenomenology, social and critical theory, cultural studies, cultural policy, media, and ethnology. Not all areas of music scholarship have, or will be touched by the expanding resources. Nor will speculative and creative music philosophy entirely lose its value. The changing landscape in musicology towards more empirical approaches is not a displacing of the humanities spirit by an antithetical scientific ethos. It is fundamentally a response to a clearer epistemological understanding of the role of methodology. Changing conditions simply allow us to be better music scholars, to embrace higher standards of evidence, and to be more acutely aware of the moral and esthetic repercussions of our knowledge claims, including claims that something is unknowable or that some phenomena ought not to be investigated. Our strongest criticisms should be levied at those who insist on speculative discourse when the resources are readily available to test such knowledge claims”.

5 Ibid.

6 Markus Neuwirth, Martin Rohrmeier, „Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein? Chancen und Herausforderungen musikalischer Korpusforschung”, *Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie* 13 (2016) nr 2, s. 171–193, <https://doi.org/10.31751/915>, dostęp 4 V 2023.

7 Eliza Krupińska, *Muzyka jako forma symboliczna. Strukturalna semiotyka dzieła muzycznego*, Kraków 2021, s. 61–88.

8 Ibid., s. 68.

utworów z uwzględnieniem wielu zależności niemożliwych do przeanalizowania przez człowieka, a także pracę z dużymi zbiorami danych. Ponadto, metody te są jednoznacznie zaprojektowane i powtarzalne, a ponieważ ich wyniki mają postać numeryczną, mogą być łatwo porównywane z innymi podejściami ilościowymi, a ich dokładność lub postęp zastosowanej metody mogą być w prosty sposób ewaluowane.

Możliwości wynikające ze stosowania metod obliczeniowych w badaniach muzykologicznych Volk, Wiering i Kranenburg podsumowali w następujący sposób:

Muzykologia obliczeniowa pomogła powiązać abstrakcyjne teorie muzyki z konkretnymi, zoperacjonalizowanymi analizami utworów muzycznych; pomogła wyjaśnić i zweryfikować dorozumianą wiedzę muzykologiczną oraz otworzyła nowe perspektywy badania materiału muzycznego w takich obszarach analizy muzycznej, którym muzykologia poświęcała mniej uwagi⁹.

Jednakże, pomimo tego, że podejście ilościowe do badań muzykologicznych otwiera szerokie spektrum nowych możliwości, zainteresowanie obliczeniową analizą muzyczną nadal jest nieproporcjonalne do oferowanej przez nią perspektywy.

U progu lat siedemdziesiątych Barry Vercoe zauważył, że powolny rozwój muzykologii obliczeniowej spowodowany jest między innymi niewystarczającą formalizacją teorii muzyki, która nie dostarcza spójnego zbioru reguł opisujących relacje między elementami muzycznymi, tak istotnych z punktu widzenia działania programu komputerowego¹⁰. Innym powodem była niechęć do stosowania metod ilościowych, które nie były powszechne w zakorzenionej głęboko w naukach humanistycznych muzykologii¹¹.

Wreszcie pod koniec XX w. wzrost zainteresowania digitalizacją zbiorów muzycznych w formatach odpowiednich do odczytu maszynowego (ang. *machine-readable data*)¹² stał się impulsem do opracowania metod obliczeniowych wspomagających przetwarzanie ogromnych ilości danych muzycznych i prowadzenia badań korpusowych. Digitalizacja utworów muzycznych doprowadziła do wyłonienia i rozwoju obszaru badawczego Music Information Retrieval (MIR), który koncentruje się na rozwoju metod i tworzeniu narzędzi do ekstrakowania zakodowanej informacji muzycznej, takiej jak np. wysokość, czas trwania dźwięku, funkcje harmoniczne,

9 A. Volk, F. Wiering, P. van Kranenburg, „Unfolding the Potential”, s. 139: „Computational musicology has helped linking abstract music theories with concrete, operationalised analyses of musical pieces; has helped to explicate and verify implicit musicological knowledge, and opened up new perspectives on the musical material in areas of music analysis that have received less attention within musicology”.

10 Barry Vercoe, „Review of *The Computer and Music*, by Harry B. Lincoln”, *Perspectives of New Music* 9/10 (1971), s. 323–330, <https://doi.org/10.2307/832150>, dostęp 4 V 2023.

11 John Morehen, Ian Bent, „Computer Applications in Musicology”, *The Musical Times* 120 (1979) nr 1637, s. 563–566, <https://www.jstor.org/stable/963094>, dostęp 4 V 2023.

12 Pod tym pojęciem rozumie się dane przedstawione w formacie, który może być przetwarzany przez komputer.

ale możliwości jest o wiele więcej¹³ – w zależności od celu badawczego, dane pozyskiwane są nie tylko z partytur muzycznych, lecz także z formatów dźwiękowych. Najogólniej rzecz ujmując, istotą badań MIR jest wyszukiwanie określonych cech charakterystycznych materiału muzycznego, poszukiwanie schematów, a następnie klasyfikowanie ich¹⁴. Ograniczeniem spowalniającym prowadzenie obliczeniowych badań muzykologicznych na szeroką skalę jest wciąż jeszcze stosunkowo niewielki zasób tak zdigitalizowanych zapisów muzycznych, które ze względu na możliwość zastosowanego precyzyjnego zakodowania złożonej informacji muzycznej byłyby możliwie jak najbardziej wiarygodnym materiałem badawczym¹⁵.

Coraz większa dostępność i różnorodność cyfrowych kolekcji muzycznych otwiera możliwości nowych badań, jednak sceptycyzm badaczy „tradycyjnych” wobec narzędzi typowych dla analizy obliczeniowej jest wciąż znaczny. Jak wynika z ankiety przeprowadzonej w grupie ponad sześciuset muzykologów¹⁶, niechęć do stosowania w muzykologii metod ilościowych wynika między innymi z obawy, że badania prowadzone na łatwo dostępnych dużych repozytoriach cyfrowych, dające znaczne szybsze rezultaty, mogą skłaniać do powierzchowności badań i preferowania źródeł cyfrowych, z pominięciem źródeł tradycyjnych¹⁷. Uczestnicy ankiety podkreślali także fakt, że nieregularna praca z narzędziami cyfrowymi skutkuje koniecznością każdorazowego przypominania sobie ich obsługi¹⁸. Ponadto, badania naukowców z niepokrewnych dziedzin nauki i leżąca u ich podstaw metodologia bardzo często są komunikowane w sposób hermetyczny, trudny do dogłębnego zrozumienia i zaadaptowania na innym, obcym dziedzinowo polu badawczym¹⁹. A przecież muzykologia obliczeniowa nie polega na prostej adaptacji

- 13 J. Stephen Downie, „Music Information Retrieval”, *Annual Review of Information Science and Technology* 37 (2003), s. 295–340.
- 14 Chantal Buteau, Christina Anagnostopoulou, „Can Computational Music Analysis Be Both Musical and Computational?”, *Journal of Mathematics and Music* 4 (2010) nr 3, s. 75–83.
- 15 Warto podkreślić, że choć istnieje wiele kolekcji muzycznych zakodowanych w formacie MIDI, to specyfika tego formatu, który np. uniemożliwia rozróżnienie dźwięków jednakowych pod względem enharmonicznym, bardzo ogranicza możliwość ich zastosowania w analizie muzycznej. Zdigitalizowane partytury w sposób jednoznaczny reprezentują wysokość, czas trwania dźwięku, ozdobniki, artykulację czy dynamikę. Te oraz szereg innych informacji możliwych do zakodowania w formatach takich jak np. Humdrum lub MusicXML stanowią rzetelną podstawę do analizy.
- 16 Charles Inskip, Frans Wiering, „In Their Own Words: Using Text Analysis to Identify Musicologists’ Attitudes Towards Technology”, w: *16th International Society for Music Information Retrieval Conference*, Conference Paper, Malaga 2015, <https://www.researchgate.net/publication/291096095>, dostęp 4 V 2023.
- 17 „Sugeruje się, że «łatwość dostępu do szerokiego zakresu materiałów zachęca do szybkiego studiowania ich oraz szybkiego podejmowania decyzji» (015), co może skutkować powierzchownym podejściem do prowadzenia badań. Istnieją również obawy, że fizyczne źródła mogą «zostać przeoczone» (319) wskutek «uprzywilejowania źródeł cyfrowych» (188)” („It is suggested that «immediacy of access to a wide range of material encourages a rapidity of response and decision» (015) which may lead to more superficial research and there are fears that physical objects may even «be overlooked» (319) leading to «privileging digital sources» (188)”), zob.: Ch. Inskip, F. Wiering, „In Their Own Words”.
- 18 Ibid.
- 19 Anja Volk, Aline Honingh, „Mathematical and Computational Approaches to Music: Challenges in an Interdisciplinary Enterprise”, *Journal of Mathematics and Music* 6 (2012) nr 2, s. 73–81, <https://doi.org/10.1080/17459737.2012.704154>, dostęp 4 V 2023.

metod typowych dla statystyki czy matematyki, tylko wiąże się z koniecznością odpowiedniego dostosowania ich do własnych potrzeb badawczych. Brak kompatybilności metod stosowanych przez badaczy z różnych dziedzin nauki może prowadzić do nieporozumień, ale także zmniejsza szanse na docenienie przydatności i potencjału jaki wykorzystanie danej metody mogłoby wnieść do rozwoju innej dziedziny²⁰.

