

Roman Kozłowski¹

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN

ORCID: 0000-0002-6841-7916

Nowy energooszczędny magazyn Archiwum Narodowego w Krakowie

New energy-efficient storage facility of
the National Archives in Krakow

Wprowadzenie

W 2020 roku ukończono budowę nowej siedziby Archiwum Narodowego w Krakowie złożonej z dwóch modułów: przestrzeni dla pracowników i czytelników oraz segmentu magazynowego mogącego pomieścić na 70 tys. m.b. pólki obecny zasób Archiwum, a także zapewnić przejmowanie akt przez kolejne 50 lat (ilustracja 1; Berska i in., 2021, s. 94–127).

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji wybudowanego magazynu po raz pierwszy w Polsce zaprojektowanego jako budynek energooszczędny łączący wysoką jakość ochrony zbiorów z bardzo niskim zużyciem energii. Bodźcem do zaprojektowania i wybudowania magazynu archiwalnego stosującego – w znacznym stopniu – pasywną regulację mikroklimatu była chęć ograniczenia wysokich kosztów energii potrzebnej do ogrzewania, schładzania, nawilżania i osuszania mas powietrza w budynkach klimatyzowanych.

¹ Roman Kozłowski: prof. dr hab., Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN, e-mail: nckozlow@cyf-kr.edu.pl

II. 1. Nowa siedziba Archiwum Narodowego w Krakowie. Na pierwszym planie prostopadłością segmentu magazynowego



Źródło: Archiwum Narodowe w Krakowie, strona internetowa ank.gov.pl

Duże znaczenie miały też wymogi zrównoważonego rozwoju zawarte w programach krajowych i Unii Europejskiej, zakładających ograniczenie emisji dwutlenku węgla związanej z wytwarzaniem energii. Z takiej perspektywy ograniczanie zużycia energii ma również charakter ekologiczny, jest urzeczywistnieniem idei „zielonego” archiwum chroniącego zasoby dziedzictwa narodowego przy jednoczesnej dbałości o środowisko naturalne i jego zasoby.

W koncepcji krakowskiego magazynu wykorzystano wieloletnie doświadczenia zebrane w działających za granicą energooszczędnych magazynach muzealnych i archiwalnych. Szczególnie dużo informacji dostarczyło centrum magazynowo-konserwatorskie w Vejle w Danii, wybudowane w 2003 roku, w którym zastosowano rygorystyczne zasady pasywnej stabilizacji mikroklimatu (Ræder Knudsen i Rosenvinge Lundbye, 2017). Jednokondygnacyjny budynek magazynowy centrum jest szczelny, aby do minimum ograni-

czyć niekontrolowany napływ powietrza. Zewnętrzne przegrody budowlane mają dobrą termoizolację, a przepływ ciepła przez betonową płytę fundamentową powoduje ogrzewanie budynku w zimie i schłodzenie latem. Osiągnięto w ten sposób autonomię termiczną magazynu, nie wymaga on ogrzewania czy chłodzenia, oraz stabilizację wilgotności względnej we wnętrzu wymagającą jedynie osuszenia niewielkiego strumienia infiltrującego powietrza w okresie ciepłym. Zużycie energii potrzebne do stabilizacji wilgotności względnej na poziomie około 50% wynosiło rocznie zaledwie 0,4 kWh/m³.

Przedstawione najprostsze i najbardziej ekonomiczne rozwiązanie duńskiej hali magazynowej zostało zmodyfikowane w inwestycji krakowskiej, w której potrzeba pozyskania odpowiedniej kubatury na ograniczonej parceli w centrum miasta przesądziła o budowie budynku wielokondygnacyjnego.

