



Wielopoziomowe archiwa cyfrowe jako narzędzie zrównoważonego zarządzania zasobami cyfrowymi

Aneta Januszko-Szakiel

Uniwersytet Jagielloński / Jagiellonian University (Poland)
aneta.januszko-szakiel@uj.edu.pl, ORCID 0000-0002-9309-8136

STRESZCZENIE

Zrównoważone archiwa cyfrowe to zasobooszczędne platformy zarządzania atrybutami obiektów cyfrowych, takimi jak: dostępność, autentyczność, integralność, poufność, użyteczność, spójność z wymogami prawa, standardami jakości i celami archiwów. To także podejście w archiwizacji cyfrowej, w którym optymalizowany jest wpływ środowiskowy kompletnego otoczenia zapisu i odczytu obiektów cyfrowych w całym cyklu jego życia. Celem artykułu jest omówienie zagadnienia archiwizacji cyfrowej w kontekście zrównoważonego rozwoju. W tekście przybliżono koncepcję wielopoziomowych archiwów cyfrowych, wskazując na ich potencjał w zrównoważonym zarządzaniu zasobami cyfrowymi. Scharakteryzowano projekt CREDO, który jest rodzimym przykładem poszukiwania rozwiązań dla efektywnej energetycznie archiwizacji zasobów cyfrowych.

SŁOWA KLUCZOWE

archiwizacja
cyfrowa,
wielopoziomowe
archiwa cyfrowe,
zarządzanie cyklem
życia obiektów
cyfrowych,
zrównoważona
archiwizacja
zasobów cyfrowych

Tiered digital archives as a tool for sustainable management of digital resources

ABSTRACT

Sustainable digital archives are resource-efficient platforms for managing the attributes of digital objects, such as accessibility, authenticity, integrity, confidentiality, usability, and consistency with legal requirements, quality standards, and archival goals. It also represents an approach to digital archiving where the environmental impact of the entire environment for writing and reading digital objects is optimized throughout their life cycle.

The article aims to introduce the topic of digital archiving in the context of sustainable development. It explores the concept of tiered digital archives, highlighting their potential for the sustainable management of digital resources. The CREDO project is presented as a domestic example of seeking solutions for energy-efficient archiving of digital resources.

KEYWORDS

digital archiving,
tiered digital
archives, digital
object lifecycle
management,
sustainable digital
archiving

Wprowadzenie

Ideę i definicję zrównoważonego rozwoju przedstawiono po raz pierwszy w Raporcie Brundtland opublikowanym w 1987 r. przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju¹. Przyjęto wówczas założenie, że dążenie do dobrobytu i wzrostu gospodarczego powinno uwzględniać włączenie społeczne i dbałość o środowisko. Za zrównoważony uznano „rozwój odpowiadający obecnym potrzebom bez uszczerbku dla możliwości spełnienia swoich potrzeb przez przyszłe pokolenia”². Oficjalnie zatwierdzono, że będzie to jeden z długoterminowych celów Unii Europejskiej (UE) wpisujących się w założenia art. 3 ust. 3 Traktatu o Unii Europejskiej³. W ślad za tym UE zobowiązała się do realizacji 17 celów sformułowanych w „Agendzie 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju”, opracowanej przez ONZ i przyjętej we wrześniu 2015 r.⁴ Jednym z monitorowanych i sprawozdawanych przez Eurostat wskaźników zgodnych z celami zrównoważonego rozwoju jest efektywność energetyczna, postrzegana jako najbardziej opłacalny sposób ograniczenia emisji, poprawy bezpieczeństwa energetycznego, zwiększenia konkurencyjności i uczynienia zużycia energii bardziej przystępnym cenowo dla wszystkich konsumentów. Efektywność energetyczna znalazła się wśród kluczowych czynników osiągnięcia długoterminowych celów w zakresie energii i klimatu⁵. Dyrektywą 2012/27/UE (z późn. zm. UE/2023/1791) ustanowiono środki na rzecz promowania efektywności energetycznej w Unii, dążąc do osiągnięcia w 2030 r. ambitnego wskaźnika zużycia energii końcowej⁶. Państwa

¹ Parlament Europejski, Dokument Roboczy w Sprawie Przygotowań Do Szczytu Rio+20 – Międzyparlamentarne Posiedzenie Komisji Parlamentu Europejskiego i Parlamentów Krajowych. Komisja Ochrony Środowiska Naturalnego, Zdrowia Publicznego i Bezpieczeństwa Żywności, 28.02.2012, https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/envi/dt/893/893910/893910pl.pdf [dostęp: 1.06.2025].

² Unia Europejska, EUR-Lex, Zrównoważony Rozwój, EUR-Lex, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=legissum%3Asustainable_development [dostęp: 1.06.2025].

³ Ośrodek Informacji i Dokumentacji Europejskiej, Wersja skonsolidowana Traktatu o Unii Europejskiej, https://oide.sejm.gov.pl/oide/index.php?option=com_content&view=article&id=14803&Itemid=945 [dostęp: 1.06.2025].

⁴ Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, Ministerstwo Rozwoju i Technologii – Agenda 2030, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/agenda-2030> [dostęp: 1.06.2025].

⁵ European Commission, Statistical Office of the European Union. Sustainable Development in the European Union: Monitoring Report on Progress towards the SDGs in an EU, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2785/403194> [dostęp: 1.06.2025].

⁶ Eurostat, Energy efficiency statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_efficiency_statistics [dostęp: 1.06.2025].

UE zostały tym samym wezwane do uwzględniania efektywności energetycznej we wszystkich istotnych decyzjach inwestycyjnych podejmowanych w sektorach energetycznym i nieenergetycznym⁷. Bezpośredni asumpt do niniejszych rozważań dostarczył program Komisji Europejskiej „Droga ku cyfrowej dekadzie”, obowiązujący do 2030 r.⁸, w którego cele ogólne wpisano m.in. zrównoważoność. Zgodnie z aktem prawnym infrastruktura cyfrowa, urządzenia i technologie cyfrowe powinny stać się bardziej energo- i zasobooszczędne. Od ludzi natomiast oczekuje się świadomości tego, jaki wpływ na środowisko mają używane przez nich urządzenia i ile zużywają energii⁹.

W artykule przyjęto założenie, że realizacja celów zrównoważonego rozwoju implikuje zmiany w krajobrazie funkcjonowania archiwów cyfrowych i tym samym termin „archiwizacja cyfrowa” wymaga rozszerzenia o aspekt zrównoważoności.

Celem artykułu jest przedstawienie wypracowanych koncepcji i rozwiązań, na podstawie których archiwa cyfrowe są w stanie sprostać wyzwaniom zrównoważonego rozwoju. Szczególny potencjał wydaje się tkwić w wielopoziomowych archiwach cyfrowych i zarządzaniu cyklem życia cyfrowych obiektów. Z zastosowaniem metody studium przypadku przedstawiono najważniejsze założenia projektu CREDO – polskiego przykładu efektywnej energetycznie wielopoziomowej archiwizacji cyfrowej. Pomocniczo posłużono się metodą analizy i krytyki piśmiennictwa, aby zidentyfikować i zaprezentować wybrane środowiskowe aspekty długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych jako punkt wyjścia dla rozważań o wielopoziomowym składowaniu zasobów cyfrowych.

Użyte w artykule terminy „zasoby cyfrowe”, „obiekty cyfrowe” i „materiały cyfrowe” nie odnoszą się do jednego konkretnego rodzaju treści cyfrowych. Opracowanie niniejsze dotyczy ogółu dokumentów cyfrowych gromadzonych i przechowywanych na platformach informatycznych instytucji i organizacji sektora nauki, kultury, administracji i biznesu. Podobnie terminy „archiwum cyfrowe” i „repozytorium cyfrowe” nie odnoszą się w artykule do precyzyjnie określonego syste-

⁷ Komisja Europejska, Cele na rok 2030, https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_pl [dostęp: 1.06.2025].