Neuwirth i Rohrmeier poświęcili wiele uwagi krytyce, z jaką spotykają się w muzykologii metody obliczeniowe. Argumentują oni, że część negatywnych opinii nie dotyczy metod jako takich, lecz raczej odnosi się do upraszczającej natury badań korpusowych, lub jest wręcz bezzasadna²¹. Autorzy przypominają, że wykorzystanie metod ilościowych nie ma na celu wyparcia tradycyjnych metod jakościowych, a ich uzupełnienie i poszerzenie możliwości badawczych:

Powszechny w badaniach muzykologicznych o charakterze historycznym lub kulturoznawczym sceptycyzm wobec podejść ilościowych opiera się zasadniczo na obawie, że zastąpią one jakościowe podejścia hermeneutyczne i w przyszłości uczynią zbędnymi ludzkich analityków. [...] historycznie zróżnicowane, wrażliwe na kontekst „close reading” i zazwyczaj upraszczające „distant reading”²² nie wykluczają się, lecz produktywnie uzupełniają: „close reading” dostarcza hipotez, które mogą być testowane na dużych zasobach danych, „distant reading” z kolei dostarcza ważnych spostrzeżeń, na których można dodatkowo oprzeć szczegółową analizę poszczególnych przypadków²³.

Potencjał takich programów, jak przykładowo music21²⁴ czy Humdrum Toolkit²⁵, który wnoszą one do analizy formy muzycznej lub analizy porównawczej, jest bardzo

20 Ibid.

21 M. Neuwirth, „Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein?”, s. 171–193.

22 Franco Moretti, *Distant Reading*, London 2013, za: Markus Neuwirth, Martin Rohrmeier, „Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein? Chancen und Herausforderungen musikalischer Korpusforschung”, *Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie* 13 (2016) nr 2, s. 171–193, <https://doi.org/10.31751/915>, dostęp 4 V 2023.

23 „Die in der historisch oder kulturwissenschaftlich geprägten Musikforschung weitverbreitete Skepsis gegenüber quantitativen Ansätzen beruht im Kern auf der Befürchtung, diese würden qualitativ-hermeneutische Ansätze ersetzen und menschliche Analytiker*innen auf lange Sicht entbehrlich machen. Wie wir in diesem Beitrag zeigen möchten, schließen historisch differenzierendes, kontextsensitives «close reading» und tendenziell vergrößerndes «distant reading». sich nicht aus, sondern ergänzen einander auf produktive Weise: «close reading» liefert Hypothesen, die sich auf einer breiteren Datenbasis überprüfen lassen; «distant reading» dagegen liefert wichtige Erkenntnisse, auf die sich detaillierte Einzelfallanalyse zusätzlich stützen kann”, w: M. Neuwirth, M. Rohrmeier, „Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein?”, s. 174.

24 Michael Scott Cuthbert, „music21: a Toolkit for Computer-Aided Musicology”, <https://web.mit.edu/music21/>, dostęp 22 I 2021.

25 David Huron, „The Humdrum Toolkit for Computational Music Analysis”, <https://www.humdrum.org>, dostęp 22 I 2021.

duży²⁶, ale, jak pokazują Warwick, Terras, Huntington, Pappa²⁷, trudność w dostępie do źródeł cyfrowych²⁸, niedostateczna wszechstronność narzędzi i nieintuicyjny interfejs mogą zniechęcić potencjalnych użytkowników. Ci ostatni poza prostotą obsługi programów oczekują także łatwości manipulacji danymi, która zależy od formatu, w jakim dane są przedstawione. To właśnie format zapisu danych determinuje możliwości ewentualnej dalszej pracy nad wybranym materiałem w innym środowisku. Jednak autorzy oprogramowania często koncentrują się bardziej na realizacji zadania, do którego narzędzie zostało zaprojektowane, niż na ocenie jego przyjęcia i wykorzystania przez użytkowników²⁹. Jak pisze Christine Borgman:

Brak skonkretyzowanej, niezbędnej do prowadzenia cyfrowych badań infrastruktury w naukach humanistycznych jest tylko jednym z wielu wyzwań, którym należy sprostać w rozwoju tej dziedziny. Dopóki narzędzia analityczne i ich obsługa nie staną się bardziej wyrafinowane, solidne, przejrzyste i łatwe w użyciu dla zmotywowanych badaczy nauk humanistycznych, trudno będzie przyciągnąć szerokie grono zainteresowanych w ramach społeczności humanistycznej³⁰.

Koncepcja „data science” – interdyscyplinarnego połączenia statystyki, analizy danych i informatyki – zasługuje na stałe włączenie do badań muzykologicznych, jednak oprócz odpowiednich narzędzi i metod wspomagających tradycyjne badania konieczne jest jeszcze wypracowanie metodologii skoncentrowanej na użytkowniku, zapewniającej przejrzystą obsługę programów, wyświetlania i wyszukiwania danych.

Cyfrowe narzędzia do analizy muzyki generują różnego rodzaju statystyki dotyczące np. rozkładu interwałów czy ambitusu linii melodycznej, w sposób zauto-

26 Co ciekawe, NIFC w współpracy z profesorem Craigiem Stuartem Sappem z Uniwersytetu Stanforda stworzył m.in. cyfrowe edycje pierwodruków chopinowskich w formacie Humdrum (<https://chopinscores.org>), które można przeszukiwać według wysokości dźwięków, interwałów lub rytmu, porównywać różne edycje tego samego utworu oraz wyświetlić analizę. Ostatnio pod kierownictwem dr. Marcina Konika ukończony został kolejny projekt „Polish Music Heritage in Open Access”, zob.: <https://polishscores.org>, <https://github.com/pl-wnifc/humdrum-polish-scores>, dostęp 17 V 2023.

27 Claire Warwick, Melissa Terras, Paul Huntington, Nikoleta Pappa, „If you build it will they come? The LAIRAH Study: Quantifying the Use of Online Resources in the Arts and Humanities through Statistical Analysis of User Log Data”, *Literary and Linguistic Computing* 23 (2008) nr 1, s. 85–102.

28 Dostęp do obu wspomnianych programów jest bezpłatny i bezproblemowy, jednak sam proces instalacji, szczególnie programów dodatkowych, pozwalających np. w music21 na eksport danych do arkuszy kalkulacyjnych, nie jest prosty.

29 Susan Schreibman, Ann M. Hanlon, „Determining Value for Digital Humanities Tools: Report on a Survey of Tool Developers”, *Digital Humanities Online* 4 (2010) nr 2, <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/4/2/000083/000083.html>, dostęp 18 XI 2021.

30 Christine L. Borgman, „The Digital Future is Now: A Call to Action for the Humanities”, *Digital Humanities Quarterly* 3 (2009) nr 4, <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/3/4/000077/000077.html>, dostęp 21 XI 2021: „The invisibility of essential infrastructure for digital scholarship in the humanities is but one of many challenges to be addressed in growing the field. Until analytical tools and services are more sophisticated, robust, transparent, and easy to use for the motivated humanities researcher, it will be difficult to attract a broad base of interest within the humanities community”.

matyzowany wizualizują je na wykresach, wykrywają powtarzające się schematy, identyfikują sekwencje harmoniczne. Dzięki temu analiza dużych korpusów muzycznych jest uproszczona, jednak ustalenie relacji pomiędzy podzbiorami korpusu, jak również różnymi elementami utworów muzycznych nadal bywa trudne. Wynika to między innymi z tego, że generowane wyniki analizy obliczeniowej, czy to w postaci tabel z danymi, czy jako gotowe wykresy, są statyczne³¹.

W odpowiedzi na postulat Cooka³², wzywający muzykologów do większego zaangażowania w rozwój muzykologii obliczeniowej, proponuję zharmonizowanie tradycyjnej praktyki analitycznej z analizą obliczeniową przy wykorzystaniu metody diagramatycznej. Jej istotą jest wytworzenie wiedzy w trakcie projektowania diagramów oraz dzięki przeprowadzonemu w oparciu o nie wnioskowaniu. Odwołanie się do diagramatyki wynika z mojego przekonania, iż interaktywna wizualna eksploracja informacji uzyskanych w wyniku analizy (rozumiana jako proces wizualnego łączenia ich ze sobą, poszerzania kontekstu analitycznego, rekonfigurowania diagramów) powinna być traktowana jako krytyczna część procesu badawczego. Taki rodzaj interakcji z danymi czyni analizę obliczeniową przystępniejszą i umożliwia harmonijne zaimplementowanie jej do codziennej praktyki badawczej „tradycyjnych” muzykologów.