W artykule przedstawiono również wyniki pomiarów temperatury i wilgotności względnej prowadzonych w magazynach przez okres pełnego roku od 1 lipca 2020 roku, kiedy rozpoczęto użytkowanie budynku i przeprowadzkę zbiorów. Pomiarzy miały na celu możliwie pełną diagnozę warunków mikroklimatu w magazynach, zwłaszcza uzyskanie informacji o stabilności wilgotności względnej oraz zależności tych warunków od zmian warunków atmosferycznych na zewnątrz. Wyniki badań pozwoliły na wskazanie zasad utrzymania w magazynie warunków środowiskowych zapewniających optymalną ochronę zasobu archiwalnego.

Rozwiązania architektoniczne i funkcjonalne magazynu

Segment magazynowy jest budynkiem szkieletowym o siedmiu kondygnacjach nadziemnych i jednej podziemnej wykonanym w konstrukcji żelbetowej (ilustracja 2).

Na ścianach zewnętrznych o grubości 30 cm, wykonanych z betonu zapewniającego wysoką akumulację ciepła, położono warstwę termoizolacji z wełny mineralnej o grubości 35 cm w odpowiedniej otulinie. Zewnętrzną okładzinę wykonano z dekoracyjnych płyt betonowych zbrojonych włóknem szklanym, imitujących łamany naturalny kamień. Na każdej kondygnacji nadziemnej znajdują się magazyny archiwalne o powierzchni nie większej niż 200

II. 2. Nowa siedziba Archiwum Narodowego w Krakowie w trakcie budowy. Widoczna żelbetowa konstrukcja segmentu magazynowego i położenie środkowych korytarzy prowadzących do pomieszczeń magazynowych na każdej kondygnacji



Źródło: zdjęcie autora.

m², rozmieszczone po obu stronach biegnącego środkiem korytarza. Komunikację pionową zapewnia klatka schodowa oraz dźwig osobowo-towarowy. Na każdej kondygnacji korytarz obsługujący magazyny oddziela od klatki schodowej śluza. W kondygnacjach podziemnej i parteru znajduje się dodatkowo strefa przyjmowania, czyszczenia i zabezpieczania przejmowanych zbiorów. Komunikację między segmentami magazynowym i użytkowo-usługowym zapewnia ich połączenie wspólną ścianą z przejściami na czterech kondygnacjach. Segment magazynowy został podzielony na osiem stref pożarowych – każda kondygnacja jest odrębną strefą pożarową o powierzchni około 1300 m². W segmencie zainstalowano stałe urządzenia gaśnicze, tryskacze suche.

Opisane rozwiązania architektoniczne zostały zharmonizowane z zasadami użytkowania magazynu, które zapewniają warunki środowiskowe dostosowane do wymagań ochrony przechowywanego zasobu archiwalnego. W magazynie nie ma stałych stanowisk pracy, pomieszczeń socjalnych czy węzłów sanitarnych. Wchodzenie do magazynu i używanie światła jest ograniczone do niezbędnego minimum. W magazynie działają jedynie instalacje techniczne związane z jego funkcjonowaniem. Regulację temperatury i wilgotności względnej zapewnia system recyrkulacji powietrza, do którego podłączono osuszacze włączające się przy przekroczeniu w pomieszczeniach założonego poziomu wilgotności względnej oraz nagrzewnice powietrza włączające się przy spadku temperatury w zimie poniżej założonego poziomu (ilustracja 3).

Il. 3. Typowe pomieszczenie magazynowe, poza przewodami wentylacyjnymi pod stropem i oświetleniem, wewnątrz nie ma urządzeń technicznych, które mogą stwarzać zagrożenie przechowywanym zbiorom



Źródło: zdjęcie autora.

Do osuszania powietrza stosuje się osuszacze sorpcyjne zapewniające wysoką płynność kontroli wilgotności względnej szczególnie w niższych temperaturach, które ponadto usuwają lotne związki organiczne emitowane przez przechowywane materiały archiwalne.

