

CYFROWE
GENEROWANIE
PARTYTUR
KOMPOZYCJI
FRYDERYKA
CHOPINA

Do niniejszej publikacji tekst został przyjęty w trybie *double blind review process*.

Wprowadzenie

W latach 60. XX wieku zaczęto tworzyć partytury muzyczne za pomocą komputerów, wyznaczając tym samym początek nowej dziedziny, która od tamtej pory znacząco się rozwinęła. Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci doskonalono oprogramowanie przede wszystkim po to, by osiągnąć wysokiej jakości wydruk, przeważnie zapisany w formatach PostScript lub PDF. Mimo znaczących osiągnięć potencjał rozwoju tej gałęzi nadal pozostaje ogromny.

Jak dotąd w komputerowym generowaniu partytur muzycznych usilnie starano się naśladować dawne techniki drukarskie, w których podstawową jednostką organizacji materiału jest strona. Zastosowanie cyfrowych narzędzi nie zmieniło zatem ostatecznej formy prezentacji składów nutowych: strona współczesnej edycji stworzonej za pomocą ogólnodostępnego komputerowego edytora nutowego wygląda niemal identycznie jak strona wydrukowana przy użyciu technik rytowniczych w XVIII czy litografii w XIX wieku. Nie zmienił się też nierozzerwalny związek graficznego układu nut ze z góry zdefiniowanym formatem arkusza papieru. Choć rezultaty takiego podejścia są godne podziwu, a automatyzacja części procesów wbudowana w oprogramowanie znacząco przyspiesza proces tworzenia składów muzycznych, istnieją możliwości wykorzystania nowatorskich technologii i innowacyjnych metodologii, by rozwinąć tę dziedzinę jeszcze bardziej, zlikwidować pierwotne ograniczenia edycji muzycznych i zredefiniować zapis, udostępnianie i wykorzystanie partytur.

Jednym z aspektów wymagających udoskonalenia jest dostosowanie technik przygotowywania partytur nutowych do potrzeb cyfrowych wyświetlaczy i zastosowań w mediach interaktywnych. Wraz z rozwojem tabletów, czytników e-booków i innych urządzeń elektronicznych rośnie zapotrzebowanie na zapis muzyczny, który płynnie dopasuje się do cyfrowych nośników, do ich rozmiarów, rozdzielczości i proporcji ekranów. Optymalizacja ta umożliwi muzykom korzystanie z różnorodnych urządzeń, nie powodując przy tym pogorszenia czytelności i estetyki partytury. Wymaga ona jednak znacznej zmiany paradygmatu działania narzędzi do tworzenia partytur pod względem elastyczności wyjściowego layoutu i dostosowywania graficznego układu strony do proporcji i rozmiarów niekoniecznie zgodnych z typowymi wymiarami drukowanej notacji

muzycznej. Oznacza to również, że proces generowania notacji muzycznej musi być wystarczająco szybki, by reagować na zmiany układu i zapewnić wyświetlanie graficznego adjustowanego zapisu nutowego niemalże w czasie rzeczywistym.

Dostosowanie metod generowania partytur nutowych do potrzeb cyfrowych wyświetlaczy i aplikacji interaktywnych było kluczową motywacją dla stworzenia biblioteki Verovio o otwartym kodzie źródłowym (*open-source*), renderującej notację muzyczną. Ta przełomowa inicjatywa pozwoliła zrewolucjonizować podejście do wyświetlania zapisu muzycznego w urządzeniach elektronicznych i aplikacjach. Odchodząc od konwencjonalnych założeń, wedle których kod źródłowy odpowiedzialny za generowanie graficznej notacji muzycznej był wbudowany w konkretne aplikacje komputerowe i internetowe, twórcy Verovio zdecydowali się na wszechstronną i użyteczną formę biblioteki oprogramowania. Takie nastawienie otworzyło niezliczone możliwości – generowanie graficznych partytur muzycznych jest obecnie dostępne i możliwe do wdrożenia w różnorodnych środowiskach i projektach cyfrowych.

Zastosowanie uogólnionej architektury biblioteki sprawiło, że Verovio nie podlega ograniczeniom specyficznych platform czy frameworków. Dzięki temu stało się ono uniwersalnym narzędziem dla programistów całego spektrum oprogramowania. Verovio jest tak elastyczne, że gdziekolwiek zostanie wykorzystane – czy to w aplikacjach stacjonarnych i mobilnych, czy na platformach internetowych, czy nawet systemach wbudowanych – gwarantuje bezproblemową prezentację zapisu nutowego. Ponadto optymalizacja wydajności Verovio zapewnia efektywny proces renderowania także najbardziej skomplikowanych partytur i przyjemne doświadczenie użytkownika niezależnie od urządzenia.

Istotną siłą napędową rozwoju Verovio jest projekt Music Encoding Initiative (MEI), zapoczątkowany przez Perry'ego Rolanda w pierwszej dekadzie XXI wieku. MEI czerpało inspirację z działalności Text Encoding Initiative (TEI), zwłaszcza od chwili, gdy w ramach tego projektu jako podstawową technologię kodowania przyjęto format XML. Opierając się na solidnych fundamentach formatu XML, MEI zapewniło efektywne przechowywanie, udostępnianie i przetwarzanie zapisu muzycznego w różnorodnych aplikacjach i na rozmaitych platformach.

XML jest obecnie jednym z najbardziej rozpowszechnionych formatów wymiany danych. Są one przechowywane w zhierarchizowanej, zagnieżdżonej strukturze nazywanej drzewem, którego element nadrzędny danego poziomu może zawierać dowolną liczbę elementów podrzędnych. Z kolei każdy element może mieć wartość i atrybuty. W poniższym schemacie elementy zostały oznaczone kolorem czarnym, atrybuty – zielonym, a wartości – czerwonym:

```

<rodzina>
  <matka wiek="29">M</matka>
  <ojciec wiek="33">O</ojciec>
  <dzieci>
    <syn wiek="8">S1</syn>
    <syn wiek="6">S2</syn>
    <córka wiek="4">C1</córka>
  </dzieci>
</rodzina>