Symboliczne dane muzyczne, jeżeli zostaną zaprezentowane na różnego rodzaju diagramach, stają się częścią procesu epistemicznego. Sybille Krämer i Christina Ljungberg twierdzą, że hybrydowe połączenia słowa i obrazu wyzwalają kreatywność i jest to jeden z powodów, dla których myślenie za pomocą diagramów (będących takimi hybrydowymi reprezentacjami) stanowi fundamentalną semiotyczną podstawę ludzkiego poznania³³. Filozofka, w zgodzie z ideą Charlesa Sandersa Peirce’a, przypomina, że poznanie wymaga ikoniczności, a diagramy zgodnie z klasyfikacją przedstawioną przez logika stanowią jedną z podkategorii ikon (obok obrazów i metafor). W przypadku diagramów relacja pomiędzy znaczącym (fr. *signifiant*) i znaczoną (fr. *signifié*) oparta jest na podobieństwie strukturalnym. Według Valerii Giardino rozumowanie diagramatyczne jest efektywne ze względów kognitywnych (diagra-

31 Oznacza to, że w celu porównania np. rozkładu interwałów w dwudziestu utworach z wybranego korpusu należy wygenerować dwadzieścia wykresów i porównać je ze sobą. Nakładanie na jedną płaszczyznę dwudziestu wykresów również jest możliwe, jednak późniejsze ich rozczytanie jest bardzo problematyczne. Obie metody są czasochłonne, a precyzyjny odczyt danych, który jest dopiero punktem wyjścia do formułowania hipotez, jest utrudniony. Istnieją oczywiście także metody umożliwiające dokonania porównania w inny sposób np. mierząc odległości pomiędzy wektorowymi obiektami w przestrzeni analitycznej, jednakże ich zastosowanie wymaga innego rodzaju kompetencji.

32 Nicholas Cook, „Towards the Complete Musicologist”, w: *6th International Conference on Music Information Retrieval*, London 2005, <https://ismir2005.ismir.net/documents/Cook-CompleatMusicologist.pdf>, dostęp 4 V 2023.

33 Sybille Krämer, Christina Ljungberg, „Thinking and Diagrams – An Introduction”, w: *Thinking with Diagrams. The Semiotic Basis of Human Cognition*, red. Sybille Krämer, Christina Ljungberg, Berlin 2016, s. 1–20.

my przedstawiając informację w przestrzeni redukują czas niezbędny do wyszukania potrzebnej informacji) oraz kulturowych (ich interpretacja tekstualna powinna być uzupełniona o wiedzę kontekstową³⁴).

Pojęcie diagramatyki (lub diagramatologii, według terminologii wprowadzonej przez Stjernfelta)³⁵ oznacza projektowanie i przetwarzanie wiedzy w relacji z diagramami i może być rozumiane na dwa sposoby: jako analiza „bottom-up” informacji przedstawionych za pomocą diagramów, albo jako analiza „top-down” konkretnych diagramów w oparciu o ogólne założenia teoretyczne diagramatyki. Pierwsze podejście jest rozumiane jako teoria własności diagramów, drugie zaś jako proces epistemologiczny, który zachodzi podczas tworzenia diagramów³⁶. Z tym drugim podejściem współgra rozumowanie diagramatyczne zaproponowane przez Peirce’a³⁷.

34 Valeria Giardino, „Behind the Diagrams: Cognitive Issues and Open Problems”, w: *Thinking with Diagrams*, s. 77–102.

35 Frederik Stjernfelt, *Diagrammatology. An Investigation on the Borderlines of Phenomenology, Ontology, and Semiotics*, New York 2007, s. 425.

36 „W rzeczywistości pytanie to dotyczy zasadniczego rozróżnienia w badaniu przedmiotu. Można rozwiać projekt diagramatyczny albo (a) od *rozważań nad konkretnymi diagramami*. Albo rozważania o konkretnych diagramach można wyprowadzić (b) z teoretycznych *przesłanek ogólnej diagramatyki*. W pierwszym przypadku w myśl analizy *oddolnej*, projekt rozwijany jest z analizy konkretnych diagramów. W drugim przypadku diagramatyka opisuje *odgórnie* ogólną procedurę projektowania diagramów oraz proces epistemologiczny, które towarzyszą procesowi tworzenia diagramów (oraz innych konfiguracji znakowych). Różnica między tymi dwoma podejściami zależy od tego, co chce się za pomocą diagramów badać. Podczas gdy w pierwszym przypadku diagramatyka oznacza teorie własności, które, zgodnie z powszechnym rozumieniem, związane są z materialnie zrealizowanymi strukturami diagramatycznymi, w drugim przypadku pierwszoplanowy jest proces epistemologiczny, który związany jest przede wszystkim z mentalnie zrealizowanym rozumowaniem diagramatycznym. O ile w pierwszym przypadku przedmiotem zainteresowania badawczego jest historia i estetyka klasy obrazów i znaków – «diagram», o tyle w drugiej perspektywie chodzi o wiedzę, która wytwarzana jest w procesie poznawczym zwanym «diagramatyką» („Tatsächlich berührt diese Frage eine Grundsatzunterscheidung in der Beschäftigung mit dem Thema. Es ist möglich, das Projekt einer Diagrammatik entweder (a) von der *Betrachtung konkreter Diagramme* her zu entwickeln. Oder man kann die Betrachtung konkreter Diagramme (b) aus den theoretischen *Prämissen einer allgemeinen Diagrammatik* ableiten. Im ersten Fall wird die Diagrammatik *bottom up* aus der Analyse ihrer Manifestationen in Diagrammen gewonnen. Im zweiten Fall beschreibt die Diagrammatik *top down* ein allgemeines Entwurfs- und Erkenntnisverfahren, das in Diagrammen (und noch anderen Zeichenkonfigurationen) zur Anwendung kommt. Der Unterschied zwischen beiden Zugangsweisen liegt in dem, was man mit einer Diagrammatik erforschen möchte: Während die Diagrammatik im ersten Fall eine Theorie von Eigenschaften darstellt, die sich dem gängigen Verständnis nach an materiell realisierte diagrammatische Strukturen knüpfen, steht im zweiten Fall ein erkenntnistheoretischer Prozess im Vordergrund, welcher sich vorrangig mit mental realisierten diagrammatischen Schlussfolgerungen verbindet. Bildet in der ersten Variante die Geschichte und Ästhetik der Bild- und Zeichenklasse «Diagramm» den Gegenstand des Forschungsinteresses, geht es in der zweiten Perspektive um das Wissen, das ein als «Diagrammatik» bezeichnetes Entwurfs- und Erkenntnisverfahren hervorbringt”), zob. w: Matthias Bauer, Christoph Ernst, *Diagrammatik. Einführung in ein kultur- und medienwissenschaftliches Forschungsfeld*, Bielefeld 2010, s. 16–17.

37 *Ibid.*, s. 21.

Standardowa klasyfikacja rozumowania zależy od tego, czy wniosek jest w pełni, czy częściowo uzasadniony założeniami³⁸. Pierwsza kategoria nazywana jest rozumowaniem eksplikacyjnym (*explicative reasoning*) i posługuje się argumentami dedukcyjnymi, druga, zwana rozumowaniem amplitatywnym (*ampliative reasoning*), opiera się na argumentach indukcyjnych³⁹.

Peirce podzielił rozumowanie dedukcyjne na dwie kategorie: rozumowanie o następstwach⁴⁰ (*corollarial reasoning*) i rozumowanie teoremiczne (*theorematic reasoning*). W przypadku rozumowań pierwszego rodzaju, przesłanki do wnioskowania przedstawione są na diagramie i na podstawie jego obserwacji, takiego jakim jest, stwierdza się prawdziwość wniosku. W rozumowaniu teoremicznym, przedstawivszy warunki wnioskowania w postaci diagramu, przeprowadza się eksperyment na diagramie i poprzez obserwację tak zmodyfikowanego diagramu stwierdza prawdziwość wniosku⁴¹.

We wnioskowaniu amplitatywnym wyróżnia Peirce indukcję enumeracyjną (*enumerative induction*) i wnioskowanie abdukcyjne (*abductive reasoning*). W indukcji enumeracyjnej wnioskuje się o całą populację na podstawie występowania charakterystycznej cechy w pewnej próbie populacji, zaś istotą rozumowania abdukcyjnego jest tworzenie odkrywczych idei⁴². Teoria abdukcji ewoluowała od wczesnej teorii sylogistycznej, gdzie dedukcja, indukcja i abdukcja były traktowane jako trzy różne klasy rozumowań⁴³, do teorii inferencyjnej, w której były one postrzegane jako trzy stadia jednej metody badawczej, przy czym cały proces wyzwała abdukcja⁴⁴.

Abdukcja jest procesem formowania hipotezy wyjaśniającej. [...] Dedukcja dowodzi, że coś musi być; indukcja pokazuje, że coś faktycznie funkcjonuje; Abdukcja jedynie sugeruje, że coś może być. Jej jedynym uzasadnieniem jest to, że z jej sugestii dedukcja może

38 „Standardowa klasyfikacja argumentacji wygląda tak: istnieją dwa rodzaje rozumowań, eksplikacyjne i amplitatywne, w zależności od tego, czy wniosek jest w pełni, czy częściowo poparty przez przesłanki. Argumenty dedukcyjne należą do pierwszej z tych kategorii, a indukcyjne do drugiej kategorii” („A standard classification of arguments goes like this: There are two kinds of reasoning, explicative and ampliative, depending on whether the conclusion is fully or partially supported by the premises. Deductive arguments belong to the first and inductive to the second category”), w: Sun-Joo Shin, „The Role of Diagrams in Abductive Reasoning”, w: *Thinking with Diagrams*, s. 57–76, <https://doi.org/10.1515/9781501503757-003>, dostęp 4 V 2023.