⁸ Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiająca program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r. (Tekst mający znaczenie dla EOG), 323 OJ L (2022), <http://data.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj/pol> [dostęp: 1.06.2025].

⁹ Komisja Europejska, Cyfrowa dekada Europy: cele na 2030 r., https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_pl [dostęp: 1.06.2025].

mu deponowania zasobów cyfrowych. Podjęte rozważania i sformułowane wnioski mogą okazać się pomocne w różnych przedsięwzięciach na rzecz tworzenia i utrzymywania systemów bieżącego i długoterminowego zarządzania różnorodnymi zasobami cyfrowymi, z myślą o obecnych i przyszłych potrzebach informacyjnych i poznawczych zdywersyfikowanych środowisk i grup użytkowników.

Archiwa wielopoziomowe w zarządzaniu cyklem życia obiektów cyfrowych

Wielopoziomowe archiwum cyfrowe to koncepcja przedstawiona w artykule badawczym *Toward Environmentally Sustainable Digital Preservation* opublikowanym w czasopiśmie „American Archivist” w 2019 r.¹⁰ Wpisuje się ona w strategię zarządzania danymi, w której te są oceniane wielokrotnie w całym cyklu ich życia¹¹, kategoryzowane i przechowywane na różnych poziomach (*tiers*) w zależności od ich ważności, częstotliwości dostępu i wymagań dotyczących wydajności¹². Rozwiązanie jest inspirowane hierarchicznym modelem przechowywania danych i informacji w infrastrukturze IT, w którym uwzględnia się potrzeby związane np. z dostępnością danych wrażliwych, retencją danych, kosztami ich składowania oraz innymi celami i interesami organizacji zarządzających zasobami danych i informacji¹³. Koncepcja wielopoziomowego archiwum cyfrowego czerpie także z podejścia do zarządzania obiektami cyfrowymi, w którym uwzględnia się zmiany wybranych parametrów obiektów cyfrowych zachodzące na różnych etapach cyklu ich życia i kwalifikuje je albo do niekwestionowanej ochrony w archiwach długoterminowych, z myślą o przyszłych pokoleniach użytkowników, albo do bieżącego użytkowania w depozytach otwartych, albo do rozwiązań pośrednich, łączących różne podejścia. Sedno niniejszej koncepcji tkwi w zmianie stosowanych dotychczas praktyk archiwalnych, opartych głównie na wartościowaniu zasobów cyfrowych pod kątem znaczenia historycznego, kulturowego i naukowego, na

¹⁰ K.L. Pendergrass, W. Sampson, T. Walsh, L. Alagna, *Toward Environmentally Sustainable Digital Preservation*, „The American Archivist” 2019, nr 1(82), s. 165–206, <https://doi.org/10.17723/0360-9081-82.1.165>.

¹¹ University of Free State, LibGuides, Digital Curation Lifecycle Model – Digital preservation, <https://ufs.libguides.com/c.php?g=1113411&p=8118663> [dostęp: 17.08.2025].

¹² K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*, s. 173–175, 180–187.

¹³ A. Patino, *What is tiered storage?*, Aerospike (blog), 1.05.2025, <https://aerospike.com/blog/tiered-storage-guide/> [dostęp: 17.08.2025].

rzecz modelu uwzględniającego również koszt środowiskowy. Redukcja ogólnego śladu cyfrowego bazuje na optymalizacji warunków przechowywania zasobów (okres archiwizacji, niżej- lub wyżej energochłonna warstwa archiwizacji, koszt energetyczny i ekonomiczny wytworzenia, bieżące działanie i utylizacja zastosowanych technologii) na podstawie oceny określonych parametrów obiektów cyfrowych oraz zasad ich migrowania pomiędzy poszczególnymi warstwami archiwum w ciągu cyklu życia zarówno obiektu cyfrowego, jak i cyklu życia technologii ICT niezbędnej do archiwizacji¹⁴. W proponowany koncept wpisana jest idea bieżącego dostosowywania warunków archiwizacji do zmieniających się potrzeb użytkowników i wartości obiektu oraz założenia, że „nie wszystko musi być zachowane”¹⁵ lub że należy „zachowywać mniej”¹⁶. Podejście to nie jest typowym rozwiązaniem tzw. zielonej archiwizacji, która ma na celu zmniejszenie ilości przechowywanych informacji poprzez zniszczenie, bezpowrotne wyeliminowanie tych, które utraciły swoją wartość¹⁷. Niezbędny element wielopoziomowej archiwizacji cyfrowej to zarządzanie obiektami cyfrowymi w całym cyklu ich życia, od momentu ich utworzenia do usunięcia. Ważnym procesem jest tu okresowa ocena wartości oraz przydatności obiektu cyfrowego i – na tej podstawie – wybór najbardziej odpowiedniej i efektywnej kosztowo infrastruktury ICT do przechowywania¹⁸. W wyniku oceny obiekty cyfrowe mogą zostać skierowane albo do długoterminowej archiwizacji, albo do usunięcia. Mogą również, w zależności od rodzaju archiwum i specyfiki gromadzonych zasobów, pozostawać w bieżącym dostępie dla użytkowników. W całym okresie istnienia obiektu cyfrowego może zmieniać się jego wartość oraz potrzeby dotyczące użytkowania, tym samym zmieniać mogą się warunki przechowywania i udostępniania.

W zależności od przyjętych kryteriów oceny obiekty cyfrowe można kwalifikować do przechowywania w tzw. archiwach ciemnych lub głębokich¹⁹. Terminy

¹⁴ Climate – Sustainability Directory, Green Digital Preservation, <https://climate.sustainability-directory.com/term/green-digital-preservation> [dostęp: 1.06.2025].

¹⁵ Ibidem.

¹⁶ T. Frick, *Digital Sustainability: How to Get Started Today*, Mightybytes (blog), 19.07.2022, <https://www.mightybytes.com/blog/digital-sustainability/> [dostęp: 1.06.2025].

¹⁷ K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*

¹⁸ SAP Help Portal, Information Lifecycle Management, https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_CLOUD/a630d57fc5004c6383e7a81efee7a8bb/3c9d33dde6154f71863f994262a584fd.html [dostęp: 1.06.2025].

¹⁹ *Digital Preservation: Putting It to Work*, Computational Intelligence, t. 700, red. T. Traczyk, W. Ogryczak, P. Pałka, T. Śliwiński, Bazylea 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-51801_5; C. Pernet, C. Svarer, R. Blair, J.D. Van Horn, R.A. Poldrack, *On the Long-term Archiving of Research*

te bywają używane zamiennie, a same definicje nie wskazują na cechy charakterystyczne, na podstawie których można by je odróżnić. Występują one zazwyczaj w modelu zarządzania obiektami cyfrowymi na podstawie kryterium dostępności. Znakiem rozpoznawczym archiwów ciemnych jest ograniczony lub całkowicie niemożliwy dostęp do zasobów jako kluczowy element strategii archiwizacji²⁰. Dostęp przyznawany jest nielicznym, upoważnionym osobom, co minimalizuje ryzyko przypadkowych lub zamierzonych złośliwych manipulacji danymi. Udostępnienie następuje tylko w przypadkach szczególnych, w sytuacji tzw. zdarzeń wyzwalających (ang. *trigger events*)²¹. Archiwa ciemne służą także jako kopie zapasowe materiałów cyfrowych, które mogą zostać wykorzystane w przypadku niedostępności oryginalnego źródła²². Ich głównym celem jest archiwizacja długoterminowa. Koncentrują się na ochronie atrybutów bezpieczeństwa obiektów cyfrowych, głównie integralności. Inicjatywy takie jak CLOCKSS²³ i Portico²⁴ są przykładami ciemnych archiwów, które zapewniają długoterminową archiwizację cyfrowych zasobów naukowych. Instytucje dziedzictwa kulturowego archiwizują i chronią dokumenty historyczne, fotografie, materiały audiowizualne i inne artefakty kulturowe w archiwach ciemnych, z dostępem ograniczonym na stałe lub okresowo, np. w fazie poprzedzającej ich publiczne udostępnienie²⁵. Archiwa ciemne można traktować jako najgłębszą warstwę większego systemu archiwizacji zasobów cyfrowych, do której kwalifikuje się obiekty używane najrzadziej, w sytuacjach awaryjnych.