```

Na tej samej zasadzie zbudowany jest zapis kompozycji w formacie MEI – element nadrzędny reprezentuje całą kompozycję, natomiast zapisana jest w formie partytury, która składa się z kolejnych taktów. W każdym takcie zawarto partie kilku instrumentów, które z kolei składają się z nut:

```

<utwór>
  <partytura>
    <takt nr="1">
      <instrument nazwa="głos">
        <nuta wysokość="c" wartość="cała nuta">
      </instrument>
      <instrument nazwa="fagot">
        <nuta wysokość="c" wartość="półnuta">
        <nuta wysokość="c" wartość="półnuta">
      </instrument>
    </takt>
    <takt nr="2">
      ...
    </takt>
    ...
  </partytura>
</utwór>

```

MEI to niejedyny system cyfrowej notacji muzycznej wykorzystujący format XML, jednak tym, co go wyróżnia, są dążenie do całkowitej niezależności kodowania od jakichkolwiek aplikacji (ang. *application-agnostic*) oraz priorytetyzacja semantyki zapisu muzycznego. Stanowi to kluczowy aspekt koncepcji stojącej za projektem formatu. Dzięki wspomnianej niezależności od aplikacji MEI promuje współdziałanie między różnymi oprogramowaniami muzycznymi i ułatwia programistom tworzenie narzędzi obsługujących pliki w tym formacie. Z kolei koncentracja na znaczeniu zapisu muzycznego (w przeciwieństwie do jego graficznej formy) zwiększa dokładność i wszechstronność odwzorowania muzyki, umożliwiając bardziej inteligentne przetwarzanie, analizę i interpretację partytur za pomocą narzędzi programistycznych i algorytmów.

Dostosowanie Verovio do reguł wytyczonych przez Music Encoding Initiative zapewnia nie tylko zgodność, ale i synergię z szeroką społecznością zajmującą się notacją muzyczną. Integracja obsługi formatu MEI w bibliotece oprogramowania umożliwi bezproblemową pracę nad nowymi edycjami, a także korzystanie z bogatej palety ustandaryzowanych partytur publikowanych przez członków i współpracowników społeczności MEI. Dzięki adaptacji zasad rządzących oprogramowaniem o otwartym kodzie źródłowym Verovio buduje także dynamiczną i kolektywną społeczność programistów. Otwartość twórców na współpracę zachęca użytkowników i programistów o różnych specjalnościach do aktywnego wkładu w rozwój Verovio oraz wyrażania opinii na temat jego funkcjonalności, co z kolei prowadzi do nieustannego doskonalenia i rozbudowywania biblioteki o nowe możliwości. Taką inicjatywą zewnętrzną było na przykład wprowadzenie obsługi danych w formacie Humdrum.

Format Humdrum to najstarszy wciąż szeroko używany format cyfrowej symbolicznej notacji muzycznej – zaprojektowany na początku lat 80. XX wieku przez Davida Hurona, profesora Ohio State University. Zapisane w nim informacje muzyczne są uporządkowane i zsynchronizowane pod względem kryterium czasowego. To sprawia, że Humdrum sprawdza się doskonale w kodowaniu kompozycji wielogłosowych lub wielowarstwowych. W odróżnieniu od większości cyfrowych systemów zapisu muzycznego zapis Humdrum jest dwuwymiarowy. W przypominającym tabelę kodzie muzycznym każda z kolumn (ang. *spine*) oddaje plan horyzontalny (melodyczny) utworu, z kolei rzędy tabeli przedstawiają zjawiska muzyczne występujące w tym samym czasie, czyli plan wertykalny (harmoniczny). Humdrum jest więc formatem najbliższej związany z notacją nutową. Dzięki temu stosunkowo łatwo przyswoić jego zasady użytkownikom, którzy nie mają wykształcenia technicznego lub doświadczenia w tym zakresie. Wraz z systemem notacji Humdrum powstał także zestaw narzędzi komputerowych pozwalających na przekształcenia, przeszukiwanie pod kątem parametrów muzycznych, takich jak melodia czy rytm, a także analizę muzyczną kompozycji zapisanych w tym formacie. Zarówno format notacji, jak i narzędzia programistyczne Humdrum są wciąż rozwijane, przede wszystkim przez profesora Uniwersytetu Stanforda Craiga Sappa w ramach działalności Center for Computer Assisted Research in the Humanities tej uczelni. Przez dziesięciolecia nie było możliwości wygenerowania graficznej partytury muzycznej na podstawie zapisu Humdrum, dlatego też format ten stosowany był przede wszystkim do potrzeb analitycznych. Wbudowanie interpretatora Humdrum w bibliotekę Verovio sprawiło, że znajduje on aktualnie zastosowanie w kolejnych cyfrowych projektach prezentujących nie tylko dane muzyczne i wyniki analiz, ale także graficzne partytury.

Połączenie możliwości formatu cyfrowej notacji muzycznej Humdrum i biblioteki Verovio stało się podstawą jednej z gałęzi

projektu „Dziedzictwo Chopinowskie w otwartym dostępie”, prowadzonego przez Narodowy Instytut Fryderyka Chopina w latach 2017–2021 w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa i finansowanego ze środków unijnych. Celem projektu była digitalizacja i udostępnienie online szeroko pojętego dziedzictwa Fryderyka Chopina, na które – obok rękopiśmiennych i drukowanych przekazów muzyki – składają się także zachowane po kompozytorze pamiątki i korespondencja, okołochopinowskie zbiory ikonograficzne, dokumenty kontekstualne, w tym bogata kolekcja XIX-wiecznej prasy francuskiej, monografie naukowe z przełomu XIX i XX wieku, a także archiwum nagrań z Międzynarodowego Konkursu Pianistycznego im. Fryderyka Chopina. Digitalizacja pierwotnych kompozycji Chopina miała głębszy wymiar niż w przypadku pozostałych obiektów. Oprócz wysokiej rozdzielczości cyfrowych reprodukcji źródeł muzycznych zakodowano również ich treść muzyczną, stosując w tym celu właśnie format Humdrum. Dzięki temu po raz pierwszy cała muzyczna spuścizna Fryderyka Chopina mogła stać się przedmiotem skomputeryzowanej analizy muzycznej, czego przykładem może być zautomatyzowana analiza tonalna według algorytmu – opisanego przez Carol L. Krumhansl i Marka Schmucklera¹ – oraz jej wizualizacje, schematyczne przedstawienie faktury czy wreszcie w pełni automatyczne porównywanie wariantów źródłowych tej samej kompozycji. Zakodowanie utworów Chopina w formacie Humdrum umożliwiło też stworzenie pełnotekstowej wyszukiwarki muzycznej, przeszukującej repertuar chopinowski pod kątem melodii, rytmu czy też następstw interwałów². Publikacja cyfrowych edycji nutowych nie byłaby jednak wystarczająco przydatna i atrakcyjna bez prezentacji graficznych partytur w formie czytelnej dla muzyków i badaczy. Wymagało to jednak rozbudowy oprogramowania Verovio i dostosowania go do potrzeb notacji muzyki fortepianowej, co z wielu względów okazało się procesem niełatwym.