39 Ibid.

40 Mariusz Urbański, *Rozumowania abdukcyjne. Modele i procedury*, Poznań 2009, s. 16.

41 Charles S. Peirce, „Critical Logic. Part B. Ampliative Reasoning”, w: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce [1866–1913]*, t. 2, *Elements of Logic*, red. Charles Hartshorne, Paul Weiss, Cambridge 1932, § 267.

42 William H. Davis, *Peirce's Epistemology*, The Hague 1972, s. 29.

43 Ángel Nepomuceno-Fernández, Fernando Soler-Toscano, Fernando R. Velázquez-Quesada, „The Fundamental Problem of Contemporary Epistemology”, *Teorema: Revista Internacional de Filosofía* 33 (2014) nr 2, s. 89–103.

44 M. Urbański, *Rozumowania abdukcyjne*, s. 20.

wyprowadzić przewidywanie, które indukcja może sprawdzić, i że jeśli w ogóle możemy się czegoś kiedykolwiek nauczyć lub zrozumieć zjawiska, to można to osiągnąć jedynie poprzez abdukcję⁴⁵.

Peirce twierdził, że dla myślenia konkluzyjnego istotne są diagramy⁴⁶ i wiązał rozumowanie diagramatyczne z abdukcją. Koncepcja diagramatyki opiera się na przekonaniu, że klasa znaków ikonicznych diagramu jest metaforycznym wzorcem (i także diagramem samym w sobie) myślenia inferencyjnego⁴⁷. Metaforyczność diagramów objawia się tym, iż reprezentacje te, obrazując fizyczne sytuacje, jednocześnie przekazują abstrakcyjne informacje⁴⁸. Jak to podsumowuje Stjernfelt:

[...] ogólny obraz procesu rozumowania diagramatycznego jest taki, że tworzy on formalny rdzeń rozumowania dedukcyjnego, osadzony z każdej strony w metodzie prób i błędów prób abdukcyjnych i testów indukcyjnych⁴⁹.

Abdukcja jest immanentną cechą myślenia diagramatycznego. Celem przedstawianego projektu jest zatem skonstruowanie kombinacji *dashboardów* analitycznych (zbiorów graficznych reprezentacji danych) umożliwiających użytkownikowi wykonywanie na nich działań w duchu rozumowania abdukcyjnego.

OPIS PROJEKTU

W celu przetestowania potencjału wykorzystania interaktywnej diagramatycznej analizy w badaniach muzykologicznych przeprowadzono obliczeniową analizę muzyczną fug Jana Sebastiana Bacha BWV 846–869, z pierwszego tomu preludium i fug z *Das Wohltemperierte Klavier*, z wykorzystaniem narzędzi Humdrum Tools⁵⁰

45 „Abduction is the process of forming an explanatory hypothesis. [...] Deduction proves that something must be; Induction shows that something actually is operative; Abduction merely suggests that something may be. Its only justification is that from its suggestion deduction can draw a prediction which can be tested by induction, and that, if we are ever to learn anything or to understand phenomena at all, it must be by abduction that this is to be brought about”, Charles S. Peirce, „Lectures on Pragmatism. Lecture VI: Three Types of Reasoning”, w: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce [1866–1913]*, t. 5, *Pragmatism and Pragmaticism*, red. Charles Hartshorne, Paul Weiss, Cambridge 1934, § 171.

46 „Maps, schemata and diagrams allow us to describe processes and take decisions. Cognition involves iconicity, as Peirce has shown, since icons, which include mental images, can produce new insight. This is what makes thinking with diagrams indispensable to human cognition”, w: S. Krämer, *Thinking with Diagrams*. s. 13.

47 M. Bauer, *Diagrammatik*, s. 64.

48 Alan Frank Blackwell, „Metaphor in Diagrams”, University of Cambridge 1998 (dysertacja doktorska), s. 1.

49 „To sum up, the overall picture of the diagrammatic reasoning process is that it forms a formal deductive reasoning core, embedded, on each side, in the trial-and-error of abductive trials and inductive tests”, F. Stjernfelt, *Diagrammatology*, s. 105.

50 David Huron, „Humdrum Tools”, <https://www.humdrum.org/tool/>, dostęp 22 I 2021.

oraz Music Processing Suite⁵¹, a jej wyniki zwizualizowano w programie Tableau Public⁵².

Wybór powyższych narzędzi informatycznych został podyktowany tym, że obsługa żadnego z nich nie wymaga znajomości języków programowania, ich opanowanie jest możliwe dla badaczy niezaawansowanych w posługiwaniu się technologią. Co ważne, są one dostępne w domenie publicznej. W przypadku Humdrum (**kern) istotna jest też intuicyjność składni, elastyczność tego formatu i możliwość przypisania informacji analitycznej do każdego dźwięku. Prowadzenie analiz muzycznych w programie Music Processing Suite (MPS) nie wymaga żadnego przygotowania technicznego: po instalacji i wczytaniu pliku w formacie MusicXML lub MIDI można wygenerować raport z analizy, z zestawem gotowych wykresów opisujących cechy muzyczne (przykładowo rozkład rytmiczny czy interwałowy, analiza harmoniczna). Dane wyjściowe generowane są jako raport w formacie PDF, ale również zapisywane w formacie .csv, dzięki czemu w prosty sposób można je dalej przekształcać. Ponieważ żaden z powyższych programów nie oferuje zautomatyzowanej anotacji funkcji harmonicznnych zgodnie z teorią stopni (ang. *roman numeral analysis*), ta została przeprowadzona z wykorzystaniem oprogramowania music21. Wszystkie obliczenia statystyczne oparto na partyturach muzycznych z biblioteki KernScores⁵³, zakodowanych w formacie Humdrum **kern.

Obecna realizacja projektu przystosowana jest do analizy na dwóch poziomach: *close reading* – szczegółowej analizy pojedynczego utworu muzycznego, oraz *distant reading* – analizy porównawczej dowolnie wybranej liczby utworów muzycznych z korpusu. Szczegółowa analiza dla każdej fugi przeprowadzona została na dashboardach⁵⁴ poświęconych melodyce, rytmice i harmonii. Analiza porównawcza, poza uogólnionymi informacjami dotyczącymi tychże aspektów, porównuje dodatkowo utwory na podstawie częstości wystąpień akordów⁵⁵, a także różnorodności akordów w poszczególnych utworach.

Wygląd diagramów zmienia się w zależności od zastosowanych filtrów, dzięki czemu zwizualizowane informacje analityczne mogą być rozpatrywane w szerokim lub wąskim zakresie oraz różnym kontekście (przykład zastosowania filtrów na il. 1 poniżej).

51 David M. Hofmann, „Music Processing Suite: A Software System for Context-based Symbolic Music Representation, Visualization, Transformation, Analysis and Generation”, Hochschule für Musik Karlsruhe 2018 (dysertacja doktorska); David Pace [David M. Hofmann], „Music Processing Suite”, <https://www.musicprocessing.net/>, dostęp 21 I 2022.

52 „Tableau Public”, <https://public.tableau.com/en-us/s/>, dostęp 22 I 2021.

53 Craig Stuart Sapp, „Kern Scores”, <http://kern.ccarh.org/>, dostęp 21 I 2021.

54 https://public.tableau.com/app/profile/anna.m8322/viz/WTC_Dashboard_2022/D1-MAIN, dostęp 15 VI 2023.

55 Odbywa się to z wykorzystaniem różnych typowych dla analizy statystycznej współczynników podobieństw: podobieństwa cosinusowego, indeksu Jaccarda i ważonego indeksu Jaccarda, zob.: Lisna Zahrotun, „Comparison Jaccard Similarity, Cosine Similarity and Combined Both of the Data Clustering with Shared Nearest Neighbor Method”, *Computer Engineering and Applications* 5 (2016) nr 1, s. 11–18.



Il. 1. Widok dashboardu z analizą melodyczną *Fugi C-dur*, BWV 846 J.S. Bacha

Diagramy na każdym z dashboardów są ze sobą sprzężone, tzn. ingerencja w postać jednego z nich skutkuje rekonfiguracją pozostałych, a wyświetlone dane liczbowe zostają automatycznie przeliczone. Na dashboardie głównym, poświęconym analizie melodycznej, przedstawiony jest wykres, na którym na podstawie analizy przeprowa-

dzanej przez Siglind Bruhn⁵⁶, a potraktowanej przeze mnie jako analiza referencyjna, zostały pokazane wszystkie wystąpienia tematów i kontrapunktów oraz łączniki. Dzięki temu podstawą filtrowania danych mogą być nie tylko wybrane kombinacje głosów fug czy fragmenty muzyczne, ale także elementy formy muzycznej.