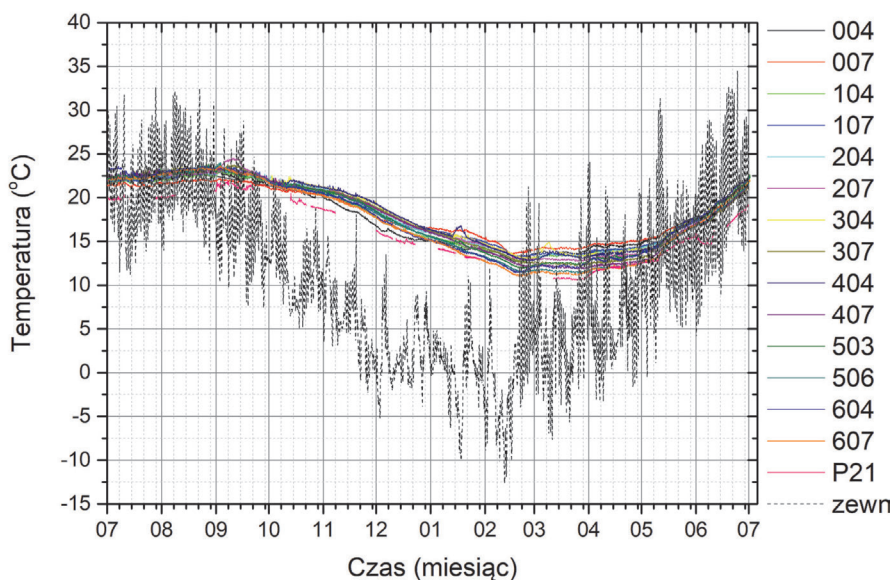
Połączenie wysokiej szczelności przegród zewnętrznych budynku z organizacją pracy zapewniającą ograniczone otwieranie wejść zewnętrznych pozwoliło na zmniejszenie infiltracji powietrza zewnętrznego szacowanej na 1-krotność wymiany powietrza na dobę między wnętrzem magazynu a przestrzenią zewnętrzną. Przy takiej szczelności magazynu obliczono, że zużycie energii na regulację wilgotności względnej (osuszanie powietrza w porze ciepłej) oraz oświetlenie pomieszczeń nie powinno przekroczyć rocznie 1 kWh/m³, co jest wartością bardzo niską. Warto wskazać, że stabilizacja wilgotności względnej w przedziale 35–60% oraz zapewnienie warunków komfortu osobom przebywającym w pomieszczeniach, w których przechowuje się lub ekspozuje zbiory muzealne, wymaga – przy zastosowaniu pełnej klimatyzacji – zużycia co najmniej 40 kWh/m³ rocznie (Mendys i in., 2018).

Regulacja warunków klimatycznych w pierwszym roku działania magazynu

Do analizy wykorzystano pomiary prowadzone z wykorzystaniem BMS – stałego automatycznego systemu monitorowania temperatury i wilgotności względnej w siedzibie Archiwum, którego odczyty służą do sterowania urządzeniami regulacji mikroklimatu. W każdym pomieszczeniu magazynowym znajduje się jedna sonda pomiarowa obejmująca czujniki pomiaru temperatury i wilgotności względnej o dokładności pomiaru ocenianej na odpowiednio $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ oraz $\pm 3\%$. Sondy pomiarowe są umieszczone w środkowej części pomieszczenia. Pomiary prowadzone przy pomocy czujników przenośnych pokazały, że mikroklimat w każdym pomieszczeniu jest jednorodny. Aby uchwycić ewentualne zróżnicowanie parametrów w różnych częściach budynku magazynowego, analizie poddano parametry zmierzone w dwóch magazynach na każdej nadziemnej kondygnacji w narożniku południowo-zachodnim (magazyny 007, 107, 207, 307, 407, 506, 607) oraz w przeciwległym narożni-

ku północno-wschodnim (magazyny 004, 104, 204, 304, 503, 604), ponadto analizowano parametry w pomieszczeniu P21 w kondygnacji podziemnej.