Niniejszy artykuł ma na celu opisanie najtrudniejszych problemów i wyzwań, jakie stawały w trakcie trwania projektu przed edytorami cyfrowych edycji nutowych oraz programistami odpowiedzialnymi za rozwój formatów Humdrum i MEI, narzędzi edycji kodu muzycznego i biblioteki Verovio generującej zapis graficzny. Zdecydowana większość przedstawionych problemów została rozwiązana, czego dowodem niech będą przykłady nutowe, wygenerowane automatycznie przez oprogramowanie Verovio, które zostały zaprezentowane w dalszej części artykułu wraz z oryginalnym zapisem źródłowym. Wciąż pozostaje wiele aspektów, w których nowoczesne, w pełni zautomatyzowane sposoby renderowania graficznych partytur ustępują metodom, które przewidują ingerencje redaktora w ostateczny wygląd składów nutowych. Wskazano je w końcowej części publikacji, z nadzieją, że i te problemy zostaną rozwiązane przez twórców oprogramowania i formatów cyfrowych zapisu muzycznego raczej prędzej niż później.

1
Por. Carol L. Krumhansl, *Cognitive Foundations of Musical Pitch*, Nowy Jork 1990; por. także: *Humdrum extras: mkeyscape*, <https://extras.humdrum.org/man/mkeyscape/> [dostęp: 17 III 2024].

2
Wszystkie wyżej opisane funkcjonalności dostępne są na stronie <https://chopinscores.org> [dostęp: 17 III 2024].

Specyfika notacji klawiszowej a notacja cyfrowa

Tradycyjnie partie instrumentów klawiszowych notuje się na dwóch pięcioliniach – wyższa zaopatrzona jest w klucz wiolinowy (G2), niższa w basowy (F4). Na taki zapis można jednak spojrzeć na dwa sposoby. Zdaniem Elaine Gould w zdecydowanej większości przypadków w kompozycjach na instrumenty klawiszowe górna pięciolinia reprezentuje partię prawej, a dolna lewej ręki³. Można więc interpretować taką notację jako zapis dwóch niezależnych instrumentów: solowego, utrzymanego przeważnie w wyższych rejestrach, i akompaniującego w rejestrach niższych. Łatwo odnaleźć przykłady kompozycji o tak nieskomplikowanej strukturze u Chopina. W przykładzie 1 każda z pięciolinii zawiera tylko jedną warstwę muzyczną, co sprawia, że kodowanie zapisu w formatach cyfrowych (zarówno Humdrum, jak i MEI) nie następuje większych trudności. Fakt, że w warstwie logicznej partii zapisane na osobnych pięcioliniach są od siebie właściwie całkowicie niezależne, ułatwia też automatyczne wygenerowanie graficznej partytury za pomocą oprogramowania Verovio.

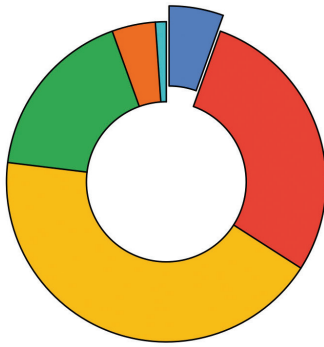
a.

b.

Przykład 1. Fryderyk Chopin – *Walc h-moll* [op. 69 nr 2] (WN 19), t. 1–3
a) Fryderyk Chopin, *2 Valses des œuvres posthumes*, Jean Meissonnier fils, Paryż 1855
b) zapis nutowy wygenerowany za pomocą oprogramowania Verovio

Sytuacja komplikuje się tak pod względem kodowania, jak renderowania graficznej partytury, gdy któraś z partii realizuje jednocześnie więcej głosów niż jeden, to jest dzieli się na kilka warstw. W twórczości Fryderyka Chopina ten problem dotyczy zdecydowanej większości kompozycji. Tylko niecałe 6% repertuaru na fortepian solo stanowią utwory o konsekwentnej dwugłosowej fakturze (zostały one wyróżnione w przykładzie 2). Najliczniejsza grupa, czyli kompozycje rozdziela się miejscami na cztery warstwy, to aż 43%. Sporadycznie liczba jednocześnie prowadzonych głosów zapisanych na dwóch pięcioliniach sięga aż siedmiu.

3 Elaine Gould, *Behind Bars: The Definitive Guide to Music Notation*, Londyn 2011, s. 303–307.



Przykład 2. Liczba warstw muzycznych w kompozycjach Fryderyka Chopina

Wielogłosowa faktura fortepianowa stanowi wyzwanie nawet przy tradycyjnych metodach przygotowania partytur do publikacji. Graficznie jednoznaczne i czytelne rozmieszczenie wszystkich elementów zapisu nutowego bez ich kolizji i nakładania się potrafi zająć większą część czasu edytora przygotowującego skład muzyczny. Także kodowanie tego typu skomplikowanych struktur nie należy do łatwych. Edytor cyfrowej transkrypcji musi przede wszystkim podjąć merytoryczną decyzję, w jakiej kolejności i w jakim układzie zakodować poszczególne głosy. Sytuacji nie ułatwiają też pominięte pauzy, sprawiające, że warstwy kompozycji nie są kompletne pod względem rytmicznym. Samo zapisanie fragmentów wielogłosowych w formacie Humdrum wymaga rozdzielenia kolumn oddających zapis każdej z pięciolinii na podkolumny (ang. *subspines*), a następnie poprawnego ich złączenia bez naruszenia zasad składni. Nieco łatwiejsze jest kodowanie tego typu złożonych odcinków w formacie MEI – dodanie elementów reprezentujących poszczególne warstwy (`<layer>`) nie narusza w żaden sposób struktury pliku. Ale i tu należy pamiętać o właściwej kolejności i spójności rytmicznej głosów. Przykład 3 przedstawia fragment *Nokturnu H-dur* op. 62 nr 2, w którym w szczytowym momencie każda z rąk prowadzi po trzy niezależne melodie. Tylko dwie z nich (główna melodia partii prawej ręki oznaczona kolorem czerwonym i najniższa partia ręki lewej zapisana na fioletowo) wypełniają rytmicznie przestrzeń dźwiękową odcinka, co wbrew pozorom utrudnia tylko interpretację zapisu, a tym samym i kodowanie. W związku ze zmieniającą się liczbą warstw i ich wzajemnymi relacjami w poniższym przykładzie pojawiły się łuki frazowe i ligaturowe, które przechodzą z jednej warstwy do drugiej w trakcie przebiegu.