Widoczne dane mogą być przekształcane i wzbogacane o informacje dodatkowe (do wyboru na panelu sterowania po lewej stronie dashboardu), wyświetlane zarówno graficznie, jak i liczbowo na sprzężonych ze sobą reprezentacjach diagramatycznych. Każdy wykres opatrzony jest ikoną przycisku informacyjnego ze szczegółowym opisem osi, przedmiotu wykresu oraz nazwy narzędzia wykorzystanego do ekstrakcji danych. Zakodowane informacje są przedstawione w różnych formatach graficznych, co stymuluje abdukcję i tym samym jest jednym z czynników ułatwiającym znalezienie drogi do konkluzji⁵⁷. Ponadto, również możliwość przekształcania diagramów, obserwowania ich z różnych punktów widzenia, dowolnego łączenia i filtrowania sprzyja twórczemu rozumowaniu, a w konsekwencji stwarza korzystne warunki do generowania hipotez abdukcyjnych. Informacje prezentowane na poszczególnych diagramach uzupełniają się wzajemnie, dzięki czemu zapewniony jest rdzeń rozumowania dedukcyjnego. Możliwość powtórzenia dowolnej konfiguracji na różnych dostępnych w bazie utworach daje możliwość sprawdzenia hipotezy wyjaśniającej na drodze indukcji, co nie byłoby tak proste do uzyskania w analizie tradycyjnej.

INTERAKTYWNE ROZWIĄZANIA PRZEZWYCIEŻAJĄCE NIEKTÓRE PROBLEMY ANALIZY KOMPUTEROWEJ

Podstawową różnicą między tą ostatnią a wspomaganą komputerowo analizą obliczeniową jest materiał badawczy⁵⁸, którego odmienna postać wymaga różnych metodologii. Jednym z ograniczeń obliczeniowej analizy jest fakt, że dane wejściowe do programu muszą być precyzyjnie zdefiniowane przed jej rozpoczęciem. Badacz „tradycyjny” może w toku analizy na bieżąco reagować, zmieniać swoje decyzje, koncentrować się na innym z badanych aspektów, zmieniać założenia. Taka swoboda działania nie jest możliwa w przypadku analizy z wykorzystaniem narzędzi cyfrowych, co wynika ze specyfiki ich funkcjonowania: zakodowana informacja, która jest później analizowana, jest kodem binarnym, a wszelkie modyfikacje w zastosowanej

56 Siglind Bruhn, *J.S. Bachs Wohltemperiertes Klavier Analyse und Gestaltung*, Waldkirch 2013, s. 61–324.

57 „What helps us to perform abduction more successfully? We realized that there is no set menu for the search process and creative and ingenious work is needed. [...] I claim that different forms of representation could make a difference in steering our mind to find a right step”, w: S.-J. Shin, „The Role of Diagrams”.

58 Utwór muzyczny w postaci zakodowanej dla celów analizy muzycznej jest swojego rodzaju interpretacją wyjściowego zapisu dzieła, ponieważ jego postać zależy od możliwości, jakie oferuje wybrany język kodowania.



Il. 2. Uproszczony widok dashboardu analizy rytmicznej *Fugi C-dur*, BWV 846 J.S. Bacha

procedurze badawczej wymagają ponownego przygotowania danych wejściowych, co jest czasochłonne i kłopotliwe.

Proponowana przeze mnie metoda umożliwi dowolne definiowanie zakresu analizy, a także możliwość wprowadzenia zmian na każdym etapie procesu myślowego. Wyboru tegoż dokonuje się na różne sposoby: za pomocą „suwaków” można wybrać dowolny przedział taktów, filtry wybierane z listy umożliwiają wybór dowolnej kombinacji głosów, a ręczne zaznaczanie elementów formy muzycznej widocznych na wykresie *Subject and Countersubject Analysis* umożliwia wybieranie fragmentów muzycznych oraz elementów budowy formalnej utworów, takich jak np. temat, kontrapunkt, łącznik⁵⁹.

Na il. 1 na s. 106 przedstawiony został widok dashboardu ukazującego przebieg melodyczny *Fugi C-dur*, BWV 846. Po zastosowaniu filtrów, jego zakres został ograniczony do wyświetlania dwóch głosów, S₄ i S₃ (S od *spine*, zgodnie z nomenklaturą Humdrum, co w przypadku fugi czterogłosowej oznacza dwa najwyższe głosy). Wykres *Subject and Countersubject Analysis* pokazuje wystąpienia tematów kontra-

59 Analiza budowy formalnej utworu, w aktualnej wersji projektu, pochodzi z dwóch źródeł: może to być analiza referencyjna przeprowadzona przez Siglind Bruhn lub analiza dokonana na podstawie obliczeń algorytmu. Możliwość zmiany danych na wykresie *Subject and Countersubject Analysis* pozwala na wykorzystanie dashboardów aktualnie zaadaptowanych do ewaluacji analizy komputerowej, do porównania analiz dokonanych przez różnych muzykologów.

punktów (łącznie z ich modyfikacjami: w raku, inwersji, augmentacji, dyminucji, formie skróconej); dodatkowo można wyświetlić łączniki i kadencje. Wykres słupkowy *Melodic Interval Analysis* po prawej stronie zawiera informacje o liczbie wystąpień interwałów melodycznych w kierunku wznoszącym i opadającym (z informacją, jaki jest udział danego interwału w wybranym fragmencie i całym utworze). Widoczny w części dolnej wykres *Piano Roll* zawierają informację o wysokości dźwięków (wyrażoną w zapisie diatonicznym) i czasie ich trwania, można na nim opcjonalnie wyświetlić dysonanse oraz akordy występujące w danym punkcie utworu⁶⁰. Dane wejściowe można dowolnie dostosowywać do potrzeb badawczych, informacje mogą zostać ukryte, ale nie zmienione, a rekonfiguracja dowolnego diagramu skutkuje automatycznym przeliczeniem statystyk na wszystkich wykresach na danym dashboardie analitycznym⁶¹.

Jednym z problemów mogących powodować sceptycyzm wobec metod analizy obliczeniowej jest fakt, że skupia się ona zazwyczaj na odpowiedzi na konkretne pytanie analityczne lub na wybranym aspekcie. Analiza ukontekstowana wymaga zatem kilku kroków analitycznych (często wykonywanych w różnych programach), a następnie porównywania różnych statycznych wykresów, co jest kłopotliwe, ale przede wszystkim nieprecyzyjne. Tymczasem w proponowanym rozwiązaniu każdy dashboard przeznaczony jest do innego elementu analizy muzycznej i składa się z kilku sprzężonych ze sobą diagramów⁶², dzięki czemu zawarte w nich informacje uzupełniają się wzajemnie i tworzą podstawę do rozumowania dedukcyjnego. Możliwość precyzyjnego filtrowania danych daje badaczowi szczegółowy wgląd w zadowoloną informację muzyczną, a wartości numeryczne mogą być odczytane zarówno na osiach diagramów, jak i wyświetlone poprzez ustawienie kursora na wybranym punkcie diagramu. Przykładowe rozwiązanie zaprezentowane zostało na uproszczonym widoku dashboardu rytmicznego (zob. il. 2, s. 108).

Zawiera on dwie reprezentacje diagramatyczne – po lewej stronie znajduje się wykres *Note Duration Distribution*, przedstawiający rozkład wartości rytmicznych w utworze, głosie lub wybranym fragmencie, natomiast wykres *Note Duration Distribution per Beat*, umieszczony po prawej stronie, uzupełnia informację o kontekst

60 Legenda danych widocznych na *Piano Roll* wyświetlona jest na białej etykiecie widocznej na il. 1, w części przedstawiającej wygląd danych po zastosowaniu wybranych filtrów.

61 Dokładniejszy opis możliwej pracy z konkretnymi dashboardami oraz przykładowy schemat tworzenia hipotezy abdukcyjnej zob.: Anna Matuszewska, Christoph Seibert, „Diagrammatic Analysis of J.S. Bach's The Well-Tempered Clavier Fugues, BWV 846–851”, w: *Music Encoding Conference Proceedings*, Alicante 2021, https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/123680/1/proceedings_book_mec21-bookmarks-159-166.pdf, dostęp 4 V 2023.

62 Dane analityczne do sporządzenia diagramów pochodzą z różnych programów do skomputeryzowanej analizy muzycznej, więc ich reprezentacja jest różna. Na potrzeby projektu dane wyjściowe konkurencyjnych softwarów zostały ze sobą zunifikowane. Celem było nie tylko wygenerowanie analiz i udostępnienie ich w jednym miejscu, lecz także jak najlepsze wykorzystanie możliwości dostępnych cyfrowych narzędzi.

metryczny. Dodatkowo każdy z wykresów zawiera informację o udziale procentowym wybranej wartości rytmicznej w analizowanym fragmencie utworu⁶³.