W odniesieniu do kryterium intensywności użytkowania obiektów cyfrowych możliwe jest przyjęcie podziału archiwów na tzw. gorące, ciepłe i zimne. Obiekty aktywnie wykorzystywane składuje się w archiwach gorących, używane rzadziej trafiają do archiwów ciepłych, a te przeznaczone do długoterminowej archiwizacji

Data, „Neuroinformatics” 2023, t. 21(2), s. 243–246, <https://doi.org/10.1007/s12021-023-09621-x>.

²⁰ M. Smithers, *The Role of Dark Archives in Ensuring Document Preservation and Disaster Recovery*, CLOCKSS (blog), 22.08.2024, <https://clockss.org/the-role-of-dark-archives/> [dostęp: 1.06.2025].

²¹ WILEY, What Is a Dark Archive?, <https://www.wiley.com/en-us/network/publishing/societies/publishing-strategy/what-is-a-dark-archive> [dostęp: 1.06.2025].

²² Ibidem.

²³ CLOCKSS, Homepage, <https://clockss.org/> [dostęp: 1.06.2025].

²⁴ Portico, Homepage, <https://www.portico.org/> [dostęp: 1.06.2025].

²⁵ The Signal, What Do you mean by Archive? Genres of Usage for Digital Preservers, <https://blogs.loc.gov/thesignal/2014/02/what-do-you-mean-by-archive-genres-of-usage-for-digital-preservers/> [dostęp: 1.06.2025].

umieszcza się w archiwach zimnych. Zarządzanie odbywa się z uwzględnieniem polityki retencji, poziomu krytyczności treści, zasad przenoszenia obiektów między archiwami na podstawie określonych kryteriów, które mogą zmieniać się w czasie, np. okres przechowywania wynikający z przepisów prawnych, potrzeby deponentów, interesy depozytariuszy itp. Archiwum gorące (*hot storage*) jest przeznaczone dla obiektów, które z racji ich częstego użytkowania wymagają wysokiej wydajności urządzeń. Są to np. aktywne projekty badawcze czy niedawno nabyte zbiory. Ciepłe archiwum (*warm storage*) to miejsce składowania obiektów, do których dostęp jest rzadszy, ale nadal wymagających sprawnego udostępniania i pobierania danych, np. zakończone projekty, archiwalne kopie zapasowe. Trzecie, zimne archiwum (*cold storage*) służy ochronie obiektów archiwalnych, do których dostęp jest sporadyczny i które tolerują dłuższe czasy pobierania, np. zdigitalizowane kolekcje starszych zbiorów²⁶.

Zakwalifikowanie obiektu cyfrowego do składowania w wybranej części archiwum tuż po jego utworzeniu nie powinno oznaczać, że obiekt na zawsze tam pozostanie. Podstawą skutecznej archiwizacji powinna być polityka zarządzania obiektami cyfrowymi w całym cyklu ich życia, której założeniem jest migrowanie obiektów pomiędzy archiwami w zależności od różnych potrzeb i okoliczności, zmian oddziałujących na środowisko archiwum cyfrowego. Zrozumienie specyficznych ról poszczególnych części/warstw systemu przechowywania jest kluczowe dla skutecznej strategii archiwizacji, która uwzględnia zarówno potrzeby bieżącego dostępu, jak i wymagania stawiane długoterminowej archiwizacji.

Warto podjąć dyskusję, czy narzędziem zrównoważonej, energetycznie efektywnej archiwizacji cyfrowej faktycznie mogłoby być warstwowe archiwum cyfrowe rozumiane jako system, w którym obiekty cyfrowe są lokowane w odpowiednio energooszczędnych warstwach składowania. W ten sposób zrównoważone archiwa cyfrowe mogłyby zarządzać poziomem zapotrzebowania na energię, generować wymierne korzyści ekonomiczne oraz mieć realny wpływ na poziom wskaźników efektywności energetycznej, czyli osiągnięcie celu polityki zrównoważonego rozwoju.

Dodatkowym atutem wielopoziomowych archiwów cyfrowych jest szansa ochrony tych obiektów cyfrowych, które z racji np. niskiego poziomu zainteresowania odbiorców, nieoczywistej wartości historycznej, kulturowej, wątpliwej

²⁶ NAKIVO Team, *Storage Tiering Guide for Data Archival*, Nakivo (blog), 6.02.2023, <https://www.nakivo.com/blog/storage-tiering/> [dostęp: 1.06.2025].

przydatności naukowej, zostałyby wyeliminowane z procesu trwałej ochrony i skierowane do usunięcia, aby nie generować kosztów archiwizacji zasobów o niskiej przydatności. Zasoby te można by jednak „uratować”, umieszczając je w energooszczędnych warstwach ciemnych (głębokich), obejmując tzw. archiwizację pasywną²⁷. Warstwy ciemne generowałyby oszczędności, dlatego że nie wymaga się od nich funkcjonalności typowych dla aktywnego systemu archiwizacji. Służyłyby celom trwałego przechowania treści, a nie bieżącemu udostępnianiu²⁸.

Z powyższego wynika, że cechą charakterystyczną wielopoziomowych archiwów cyfrowych jest hierarchiczna i hybrydowa architektura, która umożliwia:

- a) elastyczne modelowanie strategii zarządzania obiektami cyfrowymi na każdym etapie cyklu ich życia,
- b) w zależności od wyniku oceny parametrów wartości, trwałości i dostępności obiektów cyfrowych migrowanie ich pomiędzy warstwami archiwum o różnej energochłonności,
- c) zmianę statusów otwartości archiwum, dostępności zasobów, czasu oczekiwania na udostępnienie treści obiektu cyfrowego,
- d) optymalizację kosztów oraz wpływu środowiskowego poprzez dobór i łączenie różnych rodzajów nośników, np. lokalnych nośników taśmowych z rozwiązaniami chmurowymi.

Istotnym dopełnieniem zrównoważonych archiwów cyfrowych wydają się być, według modelu OAIS, aktywne „czujniki” w obszarach Technology Watch, Community Watch i Preservation Watch²⁹. Środowisko infrastrukturalne procesów gromadzenia, przechowywania i udostępniania zasobów cyfrowych powinny współtworzyć optymalnie dobrane komponenty pochodzące ze zrównoważonych procesów produkcyjnych i logistycznych. Elementem niezbędnym takiego

²⁷ F. Rosseel, *What Is Digital Archiving, and How to Do It: An Implementation and Significance Guide*, DOCTYPE (blog), 13.12.2023, <https://www.docbyte.com/what-is-digital-archiving/> [dostęp: 1.06.2025].

²⁸ *Terminology for the creation, care, and storage of digital materials*, „Conserve O Gram” 2011, nr 22(6), s. 1–7, https://www.nps.gov/subjects/museums/upload/22-06_508.pdf [dostęp: 1.06.2025].

²⁹ The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), Recommendation for Space Data System Practices. Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Recommended practice, 2024, https://ccsds.org/wp-content/uploads/gravity_forms/5-448e85c647331d9cbaf66c096458bdd5/2025/01/650x0m3.pdf [dostęp: 1.06.2025].

archiwum jest zrównoważona polityka postępowania z e-odpadami (recykling, abcykling itp.)³⁰.