II. 4. Zmiany temperatury w magazynach (linie barwne) i na zewnątrz (linia czarna przerywana), lipiec 2020 – czerwiec 2021. Na osi czasu znaczniki główne wskazują północ pierwszego dnia każdego miesiąca, znaczniki pomocnicze początek kolejnego tygodnia w danym miesiącu



Źródło: wykresy autora.

Na ilustracji 4 pokazano zmiany temperatury we wszystkich analizowanych pomieszczeniach magazynowych w odniesieniu do zmian temperatury na zewnątrz w pełnym okresie rocznym. W oddanym do użytku w porze ciepłej budynku w lipcu i sierpniu 2020 roku utrzymywała się temperatura powyżej 21°C, osiągająca pod koniec sierpnia maksymalny poziom między 22 a 24°C. Spadek temperatury na zewnątrz spowodował powolny spadek temperatury w magazynach do minimalnego poziomu w lutym, który wynosił między 10,5 a 13,5°C. Różnice temperatury między poszczególnymi pomieszczeniami w kondygnacjach nadziemnych mieściły się w wąskim zakresie nie-

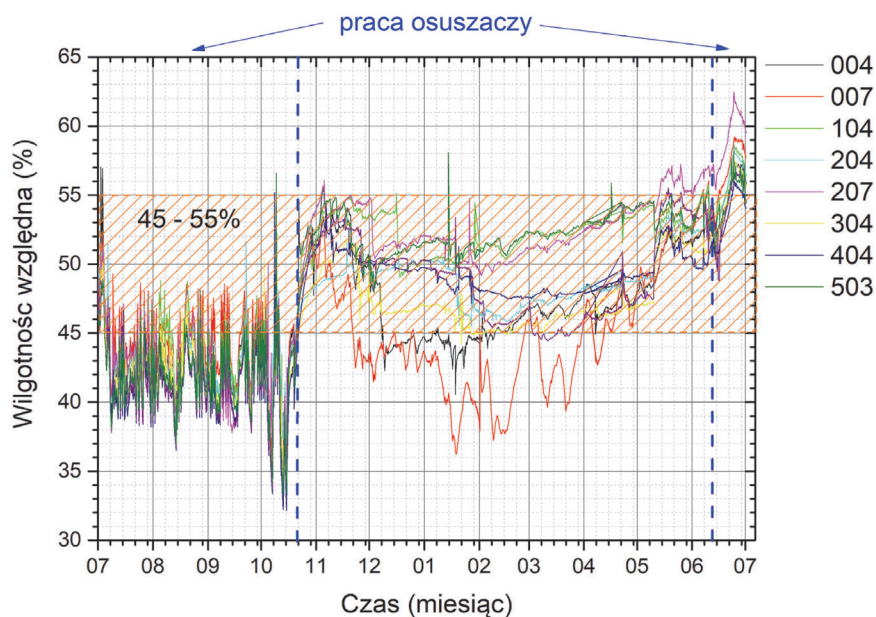
przekraczającym 3°C. Temperatura w magazynie P21 w kondygnacji podziemnej była niższa w ciągu całego roku.

Przedstawione wykresy pozwalają uchwycić wypłaszczony roczny cykl zmian temperatury powietrza w budynku pasywnym, o niewielkiej krotności wymiany powietrza między wnętrzem a przestrzenią zewnętrzną, dobrej termoizolacji przegród zewnętrznych i znacznej pojemności cieplnej. Powietrze „zewnętrzne” infiltruje do segmentu magazynowego z dwóch źródeł: otoczenia budynku oraz z segmentu użytkowo-obługowego połączonego z magazynem przejściami na czterech kondygnacjach. Z segmentu użytkowo-obługowego infiltruje powietrze mające w przybliżeniu stałą temperaturę, a z otoczenia budynku powietrze o parametrach zależnych od pory roku. Zmiany temperatury w segmencie magazynowym są zatem wynikiem mieszania się tych dwóch strumieni powietrza. W szczególności napływ w porze zimnej ogrzanego powietrza z segmentu biurowego prowadzi do znacznego przesunięcia średniej temperatury rocznej w magazynach wynoszącej w części nadziemnej między 17 a 19°C, w stosunku do średniej temperatury na zewnątrz wynoszącej w analizowanym okresie rocznym około 10°C.

