PIOTR TYKARSKI

*Instytut Biologii Funkcjonalnej i Ekologii
Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski
Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych
Żwirki i Wigury 101, 02-089 Warszawa
E-mail: p.tykowski@uw.edu.pl*

ZASOBY DANYCH PRZYRODNICZYCH POLSKICH INSTYTUCJI NAUKOWYCH – BOGACTWO, HISTORIA, ZNACZENIE – WSTĘP*

Niniejszy zeszyt KOSMOSU poświęcony jest sferze krajowych zasobów informacji o różnorodności biologicznej, a szczególnie materiałom źródłowym w postaci kolekcji okazów. Temat wypełniają artykuły opiekunów zbiorów przyrodniczych oraz autorów związanych z gromadzeniem i analizą danych przyrodniczych, reprezentujących instytucje współpracujące w ramach Krajowej Sieci Informacji o Bioróżnorodności (KSIB)¹ w projekcie Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa „Integracja i mobilizacja danych o różnorodności biologicznej Eukaryota w zasobach polskich instytucji naukowych” (IMBIO)².

Żyjemy w epoce cyfryzacji. Wraz z gwałtownym rozwojem komputerów rozpoczęła się digitalizacja danych, obejmująca stopniowo coraz szersze sfery ludzkiej aktywności. Utworzenie internetu i szybki rozwój komunikacji cyfrowej jeszcze bardziej wzmogły ten proces. Trend ten objął również dane biologiczne, przy czym najintensywniej rozwijały się dziedziny wykorzystujące nowe technologie obliczeniowe, co w parze z rozwojem biochemii i badań genetycznych doprowadziło do swoistego zawłaszczenia pojęcia w terminie „bioinformatyka”, zawężonym do obszaru biologii molekularnej.

Zasoby danych biologii organizmalnej także zyskiwały postać cyfrową, choć z racji swojej obfitości i różnicowania w niejednorodnym tempie i początkowo bez spektakularnych osiągnięć, porównywalnych z modelowaniem przestrzennym białek czy mapowaniem genomu.

Przełomowym momentem było uruchomienie systemu Global Biodiversity Information Facility (GBIF)³, który ukazał potencjał kryjący się w rozproszonych dotychczas bazach danych poziomu organizmalnego. Bezprecedensowa okazała się możliwość łączenia danych z różnych źródeł, niezależnie od ich pierwotnego typu i formatu – od XVIII-wiecznych kolekcji okazów, poprzez tradycyjne publikacje naukowe, po systemy gromadzenia obserwacji, zasilane danymi z aplikacji na telefonach komórkowych (Ryc. 1). Osiągnięcia w tej dziedzinie, jej intensywność rozwoju i przyrost danych były na tyle wysokie, że zyskała ona miano „informatyki bioróżnorodności” (ang. biodiversity informatics), ze swoimi własnymi technologiami, narzędziami i standardami.

Jednak nowoczesne technologie są jedynie środkiem, a o użyteczności i wartości systemu decyduje wartość naukowa i jakość informacji. Z tego punktu widzenia najcenniejszymi zasobami okazują się być dane pochodzące z najstarszego typu źródła – kolekcji okazów. Dla znawców tematu jest to oczywiste, podczas gdy dla osób zapatrzonych w rozwój technologii i postrzegających tradycyjne „muzealnictwo” jako przeżytek – wielkie odkrycie. Wynika to stąd, że to właśnie nowoczesne techniki: analizy DNA, obrazowanie 3D, a także masowe przetwarzanie danych uświadomiły, jak wielką wartość stanowią tradycyjne zbiory okazów.

³www.gbif.org

¹www.ksib.pl

²imbio.uw.edu.pl

* Artykuł powstał dzięki wsparciu finansowemu z projektu POPC.02.03.01-00-0081/19 „Integracja i mobilizacja danych o różnorodności biologicznej Eukaryota w zasobach polskich instytucji naukowych” (IMBIO).

Ryc. 1. Schemat obecnego przepływu danych w GBIF.