Nierzadko kompozytorzy traktują partię obu warstw w sposób jednolity. Współpraca między głosami i zazębiające się rejestry sprawiają, że interpretacja zapisu nutowego jako dwóch odrębnych płaszczyzn nie jest możliwa. W takich sytuacjach konieczne jest

a. 

b. 

Przykład 3. Fryderyk Chopin – *Nocturn H-dur* op. 62 nr 2, t. 6–8 – sześć warstw zapisu muzycznego

a) Fryderyk Chopin, *Deux Nocturnes pour le Piano*. [...] *Op. 62*, Breitkopf & Härtel, Lipsk, 1846

b) zapis wygenerowany przez oprogramowanie Verovio z oznaczeniem poszczególnych warstw kompozycji

sposrzenie na notację klawiszową jak na jeden, rozszerzony system (ang. *grand staff*), w którym dwie pięciolinie łączą się na wysokości c^1 , co ilustruje przykład 4.



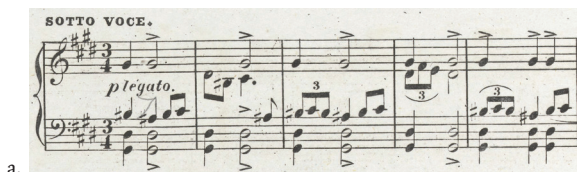
Przykład 4. Schemat notacji klawiszowej jako jeden rozszerzony system (ang. *grand staff*)

W twórczości Fryderyka Chopina nie brak kompozycji, w których granica między partiami lewej i prawej ręki jest w zapisie zatarta. Przykład 5 dobrze ilustruje tę sytuację. W trzygłosowej fakturze będąca nośnikiem melodii partia środkowa oscyluje między górną i dolną pięciolinia – tak w każdym razie przekazują *Mazurek cis-moll* op. 6 nr 2 najwcześniejsze źródła (por. przykład 6a–d)⁴. W późniejszych edycjach środkowa warstwa jest już umieszczona konsekwentnie na górnej pięciolinii (przykład 6e⁵).

Samo kodowanie tego typu zapisu w cyfrowych formatach muzycznych stawia przed edytorem kilka problemów. Przede wszystkim ani Humdrum, ani MEI nie są dostosowane do notacji partii klawiszowych jako *grand staff* – w obu przypadkach partia fortepianu musi być rozdzielona na dwie osobne pięciolinie. Edytor transkrypcji cyfrowej podejmuje decyzję, które dźwięki przypisać do dolnej, a które do górnej linii. Chcąc oddać w pełni treść muzyczną i jej logikę, nie można w przypadku *Mazurek cis-moll* rozbić środkowego głosu między partię prawej i lewej ręki. Przeciwnie, kodowanie

4
Fragmenty skanów rękopisów pobrane z OCVE Online Chopin Variorum Edition, dostępny online: <https://chopinonline.ac.uk/ocve/browse/barview?workid=6382&pageid=68620&barid=2> [dostęp: 17 III 2024].

5
Por. także Fryderyk Chopin, *Mazurki na fortepian*, red. Ignacy J. Paderewski, Ludwik Bronarski, Jan Turczyński, Warszawa–Kraków 1953, s. 18; Fryderyk Chopin, *Mazurki*, red. Jan Ekier, Paweł Kamiński, Kraków 1998, s. 19.



a.

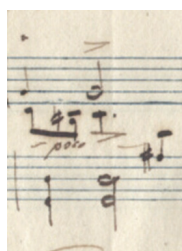


b.

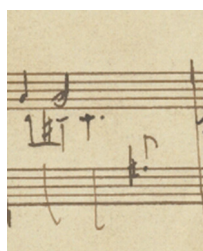
Przykład 5. Fryderyk Chopin, *Mazurek cis-moll* op. 6 nr 2, t. 1-5

a) Fryderyk Chopin, *Quatre Mazurkas pour le Pianoforte [...]* Œuvre 6, Friedrich Kistner, Lipsk 1833

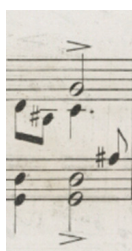
b) zapis wygenerowany przez oprogramowanie Verovio



a.



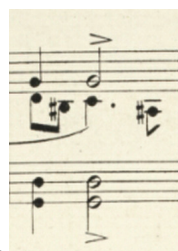
b.



c.



d.



e.

Przykład 6. Fryderyk Chopin – *Mazurek cis-moll* op. 6 nr 2, t. 2

a) autograf-podarunek, Stiftelsen Musikkulturens Främjande (S-Smf: Rudolf Nydahl Collection),

b) szkic, Biblioteka Polska w Paryżu (F-Ppo: 1112)

c) Fryderyk Chopin, *Cinq Mazurkas Pour Le Piano Forte [...]*. Op. 6, Maurice Schlesinger, Paryż 1833,

d) Fryderyk Chopin, *Souvenir de la Pologne. Eight Mazurkas, for the Piano Forte, Book 8, Op. 6*, Wessel & Co., Londyn 1836

e) Fryderyk Chopin, *Souvenir de la Pologne. 1^{re} set of Mazurkas, Op. 6*, Edwin Ashdown, Londyn 1882

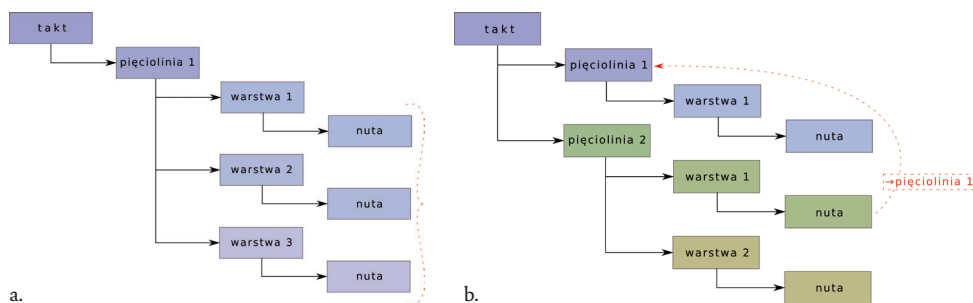
wersji cyfrowej powinno zbliżyć się raczej do notacji graficznej późniejszych wydań. Dopiero kolejnym etapem może być przeniesienie poszczególnych dźwięków na pięciolinie, na których zostały zapisane w źródle, co umożliwiają oba omawiane formaty.