Cyfrowe Repozytorium Dokumentów CREDO – studium przypadku

Cyfrowe Repozytorium Dokumentów – CREDO³¹ to projekt realizowany w latach 2013–2016 w ramach przedsięwzięcia pilotażowego dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) pod nazwą „Wsparcie badań naukowych i prac rozwojowych w skali demonstracyjnej DEMONSTRATOR+”. Konsorcjum realizujące projekt utworzyły Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych S.A. – w roli lidera konsorcjum, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej oraz Skytechnology sp. z o.o. Zgodnie z oficjalnym komunikatem za cel projektu przyjęto:

„[...] opracowanie i uruchomienie demonstracyjnej wersji repozytorium dokumentów o wielkości 2 PB (1 petabajt to pojemność 1000 terabajtów, odpowiada to pojemności dysków ok. 4 tysięcy domowych komputerów), umożliwiającego efektywne i bezpieczne przechowywanie i archiwizację wielkich wolumenów zasobów cyfrowych zarówno w okresach krótko-, jak i długoterminowych”³².

Projekt CREDO był odpowiedzią na kluczowe wyzwania długotrwałego przechowywania danych w formie cyfrowej, takie jak: nietrwałość nośników (brak trwałych metod zapisu dużych wolumenów informacji cyfrowej), ewolucja formatów danych (formaty cyfrowe ewoluują bez gwarancji wstecznej zgodności, co utrudnia interpretację danych w przyszłości), nietrwałość samego archiwum (brak gwarancji trwałego funkcjonowania archiwum z racji zmieniających się uwarunkowań natury organizacyjnej, prawnej i finansowej), ryzyko utraty dostępności oraz możliwości odczytu i interpretacji treści obiektów cyfrowych

³⁰ Parlament Europejski, Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny w UE: fakty i liczby (infografika), 23.12.2020, <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20201208STO93325/zuzyty-sprzet-elektryczny-i-elektroniczny-w-ue-fakty-i-liczby-infografika> [dostęp: 1.06.2025].

³¹ Projekt CREDO, <https://www.pwppw.pl/Inne/Credo.html> [dostęp: 19.07.2025]; P. Pałka, T. Śliwiński, T. Traczyk, *Problemy długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych na przykładzie projektu CREDO*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2020, nr 4(24), s. 27-39, https://doi.org/10.14313/PAR_238/27 [dostęp: 1.06.2025].

³² Projekt CREDO.

(brak metadanych opisowych, technicznych, strukturalnych, konserwatorskich, prawnych i administracyjnych jako narzędzi efektywnego wyszukiwania i prawidłowej interpretacji treści zasobów)³³.

Projekt był kompleksowym rozwiązaniem dla bezpiecznej i efektywnej archiwizacji cyfrowej w perspektywie krótko- i długoterminowej. Stanowił też rodzi-my przykład poszukiwania rozwiązań optymalizacji zużycia energii w obszarze archiwizacji zasobów cyfrowych poprzez harmonogramowanie dostępu do archiwizowanych danych³⁴.

Repozytorium CREDO miałoby funkcjonować jako:

- bezpieczny depozyt danych cyfrowych oferujący usługi przechowywania i udostępniania plików cyfrowych, gdzie zarządzanie plikami pozostaje po stronie użytkownika,
- archiwum krótkoterminowe, zapewniające przechowywanie zbiorów cyfrowych wraz z ich metadanymi, udostępnianych na żądanie,
- archiwum długoterminowe, gwarantujące bezpieczne przechowywanie zasobów cyfrowych pomimo dynamicznie zmieniających się technologii przechowywania danych, ograniczonej trwałości nośników, zmieniających się formatów zapisu oraz ryzyka utraty możliwości odczytu i interpretacji treści zbiorów³⁵.

W przypadku archiwum długoterminowego CREDO został zaprojektowany jako archiwum głębokie, które działa zgodnie z zasadami zawartymi w powszechnie przyjętym standardzie OAIS³⁶ i dodatkowo zarządza dostępem do przechowywanych zasobów. Dostęp nie jest realizowany „na żądanie”, lecz „na zamówienie” – odbywa się nie natychmiast, lecz według zaplanowanego wcześniej, zoptymalizowanego harmonogramu³⁷. Generowanie oszczędności jest możliwe poprzez okresowe wyłączanie zasilania części urządzeń lub stosowanie nośników niewymagających stałego zasilania, jak taśmy czy płyty CD³⁸. Prowadzi to jednak do pogorszenia dostępności obiektów cyfrowych, bowiem nośniki te charakteryzuje dłuższy czas dostępu niż ma to miejsce w przypadku pamięci dyskowej, oraz

³³ P. Pałka, T. Śliwiński, T. Traczyk, *Problemy długoterminowej...*, s. 31–32.

³⁴ Ibidem, s. 27, 33, 34, 37.

³⁵ Ibidem, s. 27–28, 29, 31, 32.

³⁶ Recommendation for Space Data System Practices...

³⁷ P. Pałka, T. Śliwiński, T. Traczyk, W. Ogryczak, *Persistence management in digital document repository* [w:] *Beyond Databases, Architectures and Structures. Advanced Technologies for Data Mining and Knowledge Discovery. 12th International Conference BDAS*, red. S. Kozielski i in., Ustroń 2016, s. 668–682, https://doi.org/10.1007/978-3-319-34099-9_52.

³⁸ P. Pałka, T. Śliwiński, T. Traczyk, *Problemy długoterminowej...*, s. 29–30.

to, że raczej nie są przeznaczone do częstego udostępniania³⁹. Zminimalizowanie kosztów energii może jednak wydłużyć czas dostępu do kilku dni, a nawet tygodni⁴⁰.

W projekcie uwzględniono potrzebę zapewnienia użyteczności zasobów przechowywanych w cyfrowym archiwum – które wykracza poza niezawodne składowanie plików, a zapewnia również skuteczne wyszukiwanie informacji – weryfikację jej autentyczności oraz prawidłową interpretację – zarówno w aspekcie technicznym (format danych), jak i semantycznym (zrozumienie kontekstu informacji)⁴¹. Architektura CREDO pozwala na automatyczną migrację danych na nowe nośniki i obsługę różnych typów pamięci, w tym dysków SSD; w wersji demonstracyjnej wykorzystano także, w niewielkim zakresie, bibliotekę taśm LTO⁴². Metadane umożliwiają sprawne wyszukiwanie, weryfikację autentyczności i prawidłową interpretację treści obiektów cyfrowych. W przedmiotowym projekcie mają one status komponentu kluczowego dla użyteczności informacji przechowywanej w archiwum cyfrowym, zwłaszcza w długiej perspektywie. CREDO przechowuje wiele rodzajów metadanych (opisowe, techniczne, strukturalne, konserwatorskie, prawne, administracyjne). W CREDO zastosowano standard opisu metadanych Dublin Core Metadata Element Set (DCMES) w celu ich ujednolicenia i efektywnego wyszukiwania.

CREDO dąży do zapewnienia trwałości obiektów cyfrowych poprzez szereg mechanizmów. Są to: replikacje – system stosuje replikację niskopoziomową na poziomie systemu plików i wysokopoziomową, zarządzaną przez archiwum, na poziomie całych pakietów archiwalnych (pakiety AIP wg modelu OAIS); dyslokacja – kopie zasobów są rozproszone w co najmniej dwóch odległych lokalizacjach, co zabezpiecza przed awariami punktowymi i katastrofami; monitorowanie stanu zasobów i sprzętu – cyklicznie kontrolowane są sumy kontrolne (SHA-256) na poziomie niskopoziomowym i poprawność skrótów cyfrowych pakietów na poziomie archiwum. System oblicza prawdopodobieństwo awarii nośnika i obszaru, planując operacje konserwacyjne z wyprzedzeniem, szczególnie dla nośników archiwum głębokiego, które są przez większość czasu wyłączone⁴³.

³⁹ Ibidem, s. 29

⁴⁰ Ibidem.

⁴¹ Ibidem, s. 27

⁴² Ibidem, s. 33.

⁴³ Ibidem, s. 33–34.

W wyniku projektu system CREDO osiągnął najwyższy poziom gotowości technologicznej i uzyskał status produktu rynkowego. Jednak ostatecznie, z przyczyn obiektywnych, nie został zaimplementowany w działalności gospodarczej⁴⁴.