Obok tradycyjnych źródeł danych – okazów i obserwacji – do systemu trafia coraz więcej danych ze zautomatyzowanego przetwarzania literatury, pierwsze dane z teledetekcji, a także rosnąca liczba danych o gatunkach z badań genomowych. Wspólne standardy wymiany danych (gł. Darwin Core) umożliwiają utworzenie indeksu i publikację wszystkich zbiorów danych. Zasoby sieci dostępne są poprzez portal GBIF, a usługi sieciowe zapewniają ich zautomatyzowane wykorzystanie przez aplikacje zewnętrzne. Mapa przedstawia gęstość danych (liczbę rekordów rozmieszczenia) dostępnych w GBIF – im jaśniejsza barwa, tym więcej danych (stan z czerwca 2021). Rycina wykorzystuje elementy niepublikowanego slajdu z prezentacji Sekretariatu GBIF (za zgodą).

Od strony jednostki informacji (rekordu) w prostej bazie danych różnica między obserwacją a okazem sprowadza się do zmiany wartości w polu „typ rekordu” (okaz/obserwacja). Pozostałe elementy mogą być identyczne – okaz, podobnie jak obserwacja, dokumentuje wystąpienie gatunku w czasie i przestrzeni, zatem można stosować identyczne sposoby opisu tych elementów, dzięki czemu oba typy rekordów mogą być przetwarzane wspólnie w wielu zastosowaniach.

Zasadnicza różnica dotyczy materiału dowodowego. Dla okazu jest nim zakonserwowany materiał biologiczny – osobnik lub jego fragment, podczas gdy dla obserwacji w najlepszym przypadku fotografia lub innego typu zapis właściwości osobnika (sekwencja wideo, dźwięk itd.). Na ogół obserwacja sprowadza się do samej rejestracji wystąpienia organizmu. Wiarygodność zapisu zależy wyłącznie od kwalifikacji rejestratora, a zwłaszcza jego zdolności do identyfikacji taksonomicznej. Poprawna identyfikacja (oznaczenie) jest przecież kluczowym atrybutem tej informacji, bez której pozostałe przestają mieć znaczenie. W przypadku okazu – osobnika, jego fragmentu, bądź wytworu (np. miny, galasu itp.) – istnienie materiału dowodowego umożliwia identyfikację taksonomiczną niezależnie od aktu rejestracji organizmu oraz daje znacznie więcej możliwości analizy niż jakakolwiek forma zapisu jego cech. Osoba pozyskująca materiał badawczy może popełnić błąd w oznaczeniu, może nawet okazu nie oznaczyć. W przypadku

materiałów muzealnych istnieje możliwość permanentnej weryfikacji oznaczenia, nawet przez setki lat od ich pozyskania.

Okazy w kolekcjach są więc odbiciem, a w zasadzie zachowanym fragmentem realnego stanu biosfery, istniejącego w danym miejscu i czasie. Odpowiednio zakonserwowane, dostarczają materiału dla coraz dłuższej listy różnego typu analiz właściwości fizyko-chemicznych i co za tym idzie, coraz szerszego zakresu zastosowań, ograniczanego jedynie bieżącym stanem nauki (BAKKER i współaut. 2020). Zachowane w okazach sekwencje DNA mogą być wykorzystane w badaniach taksonomicznych równolegle z klasycznym podejściem bazującym na morfologii, otwierając drogę do analiz filogenetycznych, badań ewolucyjnych, genetyki populacyjnej i konserwatorskiej (WANDELER i współaut. 2007). Do klasycznych analiz morfologicznych i anatomicznych dołączają techniki nieinwazyjne, takie jak mikrotomografia (WIPFLER i współaut. 2016) czy nie destrukcyjne metody analiz genetycznych (SANTOS i współaut. 2018).

Pod względem ilości informacji zajmowanej w zapisie cyfrowym istnieje dramatyczna różnica między obserwacją a okazem. Nawet bardzo rozbudowany zapis wszystkich atrybutów pojedynczej obserwacji zajmuje niewiele miejsca w porównaniu z danymi okazu, dla których z kolei nie istnieje górna granica przestrzeni danych, jaką mogą zająć. Każda nowa technika badawcza stawia dodatkowe wymagania pod tym względem,

przy czym te już istniejące są udoskonalane. Najprostszym przykładem są zdjęcia cyfrowe. Ich rozmiar jest funkcją rozdzielczości; kolejne generacje sprzętu fotograficznego wprowadzają nowe rozwiązania, co zwykle powoduje wzrost wymogów co do przestrzeni zajmowanej na twardym dysku czy jakimkolwiek innym nośniku. Dokumentacja fotograficzna kolekcji okazów wykonana na początku XXI w. ma ułamek objętości, jaką zajmowałaby teraz.