Z kolei na ilustracji 5 pokazano wartości i fluktuacje wilgotności względnej dla pomieszczeń, w których w analizowanym okresie wprowadzono zbiory archiwalne. Parametru tego zmierzonego we wnętrzach budynków nie porównuje się z wartością zmierzoną na zewnątrz, ponieważ wilgotność względna zależy zarówno od temperatury, jak i od zawartości pary wodnej w powietrzu, stąd nie daje wprost informacji o wpływie otoczenia budynku na jego wnętrze.

Zakresem optymalnej stabilizacji wilgotności względnej przyjętym przez Archiwum jest $50 \pm 5\%$, czyli zakres 45–55%. Na ilustracji 5 niebieskimi liniami przerywanymi zaznaczono okres samoistnej stabilizacji wilgotności względnej – od 20 października 2020 roku do 7 czerwca 2021 roku, w którym nie było konieczne osuszanie czy ogrzewanie powietrza w magazynie. Zmiany wilgotności względnej w magazynach kondygnacji 1–5 mieściły się w rygorystycznym zakresie 45–55% niemal w całym tym okresie. Jedynie w magazynie 007 w kondygnacji parteru zaobserwowano w porze chłodnej 2021 roku spadki tego parametru nieco poniżej 40% w wyniku napływu zimnego i su-

II. 5. Zmiany wilgotności względnej w magazynach, do których wprowadzono zasoby archiwalne, lipiec 2020 – czerwiec 2021. Na osi czasu znaczniki główne wskazują północ pierwszego dnia każdego miesiąca, znaczniki pomocnicze początek kolejnego tygodnia w danym miesiącu. Liniami pomarańczowymi zaznaczono pasmo stabilizacji wilgotności względnej przyjęte przez Archiwum. Niebieskie linie przerywane wskazują daty wyłączenia (październik 2020) i włączenia (czerwiec 2021) urządzeń osuszających



Źródło: wykresy autora.

czego powietrza zewnętrznego z intensywnie użytkowanej w czasie przeprowadzki strefy przyjmowania zbiorów. Natomiast zmiany wilgotności względnej w okresach między 1 lipca a 20 października 2020 roku oraz po 7 czerwca 2021 roku, kiedy działały urządzenia osuszające, przekraczały zarówno w dół, jak i w górę przyjęty zakres stabilizacji. Zmierzone odchylenia nie były duże i nie stwarzały zagrożeń dla przechowywanego zasobu, a wynikały z testowania optymalnych procedur uruchamiania osuszaczy i sterowania nimi.

Skuteczność ochrony materiałów archiwalnych w osiągniętych warunkach mikroklimatu