Podsumowując, projekt CREDO odnosi się do bardzo ważnego, lecz wciąż niedostrzeganego problemu długoterminowego przechowywania zasobów cyfrowych. Twórcy CREDO zauważają, że jest to problem nie tylko techniczny, ale wręcz cywilizacyjny. Bez skutecznych metod długotrwałego, wieczystego zachowania danych cyfrowych ludzkość ryzykuje utratę znaczącej części swojej historii i kultury, zwłaszcza tej powstałej cyfrowo (ang. *born digital*).

Ekologiczny aspekt długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych

Kwestia ekologii, ochrony środowiska, ilości energii elektrycznej niezbędnej do długotrwałej archiwizacji, tj. utrzymania w długim czasie dostępności i użyteczności cyfrowych obiektów, pomimo że bardzo ważna i pilna, podnoszona jest wciąż tylko w nielicznych instytucjach i organizacjach odpowiedzialnych za trwałe przechowanie pamięci. Jedną z pierwszych oficjalnych i udokumentowanych dyskusji na temat ekologicznych aspektów archiwizacji cyfrowej odbyła się w 2010 r. podczas konferencji iPRES pt. „How Green is Digital Preservation”⁴⁵. Uczestnicy reprezentujący różne organizacje (JISC, Internet Archive, Digital Preservation Coalition, Uniwersytet Strathclyde, LOCKSS), poddali pod dyskusję możliwy konflikt między celami archiwów cyfrowych a interesami środowiskowymi. Przyznano, że skuteczność zachowania dziedzictwa cyfrowego jest ściśle powiązana z rosnącym zapotrzebowaniem na przestrzeń serwerową i energetyczną, co stanowi coraz wyraźniejszy problem. Konkluzję dyskusji stanowiła sugestia o znaczeniu i potrzebie zarządzania cyklem życia zasobów cyfrowych, co mogłoby mieć przełożenie na zmniejszenie ilości obiektów wymagających przechowywania, tym samym pozytywnie wpłynęłoby na zużycie energii⁴⁶.

⁴⁴ Informacja pochodzi z wywiadu telefonicznego przeprowadzonego w lipcu 2025 r. Odpowiedzi udzielił jeden z badaczy realizujących projekt oraz współautor artykułu pt. *Problemy długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych na przykładzie projektu CREDO* (2020).

⁴⁵ N. Grindley, K. Carpenter, Negulescu, W. Kilbride, D. Macdonald, D. Rosenthal, *Panel discussion: How green is digital preservation?*, <https://www.ifs.tuwienn.ac.at/dp/ipres2010/img/GrindleyGreenPreservationPanel.pdf> [dostęp: 1.06.2025].

⁴⁶ Ibidem.

Koszt energii jest bowiem uznawany za jeden z głównych kosztów operacyjnych archiwum cyfrowego, dlatego tak istotne jest poszukiwanie rozwiązań w zakresie efektywności energetycznej i ekonomicznej⁴⁷. Temat wyzwań, jakie zmiany klimatyczne stawiają przed długoterminowym przechowywaniem obiektów cyfrowych, wybrzmiał również podczas ubiegłorocznej konferencji iPRES (International Conference on Digital Preservation – edycja 2024)⁴⁸. Metody obliczania wpływu CO₂ generowanego przez ich globalne usługi depozytu elektronicznego zaprezentowały m.in. organizacje CLOCKSS⁴⁹ i DIMPACT⁵⁰, inspirując tym samym uczestników do dokładniejszej analizy własnych procesów archiwizacji. Z kolei przedstawiciele CSC – IT Center for Science⁵¹ zaprezentowali model obliczania śladu węglowego stosowanego sprzętu ICT⁵². W komunikacji naukowej i wymianie dobrych praktyk archiwizacji cyfrowej ważną rolę odgrywa także Digital Preservation Coalition (DPC)⁵³ – organizacja, która oprócz upowszechniania wiedzy zajmuje się także rozwojem, promocją i dostarczaniem narzędzi dla pracy archiwistów cyfrowych. Aktywny rozwój oraz popularyzację wytycznych i dobrych praktyk archiwizacji cyfrowej wspierają ponadto Międzynarodowa Federacja Stowarzyszeń i Instytucji Bibliotekarskich (IFLA)⁵⁴ oraz Preservica⁵⁵, sygnalizując potrzebę odejścia od inicjatyw izolowanych na rzecz bardziej spójnego, sektorowego ruchu poszukiwania i stosowania niskokosztowych rozwiązań dla efektywnego energetycznie zarządzania zasobami cyfrowymi w długim czasie.

W wielu miejscach na świecie zrealizowano szereg badań jednoznacznie wskazujących na pilną potrzebę zmiany paradygmatu w dziedzinie archiwizacji zasobów cyfrowych. Wybrane z nich wskazują np. na toksyczność e-odpadów. Niekontrolowana utylizacja nośników magnetycznych (taśm, dysków) prowadzi do skażenia

⁴⁷ T. Traczyk, *Requirements for Digital Preservation* [w:] *Digital Preservation...*, s. 3–13.

⁴⁸ iPRES 2024, <https://ipres2024.pubpub.org/> [dostęp: 1.06.2025].

⁴⁹ CLOCKSS...

⁵⁰ DIMPACT, Homepage, <https://dimpact.org/about> [dostęp: 1.06.2025].

⁵¹ SCS, IT Center for Science, Homepage, <https://csc.fi/en/> [dostęp: 1.06.2025].

⁵² M. Tiainen, H. Helin, J. Kylander, J. Lehtonen, *A Generic Carbon Footprint Model*, 16.09.2024, poster zaprezentowany na International Conference on Digital Preservation, Gandawa, 16–20.09.2024, <https://doi.org/10.5281/zenodo.13683021> [dostęp: 1.06.2025].

⁵³ Digital Preservation Coalition, Homepage, <https://www.dpconline.org/> [dostęp: 1.06.2025].

⁵⁴ IFLA, Guidelines for Green and Sustainable Libraries, <https://www.ifla.org/news/coming-soon-ifla-guidelines-for-green-and-sustainable-libraries/> [dostęp: 1.06.2025].

⁵⁵ Preservica. Digital Preservation Sustainability Charter, <https://preservica.com/sustainability> [dostęp: 1.06.2025].

gleb i wód metalami ciężkimi (ołowiem, kadmem)⁵⁶. W innych badaniach stwierdzono w ghańskich składowiskach e-odpadów 100-krotne przekroczenie dopuszczalnych poziomów toksyn względem norm Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)⁵⁷. Ustalono, że większość emisji z usług archiwizacji cyfrowej pochodzi z produkcji i transportu sprzętu, natomiast okres jego eksploatacji odgrywa mniejszą rolę⁵⁸, co wskazuje na znaczenie zrównoważonych praktyk zakupowych i długowieczności produktów. Kluczowe staje się zatem wydłużanie żywotności sprzętu, ponowne wykorzystywanie komponentów infrastruktury⁵⁹ i nade wszystko odpowiedzialne usuwanie sprzętu przestarzałego⁶⁰. Na podstawie badań ustalono także, że tzw. energia wbudowana (ang. *embodied energy* – energia „ucieleśniona” zużywana w procesach produkcji i transportu komponentów infrastruktury archiwizacji cyfrowej) jest głównym czynnikiem wpływającym na ślad węglowy, kwestionując tym samym powszechne przekonanie, że zużycie energii podczas eksploatacji jest jedynym lub głównym problemem środowiskowym. Oznacza to, że działania skoncentrowane na ochronie zasobów cyfrowych muszą zostać rozszerzone „w górę łańcucha”, do zamówień sprzętu (wybór produktów o niższej energii wbudowanej i dłuższej żywotności), oraz „w dół łańcucha” – do odpowiedzialnego zarządzania e-odpadami i recyklingu⁶¹. To znacząco rozszerza zakres odpowiedzialności archiwistów cyfrowych, wskazując na potrzebę wyjścia poza samo zarządzanie aktywnymi systemami gromadzenia i przechowywania obiektów cyfrowych⁶².