Ponieważ tradycyjny graficzny zapis nutowy staje się coraz bardziej zawiły, w sposób oczywisty rośnie także poziom skomplikowania cyfrowej edycji. To z kolei – przez ścisły związek oprogramowania Verovio z formatem MEI – powoduje, że całkowite automatyczne wygenerowanie graficznego zapisu nutowego partii instrumentów klawiszowych stanowi nie lada wyzwanie i wymaga drobiazgowej analizy, zwłaszcza w kwestii skomplikowanych przypadków. Na tym właśnie przede wszystkim polegała wieloletnia współpraca Narodowego Instytutu Fryderyka Chopina z RISM Digital Center, odpowiedzialnym za rozwój biblioteki Verovio w ramach projektu „Dziedzictwo Chopinowskie w otwartym dostępie”, a jej

efektem jest znaczna poprawa jakości graficznych partytur klawiszowych generowanych w pełni automatycznie.

Skomplikowane przypadki

1. Wielowarstwowość i zapis między pięcioliniami



Przykład 7. Schemat zapisu w formacie MEI

a) trzy warstwy na jednej pięciolinii

b) dźwięki przeniesione na inną pięciolinie

Zarówno we fragmentach o wielowarstwowej (wielogłosowej) budowie, jak i w zapisie na rozszerzonym systemie, gdzie partie płynnie przechodzą między pięcioliniami, jednym z problemów przy generowaniu graficznej partytury przy użyciu biblioteki Verovio jest gęstość faktury fortepianowej – na ograniczonej płaszczyźnie jednego taktu należy rozmieścić znaczną liczbę symboli muzycznych w sposób niekolidujący ze sobą, jednoznaczny i czytelny. Jest to jednak komplikacja drugorzędna, jako że zasadniczy problem wynika ze sposobu i kolejności kodowania informacji w notacji cyfrowej i co za tym idzie, z kolejności ich odczytania przez algorytm wbudowany w oprogramowanie Verovio. Trudności w generowaniu graficznej partytury wielowarstwowej na jednym systemie polegają na tym, że elementy zapisu (takie jak nuty) muszą być wyrównane względem siebie, choć nie są częścią tego samego elementu warstwy w drzewie danych. Sekwencja podejmowanych kroków w algorytmach odpowiedzialnych za layout musi więc być dostosowana do takich sytuacji. Innymi słowy, struktura danych i porządek ich przetwarzania nie odpowiadają kolejności, w jakiej generowany jest układ graficzny.

Łatwiej zrozumieć ten problem, jeśli rozpatruje się go z perspektywy wewnętrznej budowy danych w Verovio, czyli zapisu w formacie MEI. Dwa jednoczesne dźwięki z dwóch warstw należą do dwóch różnych poddrzew XML. Uniemożliwia to zsynchronizowane odczytywanie kodowania i generowanie zapisu nutowego warstwa po warstwie i dźwięk po dźwięku w każdej z nich, zwłaszcza przez

konieczność zagwarantowania braku kolizji między znakami. Zapis na rozszerzonym systemie niesie jeszcze więcej komplikacji. Dźwięki przeniesione do innej pięciolinii muszą być rozmieszczone w ramach partii, do której nie należą, zakodowanej w odległym poddrzewie formatu XML (por. przykład 7). W przypadku jednoczesnego prowadzenia kilku głosów na jednej pięciolinii ostateczny kształt zapisu ustala się dopiero po uwzględnieniu wszystkich warstw. Z kolei przeniesienie jednego dźwięku z pięciolinii dolnej na górną wpływa na wyświetlanie pozostałych we wszystkich warstwach obu partii. W konsekwencji cały proces tworzenia layoutu nie może być przeprowadzony w czasie jednokrotnego przejścia przez strukturę danych wejściowych z użyciem zagnieżdżonych pętli logicznych. Konieczne są dziesiątki iteracji przez całe drzewo danych, z których każda wprowadza niezbędne poprawki do ostatecznego zapisu graficznego. Tylko w ten sposób można osiągnąć poprawne i bezkolizyjne rozmieszczenie wszystkich elementów zapisu muzycznego. Algorytm trzeba jednak uważnie optymalizować, jako że czas przetwarzania danych szybko wzrasta. Wielokrotne iteracje przez dane muzyczne muszą być ostrożnie, drobiazgowo zaplanowane i dokładnie wyważone, aby nie spowolnić generowania graficznych partytur i zapewnić możliwie najszybszy czas reakcji, niezbędny do zastosowań w środowiskach dynamicznych.

2. Łuki frazowe

Powody, dla których poprawne automatyczne wyświetlanie łuków frazowych jest skomplikowane, nie zależą od ich kodowania w formatach cyfrowej notacji muzycznej. W MEI łuk zapisuje się jako osobny podelement taktu, co oznacza, że nie jest on przypisany do konkretnej warstwy. Jako parametry łuku (<slur>) dodaje się odnośniki do numeru pięciolinii, do skrajnych nut danej frazy oraz pozycję (nad lub pod pięciolinią). Z uwagi na prostotę i jednoznaczność cyfrowego kodowania oprogramowanie Verovio łatwo czytuje i porządkuje te informacje na wstępnym etapie działania systemu. Kolejną fazą pracy algorytmu jest wyliczenie, jak łuk ma być poprowadzony w graficznej partyturze, i to właśnie tu pojawia się najwięcej problemów. Najściślej ustalone są miejsca zakotwiczenia początku i końca łuku – zależą one zawsze od pozycji główki nuty. Na kształt łuku i jego odległość od pięciolinii wpływa przede wszystkim kontekst muzyczny, czyli układ nut, ogonków i belek. Im gęstsza faktura kompozycji, tym trudniejsze staje się estetyczne i jednoznaczne umieszczenie łuku. Zadanie to komplikuje dodatkowo zapis nutowy przechodzący z jednej pięciolinii do drugiej – algorytm musi wziąć pod uwagę kontekst obu partii fortepianu. To właśnie na tym polu prowadzone były najintensywniejsze prace w ramach projektu „Dziedzictwo Chopinowskie w otwartym dostępie”. Niebagatelne znaczenie dla jakości generowania łuków frazowych w graficznych partyturach kompozycji Fryderyka

Chopina miała implementacja w bibliotece Verovio łuków asymetrycznych, których kształt ułatwia wyliczenie ich właściwej pozycji (por. przykład 8).