Zasady ochrony tradycyjnych materiałów wchodzących w skład obiektów archiwalnych – papieru, pergaminu, tektury czy skóry – nie budzą wątpliwości. Powszechnie przyjmuje się, że obniżenie temperatury i wilgotności względnej służy ich ochronie, a wysoka temperatura i wilgotność względna przyspieszają procesy ich degradacji chemicznej czy biologicznej powodowanej szkodliwą aktywnością organizmów żywych. Chemiczna degradacja papieru, najbardziej powszechnego materiału archiwalnego, jest wynikiem hydrolytycznego rozkładu celulozy katalizowanego kwasami, powodującego narastające skrócenie i osłabienie włókien. Prowadzi to do osłabienia papieru, tak że w końcu nie można bezpiecznie użytkować ani udostępniać obiektów zdegradowanych. Szybkość degradacji chemicznej można wyrazić dla określonego rocznego cyklu zmian temperatury i wilgotności względnej jako „spodziewany czas życia” papieru wyrażony w liczbie lat, po których manipulowanie obiektem będzie powodować nieakceptowalne zagrożenie uszkodzeniami (ASHRAE, 2019; Michalski, 2000; Strlič i in., 2015). Przy analizie warunków mikroklimatycznych mniej istotne są bezwzględne wartości spodziewanego czasu zachowania materiałów w dobrym stanie, a bardziej względne polepszenie lub pogorszenie tego wskaźnika. Za warunki odniesienia przyjmuje się temperaturę 20°C i wilgotność względną 50% i przypisuje tym warunkom wskaźnik ochrony wynoszący 1. Przy obniżeniu temperatury i wilgotności względnej wskaźnik ten zwiększa się, a przy wzroście temperatury i wilgotności względnej maleje. Dopuszczenie w analizowanych magazynie korzystnego dla zbiorów obniżenia temperatury w cyklu rocznym powoduje w przybliżeniu dwukrotny wzrost wskaźnika ochrony zbiorów.

Osiągnięta w magazynach stabilizacja wilgotności względnej, która w okresie rocznym nie przekraczała poziomu około 60%, w pełni zabezpieczała zbiory przed atakiem mikroorganizmów, szczególnie pleśni. Wysoka szczelność budynku ograniczała infiltrację zanieczyszczeń powietrza z zewnątrz².

² Obliczenia względnego czasu życia materiałów papierowych podatnych na degradację chemiczną dla określonych warunków mikroklimatu można przeprowadzić z użyciem

Podsumowanie

Wielokondygnacyjny segment magazynowy w nowej siedzibie Archiwum Narodowego w Krakowie, uruchomiony w 2020 roku, po raz pierwszy w Polsce połączył wysoką jakość ochrony zbiorów z bardzo niskim zużyciem energii podczas eksploatacji. Przeprowadzona analiza parametrów mikroklimatycznych w magazynach w okresie pełnego roku potwierdziła, że przyjęte rozwiązania budowlane i funkcjonalne pozwoliły osiągnąć w znacznym stopniu pasywną stabilizację mikroklimatu.

Krakowski magazyn utorował w Polsce drogę nowym projektom budowy energooszczędnych magazynów sprzyjających zrównoważonej ochronie zasobów dziedzictwa. Szczególne istotne są zaawansowane działania Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów mające na celu budowę Centralnego Magazynu Zbiorów Muzealnych (CMZM) zlokalizowanego na obszernej działce w Lesznowoli w pobliżu Warszawy (Czop, 2019, s. 92–102). Inwestycja przewiduje wspólną lokalizację magazynów i przestrzeni zarządzania, konserwacji, dokumentacji i udostępniania przechowywanych zbiorów. Tak jak w magazynie krakowskiego archiwum w segmencie magazynowym CMZM zostanie wdrożona w znacznym stopniu pasywna stabilizacja warunków środowiskowych.

Streszczenie: Oszczędzanie energii leży w żywotnym interesie ekonomicznym instytucji przechowujących zasoby dziedzictwa kultury. Ważną rolę odgrywają również wymogi zrównoważonego rozwoju kładące nacisk na ograniczanie emisji dwutlenku węgla. W 2020 roku oddano do użytku segment magazynowy w nowej siedzibie Archiwum Narodowego w Krakowie, łączący energooszczędność z wysoką jakością ochrony zbiorów. Obiekt ma osiem kondygnacji i pomieści docelowo 70 000 metrów bieżących akt. Jest wyodrębnioną strukturą, w której nie ma stałych stanowisk pracy, a w znacznym stopniu pasywną stabilizację optymalnego dla zbiorów mikroklimatu zapewniono przez przemyślane rozwiązania budowlane: dobrą izolację termiczną i wysoką szczelność przegród zewnętrznych oraz wykonanie powierzchni architektonicznych z porowatych materiałów budowlanych o dobrej zdolności do wymiany pary wodnej. Przeprowadzone pomiary pokazały, że temperatura we wnętrzu magazynu podążała za rocznym cyklem zmian temperatury na zewnątrz, osiągając w lutym 2021 roku wartość najniższą, między 11 a 14 °C w zależności od kondygnacji. Przez większość części roku – od października do czerwca – wilgotność względna utrzymywała się samoistnie na optymalnym poziomie około 50% z niewielkimi fluktuacjami krótkookresowymi. W porze letniej powietrze jest osuszane przez efektywne energetycznie urządzenia osuszające. Suche warunki i niska temperatura przez większą część roku ograniczają szybkość degradacji chemicznej obiektów archiwalnych.