Ostatnim ograniczeniem dotyczącym analizy muzycznej z wykorzystaniem narzędzi cyfrowych, na którego przezwyciężenie w projekcie został zaproponowany sposób, jest brak kompleksowości. Pomimo coraz większego zainteresowania analizą obliczeniową i zróżnicowanych podejść badawczych, nie wszystkie elementy dzieła muzycznego mogą być dokładnie opisane za pomocą jednego narzędzia cyfrowego. Jako przykład posłużyć może analiza harmonii funkcyjnej, bardzo utrudniona głównie przez to, że każda zmiana tonacji lub wystąpienie modulacji prowadzących do powstania w utworze nowych tonacji lokalnych reorganizuje hierarchię ustaloną w odniesieniu do tonacji głównej utworu. Pomimo wielu prób automatycznego wyznaczania tonacji lokalnych (Steedman i Longuet-Higgins⁶⁴, Holtzman⁶⁵, Temperley⁶⁶, Sapp⁶⁷, Madsen i Widmer⁶⁸, Nápoles López et al.⁶⁹, Feisthauer et al.⁷⁰), wrażliwość detekcji dostępnych algorytmów na wykrywanie modulacji w przypadku złożonej faktury muzycznej nie zawsze jest wystarczająca. Co więcej, nie opracowano dotychczas takiej automatycznej analizy funkcji harmonicznnych w połączeniu z detekcją modulacji, której efektywność byłaby zadowalająca. Chcąc dokonać analizy harmonicznnej w sposób automatyczny, należałoby połączyć ze sobą różne narzędzia analityczne.

W przedstawianym rozwiązaniu wykorzystane zostały dane wyjściowe z analizy tonacji lokalnych z użyciem cyfrowego narzędzia mkeyscape⁷¹, bazującego na algorytmie Krumhansl i Kesslera⁷². Informację o tonacjach lokalnych (*distant reading*) połączono z analizą funkcji harmonicznnych (*close reading*) w celu zapewnienia badaczom możliwie wyczerpującej informacji analitycznej niezbędnej do stawiania hipotez badawczych. Analiza harmonii funkcyjnej została przeprowadzona przy użyciu dwóch funkcji pro-

63 Można to odczytać z białej etykiety widocznej w prawym dolnym rogu na il. 2.

64 Christopher Longuet-Higgins, Mark Steedman, „On Interpreting Bach”, *Machine Intelligence* 6 (1971), s. 221–241.

65 Steven R. Holtzman, „A Program for Key Determination”, *Journal of New Music Research* 6 (1977), s. 29–56.

66 David Temperley, „What’s Key for Key? The Krumhansl-Schmuckler Key-finding Algorithm Reconsidered”, *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* 17 (1999) nr 1, s. 65–100, <https://doi.org/10.2307/40285812>, dostęp 4 V 2023.

67 Craig Stuart Sapp, „Visual Hierarchical Key Analysis”, *Computers in Entertainment* 3 (2005): s. 1–19.

68 Søren Tjagvad Madsen, Gerhard Widmer, „Key-finding with Interval Profiles”, w: *International Computer Music Conference*, Copenhagen 2007, <https://www.ofai.at/~soren.madsen/pub/icmc07.pdf>, dostęp 4 V 2023.

69 Néstor Nápoles López, Arthur Claire, Ichiro Fujinaga, „Key-finding Based on a Hidden Markov Model and Key Profiles”, w: *International Workshop on Digital Libraries for Musicology*, Delft 2019, <https://napulen.github.io/media/justkeydding/napoles19key.pdf>, dostęp 4 V 2023.

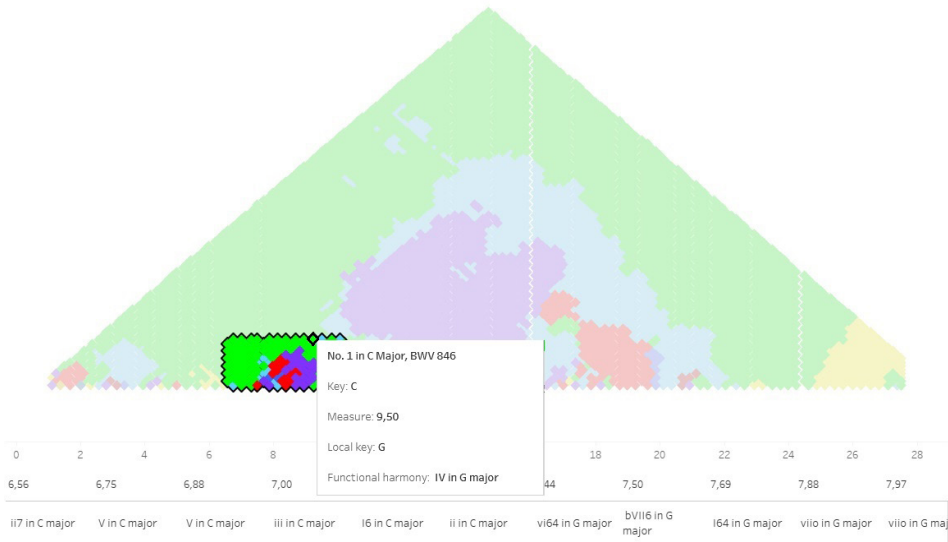
70 Laurent Feisthauer, Louis Bigo, Mathieu Giraud, Florence Levé, „Estimating Keys and Modulations in Musical Pieces”, w: *Sound and Music Computing Conference (SMC 2020)*, red. Simone Spagnol, Andrea Valle, Torino 2020, <https://hal.science/hal-02886399/file/2020-smc-modulations.pdf>, dostęp 4 V 2023.

71 Craig Stuart Sapp, „mkeyscape manpage”, <http://extras.humdrum.org/man/mkeyscape/>, dostęp 21 I 2021.

72 Carol Krumhansl, „Cognitive Foundations of Musical Pitch”, Oxford 1990 (= Oxford Psychology Series 17), s. 81–96.

gramu music21: chordify i RomanNumeral. Granice tonacji lokalnych obliczono automatycznie i porównano z wybraną analizą referencyjną przeprowadzoną przez Dürra, w której zaznaczone zostały tonacje poszczególnych wystąpień tematu⁷³. Il. 3. obrazuje efekt połączenia wspomnianych cyfrowych narzędzi. Przedstawiony wykres stanowi jedynie fragment dashboardu poświęconego analizie harmoniczej⁷⁴.

Mkeyscape diagram



Il. 3. Fragment dashboardu analizy harmoniczej – wykres mkeyscape dla *Fugi C-dur*, BWV 846 J.S. Bacha

Powyższa wizualizacja, typowa dla analizy mkeyscape, obrazuje zmiany tonacji lokalnych za pomocą barw. Tonacjom przypisane są kolory – informacja wraz z legendą wyświetla się w postaci etykiety. Wierzchołek trójkąta przedstawia wynik obliczenia tonacji dla całego utworu; patrząc w dół, widzimy wyniki analizy przeprowadzanej dla coraz to mniejszych jego fragmentów⁷⁵. Po ręcznym zaznaczeniu na wykresie wybranego zakresu taktów lub fragmentu sekwencji barw, pod wykresem pojawiają się wyniki analizy harmonii funkcyjnej dla każdego punktu w tym fragmencie (wyświetlona informacja mówi o tym, jaka jest tonacja lokalna i funkcja harmoniczna w danym miejscu utworu). Dzięki połączeniu danych wyjściowych

73 Alfred Dürr, *Johann Sebastian Bach. Das Wohltemperierte Klavier*, Kassel 2008, s. 101–325.

74 Dashboardy poświęcone analizie harmoniczej zawierają również informację o rozkładzie akordów w utworze, rozkładzie akordów przypadających na każdą miarę taktową, liczbie segmentów muzycznych w trybie dur i moll oraz informację o dwudziestu najbardziej popularnych bigramach (parach następujących po sobie akordów).

75 Craig Stuart Sapp, „Computational Methods for the Analysis of Musical Structure”, Stanford University 2011 (dysertacja doktorska), s. 90–104.

różnych oprogramowań, dostosowaniu i ujednoczeniu ich reprezentacji wyjściowych, możliwe było przedstawienie wyników skomputeryzowanej analizy harmonii na poziomie *close i distant reading*.

WNIOSKI

Przejsie od muzykologii tradycyjnej do obliczeniowej wiąże się z koniecznością zastosowania niespecyficznych dla tej dyscypliny metod ilościowych oraz zaprojektowania modeli badawczych, które mogłyby wykrywać i opisywać elementy formy muzycznej. Największym wyzwaniem dla muzykologów, ale także największą potrzebą dla rozwoju muzykologii obliczeniowej, jest konieczność współpracy interdyscyplinarnej muzykologów i informatyków. Paradoks polega na tym, że z jednej strony dostępne są narzędzia cyfrowe do analizy muzyki, których zastosowanie umożliwia dokonanie wielu obliczeń niemożliwych do przeprowadzenia bez wykorzystania komputerów oraz przeanalizowanie w krótkim czasie ogromnej ilości danych muzykologicznych, ale z drugiej strony wyniki wygenerowanych analiz same w sobie są bardzo obszerne i trudne do interpretacji⁷⁶.