Przykład 8. Poprawa jakości wyświetlania łuków frazowych w poszczególnych wersjach oprogramowania Verovio

- a) Verovio 3.0
- b) Verovio 3.4
- c) Verovio 3.7

3. Rozbudowane takty *ad libitum*

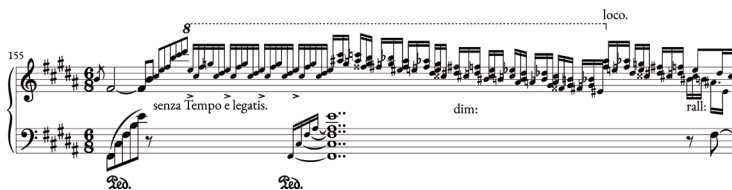
Jak już wspomniano, biblioteka Verovio została stworzona z myślą o wyświetlaczach cyfrowych różnych urządzeń, a więc o różnej szerokości okna. Choć format MEI umożliwia zakodowanie łamań między systemami i zmian stron, korzystanie z nich w trakcie tworzenia zapisu graficznego nie jest wskazane. W zależności od wielkości ekranu systemy o zdefiniowanej długości wyświetlą się bowiem jako zbyt ściśle lub zbyt rozciągnięte. Najlepsze efekty wizualne osiąga się natomiast wtedy, gdy pozostawi się algorytmowi Verovio decyzję, ile taktów powinno się znaleźć w każdym systemie. Problem stanowią natomiast fragmenty *ad libitum* o niezdefiniowanej, wydłużonej mierze, gdyż łamanie systemu możliwe jest jedynie na kresce taktowej lub – jeśli spojrzeć na to z perspektywy cyfrowego kodowania – pomiędzy elementami agregującymi wydarzenia w ramach jednego taktu (<measure>). Zapisanie całego przebiegu muzycznego w ramach tego elementu zmuszałoby oprogramowanie do umieszczenia go w jednej linii bez względu na dostępną przestrzeń. Aby uniknąć tego problemu, długie odcinki *ad libitum* należy podzielić w cyfrowej edycji na nienumerowane takty z ukrytymi kreskami, o ile to możliwe w zgodzie z sensem muzycznym dzieła. Dzięki temu Verovio obliczy optymalny sposób dystrybucji elementów muzycznych w taktach i taktów w systemach. Kompromis polegający na ingerencji w zapis przekazywany przez źródło na rzecz poprawnego wyświetlania partytury cyfrowej jest w takim przypadku w pełni uzasadniony, zwłaszcza że wpływa na treść kompozycji w minimalnym stopniu. Rozbudowana kadencja *Nokturnu H-dur* op. 9 nr 3 stanowi jeden z najdłuższych fragmentów *ad libitum* w twórczości Fryderyka Chopina. Przykład 9 prezentuje jej zapis w wariantach źródłowym (a) i w trzech wariantach wygenerowanych przez oprogramowanie Verovio: b) na podstawie kodowania bez

kresek taktowych, c) z zaznaczonymi miejscami podziału fragmentu na takty oraz d) w wersji docelowej, w rozmiarze dopasowanym do ekranu średniej wielkości tabletu.

a.



b.



c.



Przykład 9. Nokturn H-dur op. 9 nr 3

a) Fryderyk Chopin, *Trois Nocturnes Pour Le Piano* [...] *Opéra 9*, Maurice Schlesinger, Paryż 1832, t. 150–157

b) t. 150, zapis wygenerowany na podstawie kodowania bez kresek taktowych

c) t. 150, zaznaczony podział dodany przez edytora na nienumerowane takty

d) t. 150–157, układ dostosowany do rozmiaru wyświetlacza tabletu

d. 150 *Risoluto.*
con forza.

152 *ritenuto.*
tr

155 *senza Tempo e legatis.*

8
dim:

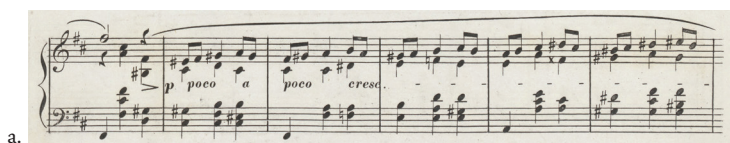
8 *loco.*

Adagio. legatis.
rall: *smorz: pp* *rall:*

157 *ppp*

Niemożliwości, trudności, pytania

Mimo znacznego rozwoju wbudowanych w bibliotekę Verovio algorytmów generujących dynamiczne partytury oraz osiągnięcia jakości składów muzycznych porównywalnej nieraz z edycjami tworzonymi ręcznie, wiele aspektów zapisu muzycznego wciąż nie doczekało się jeszcze implementacji. Jednym z nich jest automatyczna dystrybucja tekstowych oznaczeń wykonawczych, agogicznych i dynamicznych, które w druku rozciągnięte są w określonej przestrzeni kompozycji (por. przykład 10). Wydawałoby się, że ta kwestia będzie nieporównywalnie łatwiejsza niż choćby poprawne rozmieszczenie znaków w wielowarstwowej fakturze. Jest jednak inaczej, co wynika z kilku czynników. Pierwszym i chyba zasadniczym problemem pozostają ograniczenia możliwości wiernego zakodowania tego typu fragmentów. Dotyczy to przede wszystkim oznaczeń słownych, które w zapisie źródłowym podzielono na sylaby, a przestrzenie między nimi wypełniono liniami, tak jak to ma miejsce w przykładzie 10b. W formacie MEI do tego typu zagadnienia można podejść na dwa sposoby: albo zakodować cały tekst, za priorytetowe uznając znaczenie i warstwę logiczną kompozycji, albo podzielić oznaczenie na podelementy, zgodnie z podziałem źródłowym, co w znacznie lepszy sposób odwzoruje warstwę graficzną zapisu. W obu przypadkach traci się jednak istotną część informacji. Rozmieszczenie wyrazów, sylab i linii wypełniających w graficznej partyturze powstałej na podstawie nieidealnego kodowania również wbrew pozorom nie należy do najłatwiejszych i wymagałoby rozbudowy algorytmu Verovio o wiele usprawnień i instrukcji warunkowych. Częściowa implementacja tego typu funkcjonalności jest oczywiście wykonalna, ale ze znacznymi ograniczeniami. Idealne, w pełni automatyczne odwzorowanie sytuacji źródłowej nie będzie możliwe bez zakodowania znacznej liczby dodatkowych informacji, takich jak długość każdego z elementów wyrażona w muzycznych wartościach rytmicznych czy też korelacja z innymi znakami zapisu, na co obecnie nie ma sposobu w formacie MEI.