Każda nowa technika badawcza wykorzystująca okazy jako materiał źródłowy wiąże się z koniecznością przechowywania wyników analizy; często, tak jak przy obrazach 3D, w plikach o dużej objętości. Każdemu okazowi zatem może towarzyszyć szereg powiązanych zbiorów danych, będących cyfrową reprezentacją jego właściwości. Taki sposób traktowania informacji doprowadził do powstania koncepcji okazu rozszerzonego (ang. *extended specimen*) (WEBSTER 2017, HEDRICK i współaut. 2020, MILLER i współaut. 2020), a w konsekwencji – okazu cyfrowego (ang. *digital specimen*) – odwzorowania okazu w przestrzeni cyfrowej jako otwartego zbioru wszystkich danych powiązanych z fizycznym obiektem: od miejsca i daty stwierdzenia po sekwencje DNA i obrazowania. W dodatku spełniającego zasady FAIR⁴, umożliwiające pełne wykorzystanie możliwości, jakie niesie internet (LANNOM i współaut. 2019).

Niekoniecznie oczywistym jest fakt, że wizerunek cyfrowy okazu ma szansę trwać dłużej i ostatecznie stać się jedynym śladem po swoim oryginale. Fizyczne obiekty, zwłaszcza tak delikatne jak np. ciała owadów czy miękkie tkanki roślin, ulegają powolnej degradacji. Jest to nieuniknione; można jedynie próbować opóźnić ten proces poprzez odpowiednie zabiegi konserwacyjne. Jednak groźniejsze jest stałe istnienie ryzyko zniszczenia lub uszkodzenia wskutek niedostatecznej opieki, niewłaściwego zabezpieczenia, katastrof naturalnych czy działań wojennych. Wielokrotnie dochodziło do utraty cennych kolekcji z powodu błędów i zaniechań, które ostatecznie doprowadziły do tragedii. W Polsce największe, poza wojennymi, straty w zbiorach spowodował pożar Państwowego Muzeum Zoologicznego w Warszawie w 1935 r., wywołany najprawdopodobniej przez przypadkowe zaproszenie ognia (DASZKIEWICZ i współaut. 2016). Wśród znanych tego typu przypadków na świecie w ostatnich latach najsłynniejszym był pożar Muzeum Historii Naturalnej w Rio de Janeiro, który strawił największe zbiory w Ameryce Południowej w zakresie etnografii i historii naturalnej (GRESHKO 2018, MOON 2018), wpisując się

zresztą w tragiczny ciąg podobnych katastrof w tym kraju (MEGA 2020). Znajduje to odzwierciedlenie w artykułach prezentowanych w tym zeszycie KOSMOSU. Niewielka część utraconych okazów została wcześniej zdigitalizowana i zachowały się ich zdjęcia (np. FACHIN i współaut. 2016) i wpisy w bazach⁵. Jest to najbardziej bezpośredni i gorzki zarazem dowód na to, że digitalizacja może być przydatna, a nawet konieczna, i im pełniejsza i szczegółowa, tym więcej zostanie po utracie fizycznego oryginału.

Wartość naukowa danych biologicznych związanych z kolekcjami przyrodniczymi to ich zapewne najważniejszy (przynajmniej z pozycji naturalisty), lecz nie jedyny aspekt. Okazy mają jednocześnie znaczenie kulturowe i historyczne, analogiczne do innego typu kolekcji artefaktów muzealnych. Są zarazem dziedzictwem przeszłości, spadkiem po minionych pokoleniach, dobrem narodowym i świadectwem niezwykłych losów osób, które je zgromadziły. Doskonałą ilustracją tego jest historia kolekcji Szymona Tenenbauma, przedstawiona w artykule biograficznym w niniejszym zeszycie KOSMOSU.