Zrównoważona archiwizacja cyfrowa – definicja

W przyjętych i stosowanych dotychczas ujęciach definicyjnych archiwizacja cyfrowa i archiwa cyfrowe są postrzegane jako przedsięwzięcia i systemy złożone z ludzi, narzędzi ich pracy, a także z rozwiązań organizacyjnych, prawnych

⁵⁶ IASA Annual Conference 2015, The Environmental Impact of Digital Preservation, <https://2015.iasa-web.org/fr/node/47.html> [dostęp: 1.06.2025].

⁵⁷ European Commission, Keys to Sustainable Digital Archiving. Shaping Europe's Digital Future, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/keys-sustainable-digital-archiving> [dostęp: 1.06.2025].

⁵⁸ T. Frick, *Digital Sustainability...*

⁵⁹ K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*, s.173.

⁶⁰ Climate – Sustainability Directory...

⁶¹ Ibidem.

⁶² Ibidem.

i ekonomicznych, powołanych w celu zgromadzenia, przechowania oraz zapewnienia obecnym i przyszłym pokoleniom dostępności i użyteczności⁶³, autentycznego, integralnego i poufnego materiału cyfrowego⁶⁴. W zależności od typu gromadzonych obiektów cyfrowych, charakteru instytucji i organizacji, przy których archiwa cyfrowe działają, także z racji różnic w realizowanych przez nie celach, systemy te bywają określane mianem cyfrowych archiwów, bibliotek, repozytoriów bądź depozytów. W każdym przypadku, bez względu na nazwę i cel, należy je postrzegać jako platformy zarządzania, w szczególności gromadzenia, bezpiecznego przechowywania, także wyszukiwania i udostępniania obiektów cyfrowych i ich metadanych, posadowione na infrastrukturze informatycznej, w otoczeniu sprzętowo-programowym niezbędnym do odczytu i interpretacji treści cyfrowych⁶⁵. W znamienitej większości przypadków archiwa cyfrowe to przedsięwzięcia spełniające wszystkie lub wybrane kryteria jakości, np. OAIS⁶⁶, TRUST⁶⁷, NESTOR Siegel⁶⁸. Ich głównym celem jest zapewnienie, że wartościowe zasoby cyfrowe przetrwają przez dziesięcio- a nawet stulecia, niezależnie od zmian technologicznych i wszelkich potencjalnych zagrożeń wywołanych przez człowieka lub naturę. Z analizy treści wymienionych standardów jakości nie wynika jednak wprost, że jakościowe, wiarygodne, certyfikowane archiwa zasobów cyfrowych mają dbać o kwestie ekologii, o redukcję śladu węglowego, stosować rozwiązania na rzecz efektywności energetycznej. Koncentrują się wciąż na innych kluczowych aspektach zapewnienia długoterminowej dostępności autentycznych i integralnych zasobów cyfrowych. Na uwagę zasługuje jednak wprowadzony do najnowszej wersji modelu OAIS (z grudnia 2024 r.) komponent „Preservation Watch”, który wskazuje na konieczność ciągłego monitorowania środowiska archiwizacji. Obejmuje to śledzenie postępów technologicznych, zmieniających się potrzeb użytkowników oraz potencjalnych zagrożeń, które mogłyby wpłynąć na dostępność lub integralność chronionych obiektów cyfro-

⁶³ A. Januszko-Szakiel, *Archiwistyka cyfrowa. Długoterminowa ochrona dziedzictwa nauki i kultury*, Warszawa 2017, s. 10–11.

⁶⁴ Ibidem, s. 19–26, 33–39.

⁶⁵ Ibidem, s. 23, 215.

⁶⁶ The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS)...

⁶⁷ Zendo, CoreTrustSeal Requirements 2023-2025, <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7051011> [dostęp: 1.06.2025].

⁶⁸ NESTOR, nestor-Siegel für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive, https://www.langzeitarchivierung.de/Webs/nestor/DE/Zertifizierung/nestor_Siegel/siegel.html [dostęp: 1.06.2025].

wych. Ma to na celu proaktywne reagowanie na ryzyka i adaptację do zmian⁶⁹. Należy się zatem spodziewać, że kwestie zrównoważonego rozwoju i minimalizacji wpływu środowiskowego archiwów cyfrowych będą zyskiwać na znaczeniu i będą formalnie uwzględnione w dokumentach ustawodawczych i normatywnych. Do dyskursu na temat archiwizacji cyfrowej weszły, prawdopodobnie na stałe, terminy „Green Digital Preservation”⁷⁰, „Eco Digital Preservation”⁷¹, „Sustainable Digital Archiving”⁷², „Digital Sustainability”⁷³, „Environmentally Sustainable Long-term Digital Preservation”⁷⁴, które najogólniej odnoszą się do zrównoważoności w długotrwałej archiwizacji cyfrowych materiałów, definiowanej jako stosowanie społecznych, ekonomicznych i środowiskowych zasad odpowiedzialności w projektach rozwoju, utrzymywania i udostępniania cyfrowych produktów i usług. Wymóg zrównoważoności wnosi do definicji długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych znaczące rozszerzenie dotyczące rozumienia i optymalizacji wykorzystania technologii⁷⁵. Samo zwiększenie efektywności energetycznej czy wspomniana wyżej optymalizacja, choć potrzebne jako rozwiązania przejściowe, jedynie redukują niezrównoważoność, nie tworząc faktycznej i trwałej zrównoważonej praktyki⁷⁶. Aby osiągnąć ekologicznie zrównoważoną archiwizację cyfrową, konieczna jest rewizja tradycyjnych założeń archiwizacji i fundamentalna zmiana podejścia do procesu oceny wartości, trwałości i dostępności obiektów cyfrowych w całym cyklu ich życia, od tworzenia po usuwanie⁷⁷, uwzględniając przy tym koszty środowiskowe angażowanej infrastruktury. W dyskusjach na temat wpływu archiwizacji cyfrowej na środowisko uwaga zazwyczaj koncentrowana jest na zużyciu energii elektrycznej w operacyjnym działaniu centrów danych⁷⁸, tymczasem na środowisko oddziałuje cały cykl życia infrastruktury technologii informacyjno-komunikacyjnych ICT, na której oparte są archiwa cyfrowe – od

⁶⁹ ISO 14721:2025 *Space Data System Practices — Reference model for an open archival information system (OAIS)*, <https://www.iso.org/standard/87471.html> [dostęp: 1.06.2025].

⁷⁰ Climate – Sustainability Directory...

⁷¹ Ibidem.

⁷² European Commission, *Keys to Sustainable Digital Archiving*...

⁷³ T. Frick, *Digital Sustainability*...

⁷⁴ Digital Preservation Coalition, *Environmentally Sustainable Digital Preservation*, <https://www.dpconline.org/digipres/discover-good-practice/environmentally-sustainable-digital-preservation> [dostęp: 1.06.2025].

⁷⁵ Climate – Sustainability Directory...

⁷⁶ K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*, s.167.

⁷⁷ Climate – Sustainability Directory...

⁷⁸ K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*, s. 168.

wydobycia surowców⁷⁹, poprzez produkcję i transport (energia wbudowana)⁸⁰, po energochłonną fazę użytkowania i wreszcie utylizację toksycznych e-odpadów⁸¹. Infrastruktura ICT stosowana w archiwizacji zasobów cyfrowych generuje znaczące negatywne skutki dla środowiska⁸², stawiając poważne wyzwanie dla wszelkich przedsięwzięć trwałej ochrony cyfrowych materiałów.