Przykład 10. Rozciągnięte oznaczenia tekstowe

a) Fryderyk Chopin – *Mazurek h-moll* op. 30 nr 2, w: Fryderyk Chopin, *Quatre Mazurkas Pour Le Piano* [...] *Œuv* 30, Breitkopf & Härtel, Lipsk 1838, t. 24–29

b) Fryderyk Chopin – *Mazurek fis-moll* op. 59 nr 3, w: Fryderyk Chopin, *Trois Mazourkas Pour le Piano*, Op. 59, Stern & Co., Berlin 1846, t. 143–148

Inny element zapisu nutowego, którego biblioteka Verovio w tej chwili nie obsługuje, to *ossia*, czyli alternatywna wersja fragmentu partii (por. przykład 11). Kodowanie takich fragmentów w formacie MEI jest nie dość, że możliwe, to jeszcze stosunkowo proste i intuicyjne – wariant podstawowy należy zapisać w ramach elementu <staff>, a alternatywny w <ostaff> w tym samym takcie. Co więcej, oprogramowanie Verovio już teraz ma funkcjonalności, które umożliwiłyby wyświetlenie najprostszych przykładów (por. przykład 11b), choć trudniejsze – choćby odcinki wariantowe obejmujące niepełne takty – wymagałyby znacznych zmian w kodzie źródłowym. Jednakże pełne wdrożenie renderowania odcinków *ossia* ma niską pozycję na liście priorytetów twórców biblioteki. Wynika to przede wszystkim z zasadności wyświetlania tego typu zapisu w środowiskach cyfrowych. *Ossia* jest optymalnym sposobem notowania wariantu muzycznego na jednowymiarowym nośniku, tj. na papierze. Ograniczenia edycji drukowanych nie dotyczą jednak publikacji dostosowanych do użytku w aplikacjach i na stronach internetowych, w których ten sam efekt można osiągnąć w inny, a często nawet lepszy sposób. Aplikacja wykorzystująca bibliotekę Verovio do prezentacji dynamicznej partytury może – dzięki oparciu formatu MEI na schemacie XML – czytać i zmieniać dane wejściowe, tak aby w graficznej wersji wyświetlić tylko wybrany przez użytkownika wariant (por. przykłady 11c i 11d). Poprawia to czytelność i gwarantuje łatwiejsze korzystanie z zapisu nutowego bez utraty jakichkolwiek informacji.

Spśród pytań, które wciąż pozostają bez odpowiedzi, jednym z najważniejszych jest to, w jaki sposób dostosować dynamicznie generowane partytury muzyczne do rosnących z roku na rok potrzeb wykonawców. Coraz większy odsetek muzyków korzysta w czasie wykonań scenicznych z urządzeń cyfrowych – tabletów, ale także urządzeń wykorzystujących technologię e-ink, podobnych do czytników książek. Posługują się oni jednak partyturami graficznymi, przygotowanymi w sposób tradycyjny, tj. dostosowany do formatu strony, o stałym layoucie. Wykorzystanie technologii, jaką oferuje biblioteka Verovio, może przynieść wykonawcom liczne korzyści, jak choćby znacznie łatwiejsze dopasowanie partytury do indywidualnych potrzeb – zmiana wielkości znaków nutowych i tekstów czy zagęszczenie lub rozciągnięcie układu zmienia się przez korektę wartości pojedynczych parametrów. Dynamicznie generowane partytury uniezależniłyby też artystów od urządzeń o największych rozmiarach. Aby bowiem w czytelny sposób wyświetlić całą stronę w formacie A4, trzeba dysponować ekranem o przekątnej minimum 11 cali.

Mimo niewątpliwych zalet Verovio wciąż jednak nie może konkurować z papierowymi czy cyfrowymi materiałami o stałym układzie graficznym. Powodem tego stanu rzeczy nie są jednak ograniczenia techniczne, ale percepcja i przyzwyczajenia muzyków. Z wielu badań poświęconych preferencjom sensorycznym wynika, że aż

a.

b.

c.

d.

Przykład II. *Hulanka* [op. 74 nr 4] (WN 32), t. 31–33:

- Fryderyk Chopin, *Zbiór śpiewów polskich z towarzyszeniem fortepianu*, Gustaw Gebethner i Spółka, Warszawa 1859
- zapis analogiczny do wersji drukowanej, wygenerowany przez Verovio
- wersja podstawowa
- wersja alternatywna

65% ludzi to wzrokowcy, u których w procesie poznania dominującym zmysłem jest widzenie. Słuchowcy stanowią 30% populacji, a kinestetycy pozostałe 5%⁶. Badania odnoszące się do praktykujących wykonawców wykazują, że podczas nauki repertuaru proporcja udziału zmysłów jest nieco inna: 36% badanych wykorzystuje przede wszystkim pamięć wzrokową, 35% – ruchową, a tylko 5% – słuchową. Pozostali deklarują, że w trakcie przyswajania nowego materiału korzystają z kilku zmysłów jednocześnie, przy czym najczęściej w tych połączeniach wymieniany jest wzrok⁷. Powyższe wyniki dowodzą, jak wielkie znaczenie ma zapis nutowy w procesie poznawania i odtwarzania muzyki. Dzięki pamięci wzrokowej muzyk jest w stanie łatwo zlokalizować odpowiedni fragment muzyczny w partyturze przez przywołanie zapamiętanych współrzędnych w układzie odniesienia, czyli na stronie, dlatego też niezmiennosc zapisu jest w tym przypadku tak istotna. Aby ułatwić wykonawcom korzystanie z cyfrowych partytur, algorytm Verovio musiałby traktować stabilność layoutu jako priorytet, co kłóci się z podstawowymi założeniami stojącymi za powstaniem oprogramowania. Wprowadzenie

6

Por. Alina-Mihaela Buşan, [Learning Styles of Medical Students – Implications in Education](#), „Current Health Sciences Journal” 2014, nr 2, s. 104.