Jest oczywiste, że wraz z rozwojem zdigitalizowanych narzędzi badacze pracujący obecnie metodami tradycyjnymi będą potrzebowali programów, które umożliwią im wgląd w udostępniony materiał. Niektórzy muzykolodzy podejmują starania prowadzące do stworzenia graficznych interfejsów ułatwiających pracę z narzędziami cyfrowymi⁷⁷, jednak wciąż za mało refleksji poświęca się formatowi, w jakim prezentowane są dane wyjściowe, oraz konieczności stworzenia środowiska do łączenia ze sobą różnorodnych analiz. Celem rozwoju dziedziny powinno być zatem nie tylko uwrażliwienie muzykologów na możliwości, jakie podejście obliczeniowe wnosi do badań, ale również, a może przede wszystkim, uproszczenie wyszukiwania informacji muzycznej poprzez opracowanie graficznych interfejsów skoncentrowanych na potrzebach użytkowników.

Zastosowanie koncepcji diagramatyki w badaniach naukowych przynosi korzyści poznawcze i redefiniuje proces wnioskowania. Głównym celem przedstawionego projektu jest stworzenie środowiska do eksperymentowania z wynikami analiz fug Bacha wygenerowanych za pomocą metod obliczeniowych. Wykorzystanie koncepcji rozumowania diagramatycznego oraz możliwość różnorodnej interakcji z zaproponowanymi diagramami ma być czynnikiem wyzwalającym formułowanie nowych

76 Szczególnie dlatego, że software'y do analizy opartej na cyfrowych partyturach muzycznych nie pozwalają na kompleksową, dogłębną analizę dzieła muzycznego. Konieczne jest pozyskiwanie informacji z różnych źródeł, a następnie dostosowywanie różnych reprezentacji i ich unifikacja.

77 Anna-Marie Orloff, Maximiliane Windl, Lydia Güntner, Thomas Schmidt, „Towards a Graphical User Interface for Quantitative Analysis in Digital Musicology”, w: *Mensch und Computer 2019 – Workshopband*, Bonn 2019, <https://doi.org/10.18420/muc2019-ws-568>.

hipotez badawczych. Wykorzystane w poszczególnych dashboardach różne formaty prezentacji danych i możliwość dynamicznego rekonfigurowania ich według potrzeb użytkownika, wyzwalają kreatywność badacza w poszukiwaniu konkluzji. Połączenie wizualnego i tekstowego wyświetlania danych sprawia, że diagramatyczna reprezentacja jest szczególnie efektywna.

Zastosowana w projekcie metoda analizy interaktywnej eliminuje niektóre niedogodności analizy obliczeniowej, mogące potencjalnie zniechęcać badaczy. Dostępność wyboru dodatkowych opcji umożliwia wgląd w formę muzyczną z różnych perspektyw i stwarza przestrzeń do eksploracji zgodnie z rozumowaniem abdukcyjnym, co czyni dashboardy narzędziami kreatywnymi, wyzwalającymi krytyczne myślenie. Narzędzia komputerowe sprawdzają się dobrze w przypadku precyzyjnie sformułowanych pytań, a celem ich zastosowania jest możliwie najpełniejsze wyjaśnienie konkretnego zjawiska. Bezpośrednia interakcja z danymi muzykologicznymi oraz możliwość przekształcania zaproponowanych diagramów w kolejne pozwala na generowanie nieschematycznych pytań badawczych, wynikających z możliwości przetwarzania informacji będącej wynikiem analiz. Proponowane podejście do przetwarzania i wizualizacji symbolicznych danych muzycznych ułatwia zrozumienie pojedynczego utworu muzycznego oraz zbiorów muzycznych, w związku z czym hipotezy wyjaśniające wywiedzione dla jednego utworu mogą być zastosowane do innych utworów z korpusu. Ponadto, hipoteza wygenerowana dla wybranego zakresu może być udowodniona dedukcyjnie, ponieważ eksploracja wszystkich zaproponowanych wykresów daje szczegółowy przegląd wybranego aspektu, a zmiana zakresu analizy stwarza warunki do jej indukcyjnego przetestowania. Prostota obsługi interfejsu sprawia, że proponowana metoda analizy jest pragmatyczna i łatwa do zaimplementowania w codziennej praktyce.

Projekt interaktywnej diagramatycznej analizy muzycznej ma niewątpliwie potencjał dalszego wielokierunkowego rozwoju. Aktualnie obrana ścieżka pozwala na dokładną ewaluację wyników analizy obliczeniowej oraz na zestawienie jej z analizą przeprowadzoną metodą tradycyjną. W najbliższej perspektywie warto poświęcić uwagę także algorytmicznemu wykrywaniu powtarzających się schematów (rytmicznych, melodycznych i rytmiczno-melodycznych) oraz możliwości ich wizualizacji.

BIBLIOGRAFIA

- Baroni, Mario, Simon Maguire, William Drabkin. „The Concept of Musical Grammar”. *Music Analysis* 2, nr 2 (1983): 175–208, <https://doi.org/10.2307/854248>.
- Bauer, Matthias, Christoph Ernst. *Diagrammatik. Einführung in ein kultur- und medienwissenschaftliches Forschungsfeld*. Bielefeld: transcript Verlag, 2010.
- Blackwell, Alan Frank. „Metaphor in Diagrams”. Dysertacja doktorska, University of Cambridge, 1998.

- Borgman, Christine L. „The Digital Future is Now: A Call to Action for the Humanities”. *Digital Humanities Quarterly* 3, nr 4 (2009), <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/3/4/000077/000077.html>, dostęp 21 XI 2021.
- Bruhn, Siglind. *J.S. Bachs Wohltemperiertes Klavier Analyse und Gestaltung*. Waldkirch: Edition Gorz, 2013.
- Buteau, Chantal, Christina Anagnostopoulou. „Can Computational Music Analysis Be Both Musical and Computational?”. *Journal of Mathematics and Music* 4, nr 3 (2010): 75–83.
- Cook, Nicholas. „Towards the Complete Musicologist”. W: *6th International Conference on Music Information Retrieval*, London 2005, <https://ismir2005.ismir.net/documents/Cook-CompleatMusicologist.pdf>, dostęp 4 V 2023.
- Cuthbert, Michael Scott. „music21: a Toolkit for Computer-Aided Musicology”, <https://web.mit.edu/music21/>, dostęp 22 I 2021.
- Davis, William H. *Peirce's Epistemology*. The Hague: Martinus Nijhoff, 1972.
- Downie, J. Stephen. „Music Information Retrieval”. *Annual Review of Information Science and Technology* 37 (2003): 295–340.
- Dürr, Alfred. *Johann Sebastian Bach. Das Wohltemperierte Klavier*. Kassel: Bärenreiter-Werkeinführungen, 2008.
- Feisthauer, Laurent, Louis Bigo, Mathieu Giraud, Florence Levé. „Estimating Keys and Modulations in Musical Pieces”. W: *Sound and Music Computing Conference (SMC 2020)*, red. Simone Spagnol, Andrea Valle. Torino 2020, <https://hal.science/hal-02886399/file/2020-smc-modulations.pdf>, dostęp 4 V 2023.
- Giardino, Valeria. „Behind the Diagrams: Cognitive Issues and Open Problems”. W: *Thinking with Diagrams. The Semiotic Basis of Human Cognition*, red. Sybille Krämer, Christina Ljungberg, 77–102. Berlin: De Gruyter Mouton, 2016.
- Heckmann, Harald. „Elektronische Datenverarbeitung in Musikdokumentation und Musikwissenschaft. Eine Einleitung”. W: *Elektronische Datenverarbeitung in der Musikwissenschaft*, red. Harald Heckmann, VII–XVII. Regensburg: Gustav Bosse Verlag, 1967.
- Hoffmann, David. „Music Processing Suite”. <https://www.musicprocessing.net/>, dostęp 21 I 2021.
- Hofmann, David M. „Music Processing Suite: A Software System for Context-based Symbolic Music Representation, Visualization, Transformation, Analysis and Generation”. Dysertacja doktorska, Hochschule für Musik Karlsruhe, 2018.
- Holtzman, Steven R. „A Program for Key Determination”. *Journal of New Music Research* 6 (1977): 29–56.
- Huron, David. „The Humdrum Toolkit for Computational Music Analysis”. <https://www.humdrum.org>, dostęp 22 I 2021.
- Huron, David. „Humdrum Tools”. <https://www.humdrum.org/tool/>, dostęp 22 I 2021.
- Huron, David. *The New Empiricism: Systematic Musicology in a Postmodern Age*. Berkeley: Ernest Bloch Lecture, 2009.
- Inskip, Charles, Frans Wiering. „In Their Own Words: Using Text Analysis to Identify Musicologists' Attitudes Towards Technology”. W: *16th International Society for Music Information Retrieval Conference*, Malaga 2015, <https://www.researchgate.net/publication/291096095>, dostęp 4 V 2023.
- Jänicke, Stefan, Greta Franzini, Muhammad Faisal Cheema, Gerik Scheuermann. „On Close and Distant Reading in Digital Humanities: A Survey and Future Challenges”. W: *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)*, 2015, <https://www.researchgate.net/publication/282156818>, dostęp 4 V 2023.