Z powyższego wynika, że jedną z charakterystycznych cech zrównoważonych archiwów cyfrowych jest holistyczne podejście do oceny trwałości i dostępności obiektów cyfrowych w całym cyklu ich życia, uwzględniające nie tylko wartość i przydatność treści obiektów cyfrowych w kontekście potrzeb obecnych i przyszłych użytkowników, lecz także niezbędną cyfrową infrastrukturę z jej wpływem środowiskowym, również w całym cyklu jej życia. Ocenie należy poddać:

- a) czy i w jakim stopniu etyczne jest pozyskiwanie surowców niezbędnych do wytworzenia infrastruktury ICT dla archiwum cyfrowego,
- b) poziom zużycia energii w procesie wytworzenia infrastruktury dla archiwum,
- c) ilość energii niezbędnej dla procesów archiwizacji (gromadzenia, składowania, wyszukiwania, udostępniania obiektów cyfrowych),
- d) czy i w jaki sposób archiwum cyfrowe odpowiedzialnie zarządza komponentami elektronicznymi po zakończeniu ich eksploatacji.

Istotną cechą zrównoważonych archiwów cyfrowych jest stałe zarządzanie dostępnością, częstotliwością udostępnienia i czasem oczekiwania na wgląd do treści obiektu cyfrowego. Na podstawie oceny tych kryteriów, które mogą zmieniać się na różnych etapach życia obiektu cyfrowego, jest on lokowany w różnych częściach archiwów cyfrowych, pochłaniających różne ilości zasobów energii. W ten sposób archiwum optymalizuje ślad środowiskowy.

Bardzo ważnym komponentem archiwum cyfrowego jako organizacji są archiwiści cyfrowi, czyli kompetentni pracownicy informacji i wiedzy, którzy opracowują, wdrażają i stosują procedury zarządzania obiektami cyfrowymi, umiejętnie łącząc zasady i wartości dotychczasowe z zasadami zrównoważonego rozwoju.

⁷⁹ RYERSON, Steel Drives Data Center Boom, <https://www.ryerson.com/metal-resources/metal-market-intelligence/steel-drives-data-center-boom> [dostęp: 1.06.2025].

⁸⁰ K.L. Pendergrass i in., *Toward Environmentally...*, s. 175.

⁸¹ eCircular, Environmental Impact of E-Waste in 2024, <https://ecircular.com/environmental-impact-of-e-waste-in-2024/> [dostęp: 1.06.2025].

⁸² World Bank, Green Data Centers: Towards a Sustainable Digital Transformation, <https://www.worldbank.org/en/topic/digital/publication/green-data-centers-towards> [dostęp: 1.06.2025].

Są świadomi środowiskowego wpływu archiwizacji cyfrowej i gotowi do jego skutecznego łagodzenia.

Podsumowując, zrównoważoność w archiwizacji cyfrowej zdecydowanie wykracza poza samo przyjęcie rozwiązań „zielonego IT” (np. zastosowanie energooszczędnego sprzętu, energii odnawialnej). Wymaga ponownej oceny motywacji i założeń, które kształtują obecne praktyki archiwizacji cyfrowej. Potrzebna jest redefinicja wartości, trwałości oraz dostępności obiektów cyfrowych. Prawdopodobnie trzeba będzie ustalić i uznać akceptowalne poziomy utraty dostępu do treści wybranych dokumentów, opracować standardy archiwizacji głębokiej/ciemnej i przystać na model „dostępności ograniczonej”, z wydłużonym czasem oczekiwania na wgląd do treści dokumentu. Jest to ogromna reorientacja mentalna i operacyjna, przekształcająca archiwistów cyfrowych w aktywnych menadżerów systemów archiwizacji, uwzględniająca zarówno wewnątrz, jak i szeroko pojęte otoczenie archiwów cyfrowych. Integrując:

- a) etyczne i zrównoważone podejście do zarządzania cyklem życia technologii ICT stosowanych w archiwizacji cyfrowej,
- b) zrównoważone zarządzanie obiektami cyfrowymi w całym cyklu ich życia, ze szczególnym uwzględnieniem oceny wartości, poziomu zapotrzebowania i trybu udostępniania ich treści, także zmieniających się potrzeb użytkowników, interesów i celów organizatorów archiwów i na tej podstawie klasyfikowania i składowania obiektów w różnych warstwach systemu archiwizacji,
- c) warstwowe podejście do przechowywania obiektów cyfrowych i migrowania ich między warstwami, optymalizując wskaźniki efektywności energetycznej,
- d) staranny dobór i łączenie różnych technologii ICT w spójny i energooszczędny system archiwizacji treści cyfrowych,

wyłania się realny model zrównoważonego podejścia do archiwizacji zasobów cyfrowych i zacznyn pod dyskusję, czy archiwa cyfrowe i cyfrowi archiwiści mogą przyczynić się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju. Ważne jest, aby do rozmów i działań przystąpić możliwie sprawnie. Digital Preservation Coalition rekomenduje, przynajmniej na początek, podejście „wystarczająco dobrej archiwizacji” (*Embracing „Good Enough” Preservation*), „minimalnej wystarczającej archiwizacji” (*Minimum Viable Preservation*) z zastosowaniem „minimalnego wysiłku” (*Minimal Effort Ingest*)⁸³.

⁸³ Digital Preservation Coalition, Standards and best practice, <https://www.dpconline.org/handbook/institutional-strategies/standards-and-best-practice> [dostęp: 2.06.2025].

Podsumowanie

Rzeczywista zrównoważona archiwizacja cyfrowa jest synergicznym połączeniem aspektów organizacyjnych, technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i społecznych wytwarzania, gromadzenia, przechowywania i udostępniania zasobów cyfrowych. Optymalizacja jednego aspektu kosztem drugiego jest niewystarczająca. Niezbędne jest holistyczne podejście, interdyscyplinarna współpraca i zintegrowanie polityk, które uwzględniają wszystkie te wymiary jednocześnie. Celem archiwistów cyfrowych staje się więc już nie tylko działanie na rzecz zapewnienia trwałej dostępności, autentyczności, integralności i użyteczności, czyli kontekstowego zrozumienia treści obiektów cyfrowych, lecz również minimalizowanie wpływu tychże działań na środowisko i promowanie odpowiedzialności społecznej.

Zdecydowanie potrzebna będzie intensyfikacja inwestycji w badania i rozwój energooszczędnych technologii przechowywania danych. Z uważnością należy też śledzić działania i oceniać przydatność wyników prac zespołów roboczych, rekomendowane przez nich dobre praktyki oraz standardy. Niezbędne jest rozwijanie oferty edukacyjnej dla specjalistów informacji – archiwistów, bibliotekarzy, muzealników, informatyków – w zakresie zrównoważonej archiwizacji cyfrowej, obejmującej zarówno aspekty techniczne, jak i środowiskowe.

Bibliografia

- Climate – Sustainability Directory, Green Digital Preservation, <https://climate.sustainability-directory.com/term/green-digital-preservation> [dostęp: 1.06.2025].
- CLOCKSS, Homepage, <https://clockss.org/> [dostęp: 1.06.2025].
- Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiająca program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r. (Tekst mający znaczenie dla EOG), 323 OJ L § (2022), <http://data.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj/pol> [dostęp: 1.06.2025].
- Digital Preservation Coalition, Environmentally Sustainable Digital Preservation, <https://www.dpconline.org/digipres/discover-good-practice/environmentally-sustainable-digital-preservation> [dostęp: 1.06.2025].
- Digital Preservation Coalition, Homepage, <https://www.dpconline.org/> [dostęp: 1.06.2025].
- Digital Preservation Coalition, Standards and best practice, <https://www.dpconline.org/handbook/institutional-strategies/standards-and-best-practice> [dostęp: 2.06.2025].