7

Jennifer Mishra, [Correlating Musical Memorization Styles and Perceptual Learning Modalities](#), „Visions of Research in Music Education” 2007, nr 9–10, s. 3. Por. także (za Jennifer Mishra, Correlating..., op. cit. s. 18): Roger Chaffin, Gabriela Imreh, Mary Crawford, [Practicing Perfection: Memory and Piano Performance](#), Nowy Jork 2002; Alfred Russel Jones III, „The role

of analytical prestudy in the memorization and retention of piano music with subjects of varied aural/kinaesthetic ability”, rozprawa doktorska, University of Illinois w Urbanie i Champaign 1990, Eunice L. Rickey, „An investigation to observe the effects of learning style on memorization approaches used by university group piano students when memorizing piano literature”, rozprawa doktorska, Bell State University, Muncie, Indiana 2004.

alternatywnego rozwiązania, umożliwiającego artystom łatwą lokalizację szukanego odcinka w partyturze, wymaga szerokich konsultacji i testów.

* * *

Postęp, jaki można było obserwować przez ostatnią dekadę (czyli od momentu powstania biblioteki) w jakości dynamicznych partytur muzycznych generowanych w pełni automatycznie przez Verovio, jest imponujący. Składy nutowe tworzone przez algorytm oprogramowania już teraz w większości przypadków nie odstają od tych stworzonych przez profesjonalnych edytorów muzycznych. Powiększająca się społeczność użytkowników i programistów dba o to, by stale poprawiać i rozbudowywać Verovio o nowe funkcjonalności. Z kolei rosnąca z roku na rok liczba naukowych i wydawniczych projektów, w ramach których publikuje się w dynamiczne partytury, a które korzystają z tej technologii (w odróżnieniu od prezentacji plików o stałym układzie, np. PDF), dowodzi, że środowiska muzyczne i muzykologiczne faktycznie potrzebowały tego innowacyjnego rozwiązania. To sprawia, że publikowanie muzyki po stuleciach od wynalezienia druku przechodzi właśnie kolejną rewolucję. Narodowy Instytut Fryderyka Chopina, realizując projekty oparte na tworzeniu i udostępnianiu cyfrowych transkrypcji kompozycji Fryderyka Chopina oraz szerzej, muzyki polskiej, nie tylko korzysta z dobrodziejstw tej rewolucji, ale także się do niej przyczynia. Pozostaje mieć nadzieję, że działania staną się inspiracją dla kolejnych przedsięwzięć tego typu.

ABSTRACT

Digital Generation of Scores for Fryderyk Chopin's Compositions

In 2017–2021, the Fryderyk Chopin Institute conducted the project 'Chopin Heritage in Open Access'. One of the branches of the project was the creation of digital music editions. The Humdrum format was used to encode Fryderyk Chopin's legacy, while the Verovio open-source software library developed by RISM Digital Center was responsible for generating the engravings. The cooperation between NIFC and RISM consisted in developing of the Verovio library so that it became possible to display correctly and aesthetically the graphic scores on the website. This article describes the difficulties encountered in rendering piano music, Chopin's compositions in particular, as well as methods of dealing with them. Issues that are still waiting to be implemented are also indicated.

KEYWORDS

musical notation, Humdrum, Verovio, MEI, computer-assisted music engraving

ABSTRAKT

W latach 2017–2021 Narodowy Instytut Fryderyka Chopina prowadził projekt „Dziedzictwo Chopinowskie w otwartym dostępie”. Jedną z gałęzi projektu było tworzenie cyfrowych edycji nutowych. Do kodowania spuścizny Fryderyka Chopina wykorzystano format Humdrum, z kolei za wygenerowanie graficznych partytur odpowiadała biblioteka oprogramowania o otwartym kodzie źródłowym Verovio, rozwijana przez RISM Digital Center. Współpraca NIFC i RISM polegała na rozbudowywaniu biblioteki Verovio, tak aby możliwe stało się poprawne i estetyczne w pełni automatyczne wyświetlenie partytur graficznych na stronie internetowej. W niniejszym artykule opisano trudności, jakie niesie ze sobą zapis muzyki fortepianowej, w szczególności kompozycji Chopina, a także sposoby radzenia sobie z nimi. Wskazano również zagadnienia, które wciąż czekają na implementację.

SŁOWA KLUCZOWE

notacja muzyczna, Humdrum, Verovio, MEI, komputerowe tworzenie partytur muzycznych

LAURENT PUGIN

z wykształcenia muzykolog i informatyk. Jego zainteresowania badawcze obejmują nauki społeczne (filologia, historia notacji muzycznej, bibliografia muzyczna) i techniczne, zwłaszcza w odniesieniu do źródeł muzycznych (przetwarzanie obrazów, uczenie maszynowe). Stypendysta i wykładowca na Uniwersytecie McGill w Montrealu (w l. 2006–2009) oraz wykładowca wizytujący na Uniwersytecie Stanforda. Współdyrektor RISM Digital Center (wcześniej Swiss RISM Office), odpowiedzialny za rozwój cyfrowej infrastruktury i kontakty międzynarodowe (od 2009 r.). Członek Międzynarodowego Komitetu Sterującego RISM (od 2013 r.), członek zarządu i zespołu technicznego Music Encoding Initiative (od 2014 r.). Współtwórca projektu badawczego SIMSSA na Uniwersytecie McGill. W 2019 roku uzyskał habilitację w dziedzinie muzykologii i humanistyki cyfrowej na Uniwersytecie w Bernie, gdzie regularnie wykłada.

JACEK IWASZKO

muzykolog, absolwent Instytutu Muzykologii Uniwersytetu Warszawskiego. Pracownik Działu Informacji Naukowej Narodowego Instytutu Fryderyka Chopina, koordynator prac nad cyfrowymi transkrypcjami i rozwojem oprogramowania w projektach digitalizacyjnych NIFC. Zainteresowany kwestiami kodowania i komputerowo wspomaganą analizy muzyki renesansowej. Śpiewa w specjalizującym się w muzyce dawnej męskim zespole Gregorianum.