Krajowe zasoby danych przyrodniczych nie zajmują w świadomości społecznej należnego im miejsca. Jest to efekt wielu czynników, co wyraźnie ilustrują prezentowane tu artykuły – trudnej historii polskich placówek naukowych, tragicznych losów wielu pracowników, poczynając od czasów zaborów przez straty wojenne aż po okres rządów komunistów i „realnego socjalizmu” w PRL, kiedy nie zapewniono odpowiednich warunków do rozwoju kolekcji przyrodniczych i ich wykorzystania do badań naukowych. Na trwające całymi dekadami niedofinansowanie jednostek, które z trudem musiały zdobywać środki na ich utrzymanie, nałożyły się zaniedbania systemu edukacji (dotykające zresztą również innych krajów), co łącznie sprawiło, że dziedziny związane z historią naturalną są niedoceniane i mało znane, również wśród naukowców, a także w kręgach instytucji i osób decydujących o polityce naukowej. Warto uświadomić sobie, że opisywane w tym numerze KOSMOSU kolekcje dotrwały do dziś dzięki poświęceniu, czasem heroizmowi konkretnych osób. Nie przeszkodził im brak planowej wieloletniej strategii państwa, a patrząc z perspektywy historii ostatnich 200 lat – w wielu przypadkach tworzenie i rozwój zbiorów naukowych z zakresu historii naturalnej odbywały się wbrew (zwykle obcej) władzy. Z pewnością nie byłoby to możliwe bez organizacyjnego wsparcia instytucji, których kierownictwo nawet w najbardziej niesprzyjających

⁴od słów Findable, Accessible, Interoperable, Reusable – www.go-fair.org/fair-principles

⁵www.gbif.org/dataset/search?hosting_org=4205110f-3f0f-40d8-bd0f-2fa71bc827b5

okresach zapewniało przynajmniej minimum środków dla podtrzymania fizycznego istnienia tych zasobów.

Z perspektywy 20 lat rozwoju informatyki bioróżnorodności można stwierdzić, że dopiero niedawno zaczęto nadrabiać krajowe opóźnienia w zakresie rozwoju technologicznego i cyfryzacji zasobów danych przyrodniczych. Pierwsze polskie bazy danych współpracujące z siecią GBIF⁶ pojawiły się już w 2004 r.⁷ i od tego czasu zasoby danych instytucji skupionych w KSIB dostępne w formie elektronicznej przyrastały dynamicznie do 2008 r., po czym wskutek trudności z uzyskaniem długoterminowego wsparcia intensywność tych działań spadła. Efektem tego pierwszego okresu wzrostu było ponad 1,5 mln rekordów danych (stwierdzeń gatunków), udostępnionych w 90 bazach danych należących do 16 instytucji, z czego ¼ związana była z kolekcjami okazów, pozostałe zaś oparte o dane obserwacyjne. Jedynym sposobem interakcji z tymi zasobami był (i w większości do dziś jest) portal GBIF.

Naturalnie działania związane z GBIF stanowiły jedynie część aktywności krajowych ośrodków w zakresie tworzenia przyrodniczych baz danych i udostępniania ich zasobów. Zajmowały się tym indywidualnie instytucje członkowskie KSIB i inne jednostki, w tym urzędowo ośrodki administracji centralnej, odpowiedzialne za ochronę przyrody i środowiska (TOKARSKA-GUZIŁ i współaut. 2015, TYKARSKI 2015). Istnieje także sfera projektów i inicjatyw gromadzących dane przyrodnicze, klasyfikowanych jako citizen science⁸ – realizujących „naukę obywatelską”, które kanalizują część działań indywidualnych, w tym także osób pracujących naukowo na rzecz instytucji. Warto zwrócić uwagę, że największe projekty z tej grupy, takie jak www.inaturalist.org czy www.ebird.org, ściśle współpracują z GBIF, włączając swoje dane do globalnego obiegu.