- Krämer, Sybille, Christina Ljungberg. *Thinking with Diagrams. The Semiotic Basis of Human Cognition*. Berlin: De Gruyter Mouton, 2016.
- Krumhansl, Carol. *Cognitive Foundations of Musical Pitch*. Oxford: Oxford University Press, 1990 (= Oxford Psychology Series 17)..
- Krupińska, Eliza. *Muzyka jako forma symboliczna. Strukturalna semiotyka dzieła muzycznego*. Kraków: Wydawnictwo UNUM, 2021.
- Longuet-Higgins, Christopher, Mark Steedman. „On Interpreting Bach”. *Machine Intelligence* 6 (1971): 221–241.
- Madsen, Søren Tjagvad, Gerhard Widmer. „Key-finding with Interval Profiles”. W: *International Computer Music Conference*, Copenhagen 2007, <https://www.researchgate.net/publication/253466703>, dostęp 4 V 2023.
- Matuszewska, Anna, Christoph Seibert. „Diagrammatic Analysis of J.S. Bach's The Well-Tempered Clavier Fugues, BWV 846–851”. W: *Music Encoding Conference Proceedings*, Alicante 2021, https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/123680/1/proceedings_book_mec21-bookmarks-159-166.pdf, dostęp 4 V 2023.
- Morehen, John, Ian Bent. „Computer Applications in Musicology”. *The Musical Times* 120, nr 1637 (1979): 563–566, <https://www.jstor.org/stable/963094>, dostęp 4 V 2023.
- Nápoles López, Néstor, Arthur Claire, Ichiro Fujinaga. „Key-finding Based on a Hidden Markov Model and Key Profiles”. W: *International Workshop on Digital Libraries for Musicology*, Delft 2019, <https://napulen.github.io/media/justkeydding/napoles19key.pdf>, dostęp 4 V 2023.
- Nepomuceno-Fernández, Ángel, Fernando Soler-Toscano, Fernando R. Velázquez-Quesada. „The Fundamental Problem of Contemporary Epistemology”. W: *Teorema: Revista Internacional de Filosofía* 33, nr 2 (2014): 89–103.
- Neuwirth, Markus, Martin Rohrmeier. „Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein? Chancen und Herausforderungen musikalischer Korpusforschung”. *Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie* 13, nr 2 (2016): 171–193, <https://doi.org/10.31751/915>, dostęp 4 V 2023.
- Ortloff, Anna-Marie, Maximiliane Windl, Lydia Güntner, Thomas Schmidt. „Towards a Graphical User Interface for Quantitative Analysis in Digital Musicology”. W: *Mensch und Computer 2019 – Workshopband*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2019, <https://doi.org/10.18420/muc2019-ws-568>.
- Peirce, Charles S., „Critical Logic. Part B. Ampliative Reasoning”. W: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce [1866–1913]*. T. 2, *Elements of Logic*, red. Charles Hartshorne, Paul Weiss, 267. Cambridge: Harvard University Press, 1932.
- Peirce, Charles S., „Lectures on Pragmatism. Lecture VI: Three Types of Reasoning”. W: *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce [1866–1913]*. T. 5, *Pragmatism and Pragmaticism*, red. Charles Hartshorne, Paul Weiss, 171. Cambridge: Harvard University Press 1934.
- Sapp, Craig Stuart. „Computational Methods for the Analysis of Musical Structure”. Dysertacja doktorska, Stanford University, 2011.
- Sapp, Craig Stuart. „Kern Scores”. <http://kern.ccarh.org/>, dostęp 21 I 2021.
- Sapp, Craig Stuart. „mkeyscape manpage”. <http://extras.humdrum.org/man/mkeyscape/>, dostęp 21 I 2021.
- Sapp, Craig Stuart. „Visual Hierarchical Key Analysis”. *Computers in Entertainment* 3 (2005): 1–19.
- Shaffer, Kris. „What is Computational Musicology?”. <https://kshaffer.github.io/2016/01/computational-musicology/>, dostęp 10 XI 2022.

- Selleck, John, Robert Bakeman. „Procedures for the Analysis of Form: Two Computer Applications”. *Journal of Music Theory* 9, nr 2 (1965): 281–293.
- Shin, Sun-Joo. „The Role of Diagrams in Abductive Reasoning”. W: *Thinking with Diagrams: The Semiotic Basis of Human Cognition*, red. Sybille Krämer, Christina Ljungberg, 57–76. Berlin: De Gruyter Mouton, 2016.
- Stjernfelt, Frederik. *Diagrammatology. An Investigation on the Borderlines of Phenomenology, Ontology, and Semiotics*. New York: Springer, 2007.
- Tableau Software. „Tableau Public”. <https://public.tableau.com/en-us/sl>, dostęp 22 I 2021.
- Temperley, David. „What’s Key for Key? The Krumhansl-Schmuckler Key-finding Algorithm Reconsidered”. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* 17, nr 1 (1999): 65–100, <https://doi.org/10.2307/40285812>, dostęp 4 V 2023.
- Urbański, Mariusz. *Rozumowania abdukcyjne. Modele i procedury*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM, 2009.
- Warwick, Claire, Melissa Terras, Paul Huntington, Nikoleta Pappa. „If you build it will they come? The LAIRAH Study: Quantifying the Use of Online Resources in the Arts and Humanities through Statistical Analysis of User Log Data”. *Literary and Linguistic Computing* 23, nr 1 (2008): 85–102.
- Vercoe, Barry. „Review of *The Computer and Music* by Harry B. Lincoln”. *Perspectives of New Music* 9/10 (1971): 323–330, <https://doi.org/10.2307/832150>.
- Volk, Anja, Aline Honingh. „Mathematical and Computational Approaches to Music: Challenges in an Interdisciplinary Enterprise”. *Journal of Mathematics and Music* 6, nr 2 (2012): 73–81, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17459737.2012.704154>, dostęp 4 V 2023.
- Volk, Anja, Frans Wiering, Peter van Kranenburg. „Unfolding the Potential of Computational Musicology”. W: *Proceedings of the 13th International Conference on Informatics and Semiotics in Organisations*, 137–144. Leeuwarden: Fryske Akademy, 2011.
- Zahrotun, Lisna. „Comparison Jaccard Similarity, Cosine Similarity and Combined Both of the Data Clustering with Shared Nearest Neighbor Method”. *Computer Engineering and Applications* 5, nr 1 (2016): 11–18.

APPLICATION OF DIAGRAMMATICS IN COMPUTATIONAL MUSIC ANALYSIS

Musical repositories recorded in various digital formats are being created and developed with ever increasing intensity. This situation opens up wide research possibilities, but also places demands on musicologists, who need to learn how to work with large databases using digital tools. These tools facilitate searching large musical collections and prove more and more effective in musical analysis. Though many solutions have already been proposed in this field, there is still room for greater coordination of research perspectives derived from musicology and computer science, which can make the results of computational analyses more clear, comprehensible, and flexibly processable. Musicologists’ needs should also be addressed by creating interfaces specially designed for music analysis.

The paper aims to present new methods of processing, presenting, and analysing musicological data. Selected musical information from Johann Sebastian Bach’s fugues

BWV 846–869, generated by means of *Humdrum Tools*, *music21* and *Music Processing Suite* (MPS) software, has been transformed into a relational database and visualised by means of so-called dashboards (sets of graphic data representations) using the Tableau Public software. Interactive solutions applied in this process have been designed so as to make computational analyses possibly intuitive and easily adaptable. The proposed analytic dashboards do not impose rigid working methods on researchers. The presented data can be reconfigured. Analysis of the selected piece of music can be restricted to any combination of parts, motifs, or set of measures, making both general and detailed exploration of the material possible. The project has been designed on the principles of diagrammatic reasoning proposed by Charles Sanders Peirce. The multiplicity of additional user-adaptable options creates conditions for the generation of abductive hypotheses.

Translated by Tomasz Zymer

Słowa kluczowe / keywords: muzykologia obliczeniowa / computational musicology, interaktywna analiza muzyczna / interactive music analysis, diagramatyka / diagrammatics

Anna Maria Matuszewska ukończyła instrumentalistykę w Akademii Muzycznej w Gdańsku, technologię chemiczną na Politechnice Warszawskiej oraz studia doktoranckie „Humanistyka Cyfrowa” w Instytucie Badań Literackich PAN. Dzięki finansowaniu DAAD, w ramach programu *Bi-national betreute Promotion*, przygotowuje rozprawę doktorską w Institut für Musikinformatik und Musikwissenschaft, Hochschule für Musik Karlsruhe. Do obszarów jej zainteresowań należą: muzykologia cyfrowa, semiotyka muzyki, humanistyka cyfrowa, diagramatyka.
an.ma.matuszewska@gmail.com

NOWOŚĆ WYDAWNICZA INSTYTUTU SZTUKI PAN

Adolf Chybiński – Ludwik Bronarski
Korespondencja 1922–1952

tom II, 1941–1952

opracowanie, wstęp i komentarze Małgorzata Sieradz

zamówienia: wydawnictwo@ispan.pl