- Digital Preservation: Putting It to Work*, Computational Intelligence, t. 700, red. T. Traczyk, W. Ogryczak, P. Pałka, T. Śliwiński, Bazylea 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-51801_5. DIMPACT, Homepage, <https://dimpact.org/about> [dostęp: 1.06.2025].
- eCircular, Environmental Impact of E-Waste in 2024, <https://ecircular.com/environmental-impact-of-e-waste-in-2024/> [dostęp: 1.06.2025].
- European Commission, Keys to Sustainable Digital Archiving. Shaping Europe's Digital Future, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/keys-sustainable-digital-archiving> [dostęp: 1.06.2025].
- European Commission, Statistical Office of the European Union. Sustainable Development in the European Union: Monitoring Report on Progress towards the SDGs in an EU, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2785/403194> [dostęp: 1.06.2025].
- Eurostat, Energy efficiency statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_efficiency_statistics [dostęp: 1.06.2025].
- Frick T., *Digital Sustainability: How to Get Started Today*, Mightybytes (blog), 19.07.2022, <https://www.mightybytes.com/blog/digital-sustainability/> [dostęp: 1.06.2025].
- Grindley N., Carpenter Negulescu K., Kilbride W., Macdonald D., Rosenthal D., *Panel discussion: How green is digital preservation?*, <https://www.ifs.tuwien.ac.at/dp/ipres2010/img/GrindleyGreenPreservationPanel.pdf> [dostęp: 1.06.2025].
- IASA Annual Conference 2015, The Environmental Impact of Digital Preservation, <https://2015.iasa-web.org/fr/node/47.html> [dostęp: 1.06.2025].
- IFLA, Guidelines for Green and Sustainable Libraries, <https://www.ifla.org/news/coming-soon-ifla-guidelines-for-green-and-sustainable-libraries/> [dostęp: 1.06.2025].
- iPRES 2024, <https://ipres2024.pubpub.org/> [dostęp: 1.06.2025].
- ISO 14721:2025 *Space Data System Practices – Reference model for an open archival information system (OAIS)* [dostęp: 1.06.2025].
- Januszko-Szakiel A., *Archiwistyka cyfrowa. Długoterminowa ochrona dziedzictwa nauki i kultury*, Warszawa 2017.
- Komisja Europejska, Cele na rok 2030, https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_pl [dostęp: 1.06.2025].
- Komisja Europejska, Cyfrowa dekada Europy: cele na 2030 r., https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_pl [dostęp: 1.06.2025].
- NAKIVO Team, *Storage Tiering Guide for Data Archival*, Nakivo (blog), 6.02.2023, <https://www.nakivo.com/blog/storage-tiering/> [dostęp: 1.06.2025].
- NESTOR, nestor-Siegel für vertrauenswürdige digitale Langzeitarchive, https://www.langzeitarchivierung.de/Webs/nestor/DE/Zertifizierung/nestor_Siegel/siegel.html [dostęp: 1.06.2025].

- Ośrodek Informacji i Dokumentacji Europejskiej, Wersja skonsolidowana Traktatu o Unii Europejskiej, https://oide.sejm.gov.pl/oide/index.php?option=com_content&view=article&id=14803&Itemid=945 [dostęp: 1.06.2025].
- Pałka P., Śliwiński T., Traczyk T., *Problemy długoterminowej archiwizacji zasobów cyfrowych na przykładzie projektu CREDO*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2020, nr 4(24), s. 27–39, https://doi.org/10.14313/PAR_238/27.
- Pałka P., Śliwiński T., Traczyk T., Ogryczak W., *Persistence management in digital document repository*, [w:] *Beyond Databases, Architectures and Structures. Advanced Technologies for Data Mining and Knowledge Discovery. 12th International Conference BDAS*, red. S. Kozielski i in., Ustroń 2016, s. 668–682, https://doi.org/10.1007/978-3-319-34099-9_52.
- Parlament Europejski, Dokument Roboczy w Sprawie Przygotowań Do Szczytu Rio+20 – Międzyparlamentarne Posiedzenie Komisji Parlamentu Europejskiego i Parlamentów Krajowych. Komisja Ochrony Środowiska Naturalnego, Zdrowia Publicznego i Bezpieczeństwa Żywności, 28.02.2012, https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/envi/dt/893/893910/893910pl.pdf [dostęp: 1.06.2025].
- Parlament Europejski, Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny w UE: fakty i liczby (infografika), 23.12.2020, <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20201208STO93325/zuzyty-sprzet-elektryczny-i-elektroniczny-w-ue-fakty-i-liczby-infografika> [dostęp: 1.06.2025].
- Patino A., *What is tiered storage?*, Aerospike (blog), 1.05.2025, <https://aerospike.com/blog/tiered-storage-guide/> [dostęp: 17.08.2025].
- Pendergrass K.L., Sampson W., Walsh T., Alagna L., *Toward Environmentally Sustainable Digital Preservation*, „The American Archivist” 2019, nr 1(82), s. 165–206, <https://doi.org/10.17723/0360-9081-82.1.165>.
- Pernet C., Svarer C., Ross B., Van Horn J.D., Poldrack R.A., *On the Long-term Archiving of Research Data*, „Neuroinformatics” 2023, t. 21(2), s. 243–246, <https://doi.org/10.1007/s12021-023-09621-x>.
- Portico, Homepage, <https://www.portico.org/> [dostęp: 1.06.2025].
- Preservica, Digital Preservation Sustainability Charter, <https://preservica.com/sustainability> [dostęp: 1.06.2025].
- Projekt CREDO, <https://www.pwppw.pl/Inne/Credo.html> [dostęp: 19.07.2025].
- Rossee F., *What Is Digital Archiving, and How to Do It: An Implementation and Significance Guide*, DOCTYPE (blog), 13.12.2023, <https://www.docbyte.com/what-is-digital-archiving/> [dostęp: 1.06.2025].
- RYERSON, Steel Drives Data Center Boom, <https://www.ryerson.com/metal-resources/metal-market-intelligence/steel-drives-data-center-boom> [dostęp: 1.06.2025].

- SAP Help Portal, Information Lifecycle Management, https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_CLOUD/a630d57fc5004c6383e7a81efee7a8bb/3c9d33dde6154f71863f994262a584fd.html [dostęp: 1.06.2025].
- SCS, IT Center for Science, Homepage, <https://csc.fi/en/> [dostęp: 1.06.2025].
- Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, Ministerstwo Rozwoju i Technologii – Agenda 2030, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/agenda-2030> [dostęp: 1.06.2025].
- Smithers M., *The Role of Dark Archives in Ensuring Document Preservation and Disaster Recovery*, CLOCKSS (blog), 22.08.2024, <https://clockss.org/the-role-of-dark-archives/> [dostęp: 1.06.2025].
- Terminology for the creation, care, and storage of digital materials*, „Conserve O Gram” 2011, nr 22(6), s. 1–7, https://www.nps.gov/subjects/museums/upload/22-06_508.pdf [dostęp: 1.06.2025].
- The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), Recommendation for Space Data System Practices. Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Recommended practice, 2024, https://ccsds.org/wp-content/uploads/gravity_forms/5-448e85c647331d9cbaf66c096458bdd5/2025/01//650x0m3.pdf [dostęp: 1.06.2025].
- The Signal, What Do you mean by Archive? Genres of Usage for Digital Preservers, <https://blogs.loc.gov/thesignal/2014/02/what-do-you-mean-by-archive-genres-of-usage-for-digital-preservers/> [dostęp: 1.06.2025].
- Tiainen M., Helin H., Kylander J., Lehtonen J., *A Generic Carbon Footprint Model*, 16.09.2024, poster zaprezentowany na International Conference on Digital Preservation, Gandawa, 16–20.09.2024, <https://doi.org/10.5281/zenodo.13683021> [dostęp: 1.06.2025].
- Unia Europejska, EUR-Lex, Zrównoważony Rozwój, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=legissum%3Asustainable_development [dostęp: 1.06.2025].
- University of the Free State, LibGuides, Digital Curation Lifecycle Model – Digital preservation, <https://ufs.libguides.com/c.php?g=1113411&p=8118663> [dostęp: 17.08.2025].
- WILEY, What Is a Dark Archive?, <https://www.wiley.com/en-us/network/publishing/societies/publishing-strategy/what-is-a-dark-archive> [dostęp: 1.06.2025].
- World Bank, Green Data Centers: Towards a Sustainable Digital Transformation, <https://www.worldbank.org/en/topic/digital/publication/green-data-centers-towards> [dostęp: 1.06.2025].
- Zendo, CoreTrustSeal Requirements 2023-2025, <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7051011> [dostęp: 1.06.2025].