W latach 2010-2012 w ramach KSIB zrealizowano projekt „Mapa Bioróżnorodności Polski w światowym systemie integracji danych o różnorodności biologicznej”⁹, który obejmował intensywne działania digitalizacyjne i zaowocował powstaniem systemu Mapa Bioróżnorodności¹⁰, integrującego dane pochodzące z różnego typu źródeł: kolekcji okazów, bibliografii, notatek, zdjęć itp. Zakres danych obejmował wybrane grupy

owadów (Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera), służąc jako model do testowania metod integracji i prezentacji złożonych treści (taksonomia, stwierdzenia, mapy, bibliografia, kolekcje itd.), a uzyskane narzędzia miały służyć konsolidacji działań na poziomie krajowym. Zgromadzenie danych wymagało koordynacji pracy ponad 100 osób, angażując znaczną część uczestników KSIB i budując sieć powiązań w środowisku entomologicznym. Portal Mapa Bioróżnorodności z sukcesem zrealizował wszystkie podstawowe założenia, w kolejnych latach rozszerzając swoje możliwości i zakres, w tym o nowe dane, także spoza pierwotnych trzech rzędów owadów (łącznie ponad 1 mln stwierdzeń). Od 2018 r. działa BioMap Connect, moduł służący wprowadzaniu i edycji danych z poziomu przeglądarki (nie planowany w pierwotnym zakresie działań).

Zdobyte w ten sposób doświadczenia doprowadziły do powstania koncepcji integracji bogatych zasobów danych KSIB, realizowanej obecnie poprzez projekt IMBIO w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa. Program ten, nie mający zresztą formalnie charakteru naukowego, okazał się być bardzo istotnym źródłem funduszy na działania digitalizacyjne dla ponad 20 polskich ośrodków naukowych gromadzących dane przyrodnicze, które obecnie realizują równoległe kilka przedsięwzięć o zbliżonym charakterze¹¹. Warto zwrócić uwagę na fakt, że większość z nich postawiła na GBIF jako zewnętrzną platformę udostępniania danych przyrodniczych (zewnętrzne repozytorium), co sprawi, że niezależnie od zakresu integracji systemów na poziomie krajowym, dane wyjściowe z działań digitalizacyjnych wszystkich zaangażowanych instytucji będą mieć wspólną platformę dostępu. GBIF realizuje od początku swego istnienia zasady FAIR (na długo zanim ukuto ten termin), stając się obecnie uniwersalnym i coraz powszechniej używanym medium dla danych biologicznych poziomu organizmalnego, dotyczących

¹¹Projekty Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa, związane z krajowymi danymi przyrodniczymi:

· AMU Nature Collections - online (AMUNATCOLL): digitalizacja i udostępnianie zasobu danych przyrodniczych Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (2018)

· OZwRCIN - Otwarte Zasoby w Repozytorium Cyfrowym Instytutów Naukowych (2018)

· e-Puszcza. Podlaskie cyfrowe repozytorium przyrodniczych danych naukowych (2019)

· Zintegrowane wirtualne Herbarium Pomorza Herbarium Pomeranicum - digitalizacja i udostępnienie zbiorów herbariów jednostek akademickich Pomorza poprzez ich połączenie i udostępnienie cyfrowe (2019)

· Integracja i mobilizacja danych różnorodności biologicznej Eukaryota w zasobach polskich instytucji naukowych (2020).

⁶www.gbif.org/dataset/search?publishing_country=PL

⁷Portal GBIF w obecnej wersji nie przedstawia daty pierwszego przyłączenia bazy; wcześniejsze działania można śledzić poprzez Internet Archive Wayback Machine.

⁸Np. krajowy www.lepidoptera.eu, www.ornitho.ch (z lokalnymi partnerami w wielu krajach), www.observation.org i wiele innych

⁹www.biomap.pl

¹⁰baza.biomap.pl

Ryc. 2. Schemat planowanego systemu informatycznego KSIB, integrującego dotychczasowe bazy, zasoby projektu Mapa Bioróżnorodności (Baza BioMap), dane z digitalizacji zasobów partnerów projektu IMBIO oraz pozostałe w ramach tworzonego Repozytorium KSIB. Wprowadzanie danych będzie możliwe przez aplikacje (strona www, aplikacje mobilne). Do prezentacji danych będzie służyć nowa wersja portalu Mapa Bioróżnorodności. Na zewnątrz dane prezentowane będą poprzez infrastrukturę GBIF.

Ryc. 3. Dane planowane do digitalizacji w ramach projektu IMBIO w podziale według typu rekordu (okazy/obserwacje) z uwzględnieniem głównych grup organizmów.