Abstract: Energy saving is in the vital economic interest of institutions preserving cultural heritage resources. Sustainability requirements emphasizing the reduction of carbon emissions also play an important role. In 2020, the storage segment at the new seat of the National Archives in Krakow was put into operation, combining energy efficiency with high-quality collection care. The facility has eight floors and will ultimately accommodate 70,000 linear meters of records. It is a separate structure with no permanent workspace, and the largely passive stabilization of the optimal microclimate for the collections has been ensured by well-thought-out construction solutions: good thermal insulation and high tightness of the building shell, and use of porous building materials with good water vapour exchange capacity on architectural surfaces.

The conducted measurements showed that the temperature inside the storage followed the annual cycle of temperature changes outside reaching its lowest value in February 2021, between 11 and 14°C, depending on the floor. For most parts of the year – from October to June – relative humidity remained spontaneously at an optimal level of around 50% with minor short-term fluctuations. During the summer season, the air is dehumidified by energy-efficient dehumidification equipment. Dry conditions and low temperatures for most of the year reduce the rate of chemical degradation of archival objects.

Słowa kluczowe: energooszczędność, magazyn, Archiwum Narodowe, mikroklimat, ochrona zbiorów

Keywords: energy efficiency, storage facility, National Archives, microclimate, collection preservation

Bibliografia

- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2019). *Museums, galleries, archives and libraries* (rozdział 24). W: *ASHRAE handbook – HVAC applications*. Atlanta: ASHRAE.
- Berska B., Bratasz Ł., Kozłowski R., Krzemień L. (2021). Nowa siedziba Archiwum Narodowego w Krakowie. Założenia funkcjonalne i użytkowe oraz koncepcja magazynu zbiorów archiwalnych z pasywną regulacją klimatu. *Archeion*, 72, 94–127.
- Czop, J. (2019). Centralny Magazyn Zbiorów Muzealnych – nowe zadanie Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów. *Muzealnictwo*, 60, 92–102. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2614>
- ISO 11799:2015, *Information and documentation – Document storage requirements for archive and library materials*.
- Mendys, A., Doncer, I., Lewicki, P., Radoń, J., Sadłowska-Sałęga, A., Kozłowski, R. (2018). Kontrola klimatu i energooszczędności w zabytkowych budynkach

- muzeów, bibliotek i archiwów – na przykładzie Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku Muzeum Narodowego w Krakowie, w Sukiennicach. *Instal*, 5, 22–28.
- Michalski, S. (2000). *Guidelines for Humidity and Temperature for Canadian Archives*. „CCI Technical Bulletin”, 23. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Ræder Knudsen, L., Rosenvinge Lundbye, S. (2017). Performance of Danish low-energy museum storage buildings. W: J. Bridgland (red.), *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, Copenhagen, 4–8 September 2017* (art. 1515). Paris: International Council of Museums.
- Strlič, M., Grossi, C. M., Dillon, C., Bell, N., Fouseki, K., Brimblecombe, P., Menart, E., Ntanos, K., Lindsay, W., Thickett, D., France, F., De Bruin, G. (2015). Damage function for historic paper. Part III: Isochrones and demography of collections. *Heritage Science*, 3(1), artykuł 40. <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0069-7>