Prezentowane wartości dotyczą liczby stwierdzeń – rekordów rozmieszczenia, zdefiniowanych jako związek

występowania gatunków. Jego wybór, dokonany niezależnie przez wiele instytucji, stanowi krok we właściwym kierunku. Krajowe dane wchodzą w ten sposób do globalnego obiegu informacji, a instytucje są włączane do grona jednostek współpracujących Sieć. Obecnie (czerwiec 2021) GBIF dostarcza ponad 1,8 mld danych o rozmieszczeniu organizmów, z czego ponad 180 mln przypada na kolekcje okazów. Wzajemne relacje omówionych tu krajowych zasobów danych w kontekście obecności w GBIF prezentuje Ryc. 2.

Projekt IMBIO jest najszerszym pod względem zakresu, złożoności i bogactwa przetwarzanych treści krajowym przedsięwzięciem digitalizacji danych przyrodniczych. Uczestniczy w nim 18 instytucji, z Uniwersytetem Warszawskim jako liderem (Ryc. 3) planując digitalizację łącznie ponad 9,5 mln rekordów danych (stwierdzeń), z czego ponad 2 mln opierać się będzie na okazach zdeponowanych w kolekcjach, a pozostałe dotyczą

takson – miejsce – czas. Objasnienia skrótów: APS – Akademia Pomorska w Słupsku, IB PAN – Inst. Botaniki im. W. Szafera PAN, IO PAN – Inst. Oceanologii PAN, IOP PAN – Inst. Ochrony Przyrody PAN, ISEZ PAN – Inst. Systematyki i Ewolucji Zwierząt PAN, MG – Muzeum Górnośląskie w Bytomiu, MIR-PIB – Morski Inst. Rybacki – Państwowy Inst. Badawczy, MiIZ PAN – Muzeum i Inst. Zoologii PAN, UG – Uniw. Gdański, UJ – Uniw. Jagielloński, UŁ – Uniw. Łódzki, UO – Uniw. Opolski, UMCS – Uniw. Marii Curie-Skłodowskiej, URK – Uniw. Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, UŚ – Uniw. Śląski w Katowicach, UW – Uniw. Warszawski, UwB – Uniw. w Białymstoku, UWr – Uniw. Wrocławski.

Ryc. 4. Dane planowane do digitalizacji w ramach projektu IMBIO w podziale na partnerów projektu, w rozbiciu na typ źródła (kolekcje okazów, bibliografia, bazy danych, kartoteki, notatki itp.).

Prezentowane wartości dotyczą liczby stwierdzeń – rekordów rozmieszczenia, zdefiniowanych jako związek takson – miejsce – czas.

innych typów źródeł naukowych: kartotek, materiałów publikowanych i niepublikowanych, niedostępnych publicznie starszych baz danych (Ryc. 3, 4). Objęcie tych zasobów jednym projektem umożliwi ich integrację pod względem informatycznym – sprawi, że całość stanie się dostępna na przysłowiowe wyciągnięcie ręki czy raczej za pośrednictwem kilku kliknięć. Ich zewnętrzną platformą dostępu będzie GBIF i powiązane systemy; na gruncie krajowym budowana właśnie nowa wersja portalu Mapa Bioróżnorodności, rozbudowanego o szeroki wachlarz filtrów i możliwości przeszukiwania złożonych treści.

Podejmujemy duże wyzwanie, ze względu na stopień komplikacji organizacyjnej, poziom złożoności danych oraz oczekiwań co do funkcjonalności, a co za tym idzie, uży-

teczności budowanego systemu. Od powodzenia tego planu w znacznej mierze zależy tak oczekiwana poprawa rozpoznawalności i wzrost znaczenia jednostek odpowiedzialnych za badania historii naturalnej. Jestem przekonany, że prezentowane w niniejszym zeszycie KOSMOSU artykuły uczestników projektu doskonale zilustrują głębokość i wielowarstwowość tej tematyki, a także pozwolą uświadomić czytelnikom, jak cenne i niezwykle są zasoby danych przyrodniczych, tworzone i przechowywane przez wyjątkowych ludzi rozsianych „od Bałtyku do Tatr”.

LITERATURA

BAKKER F. T., ANTONELLI A., CLARKE J. A., COOK J. A., EDWARDS S. V., ERICSON P. G. P.,

- FAURBY S., FERRAND N., GELANG M., GILLESPIE R. G., IRESTEDT M., LUNDIN K., LARSSON E., MATOS-MARAVI P., MÜLLER J., VON PROSCHWITZ T., RODERICK G. K., SCHLIEP A., WAHLBERG N., WIEDENHOEFT J., KÄLLERSJÖ M., 2020. *The Global Museum: natural history collections and the future of evolutionary science and public education*. PeerJ. 8, doi: 10.7717/peerj.8225.
- DASZKIEWICZ P., IWAN D., KOWALSKI H., MIERZWA-SZYMKOWIAK D., ZABOROWSKI R. 2016. *Fedorowicz Z., Feliksiak S. 150-lecie Gabinetu Zoologicznego w Warszawie (1818-1968)*. *Memoria Zoológica New Series* 1, 35-38.
- FACHIN D. A., COURI M. S., DE MELLO-PATIU C. A., 2016. *An illustrated catalogue of the types of Stratiomyidae (Diptera: Brachycera) in the collection of Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brazil*. *Zootaxa*, 4084, 361-376.
- HEDRICK B., HEBERLING M., MEINEKE E., TURNER K., GRASSA C., PARK D., KENNEDY J., CLARKE J., COOK J., BLACKBURN D., EDWARDS S., DAVIS C., 2020. *Digitization and the Future of Natural History Collections*. *BioScience*, doi: 10.1093/biosci/biz163.
- GRESHKO M., 2018. *Fire Devastates Brazil's Oldest Science Museum*. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/news-museu-nacional-fire-rio-de-janeiro-natural-history>.
- LANNOM L., KOUREAS D., HARDISTY A., 2019. *FAIR Data and Services in Biodiversity Science and Geoscience*. *Data Intelligence* 2, 122-130.
- MEGA E. R., 2020. *Second Brazilian museum fire in two years reignites calls for reform*. *Nature* 583, 175-176.
- MILLER S., BARROW L., EHLMAN S., GOODHEART J., GREIMAN S., LUTZ H., MISIEWICZ T., SMITH S., TAN M., THAWLEY C., COOK J., LIGHT J., 2020. *Building Natural History Collections for the twenty-first century and beyond*. *BioScience*, doi: 10.1093/biosci/biaa069.
- MOON P., 2018. *A Brazilian mourns what was lost in the National Museum fire*. *Mongabay*, <https://news.mongabay.com/2018/09/a-brazilian-mourns-what-was-lost-in-the-national-museum-fire>.
- SANTOS D., RIBEIRO G. C., CABRAL A. D., SPERANCA M. A., 2018. *A non-destructive enzymatic method to extract DNA from arthropod specimens: Implications for morphological and molecular studies*. *PLoS One*, 13, doi: 10.1371/journal.pone.0192200.
- TOKARSKA-GUZIŁ B., CHYBIORZ R., PARUSEL J. B., 2015. *Baza Danych Przestrzennych w zarządzaniu zasobami środowiska przyrodniczego Województwa Śląskiego*. Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katowice.
- TYKARSKI P., 2015. *Ogólnodostępne systemy gromadzenia danych o różnorodności biologicznej i możliwości ich wykorzystania*. [W:] *Baza Danych Przestrzennych w zarządzaniu zasobami środowiska przyrodniczego Województwa Śląskiego*. TOKARSKA-GUZIŁ B., CHYBIORZ R., PARUSEL J. B. (red). Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katowice. 53-65.
- WANDELER P., HOECK P. E. A., KELLER L. F., 2007. *Back to the future: museum specimens in population genetics*. *Trends Ecol. Evol.* 22, 634-642.
- WEBSTER M. S., 2017. *The Extended Specimen: Emerging Frontiers in Collections-based Ornithological Research: Emerging Frontiers in Collections-Based Ornithological Research*. CRC Press, doi: 10.1201/9781315120454.
- WIPFLER B., POHL H., YAVORSKAYA M. I., BEUTEL R. G., 2016. *A review of methods for analysing insect structures — the role of morphology in the age of phylogenomics*. *Curr. Opin. Insect Science*, 18, 60-68.

Prof. Tykarski

Fundusze
Europejskie
Polska Cyfrowa

Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego