

Warunki środowiskowe w salach wystawowych i magazynach muzeów

Environmental Conditions in Exhibition Halls and Storage Facility for Museum Collections

ANNA CHARKOWSKA

DOI 10.36119/15.2020.3.3

W artykule omówiono zagadnienia związane z przechowywaniem dzieł sztuki w salach wystawowych i magazynach muzealnych. Odniesiono się do sposobu określania wymaganych wartości wilgotności względnej i temperatury powietrza, nawiązując do dwóch metod: norm konserwatorskich i analizy klimatu historycznego. Opisano niszczący wpływ powietrza o niewłaściwych wartościach parametrów, przede wszystkim wilgotności względnej powietrza, na przechowywane zbiory. Przytoczono także zalecane wartości parametrów powietrza, zgodne z normami konserwatorskimi.

Słowa kluczowe: muzeum, warunki środowiskowe, temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, dopuszczalne zmiany parametrów powietrza, fluktuacje parametrów powietrza, oświetlenie, fizyczne zniszczenia dzieł sztuki

The article discusses issues related to the storage of works of art in exhibition halls and storage facilities in museums. Reference was made to the method of determining the required relative humidity and air temperature values, referring to two methods: conservation standards and historical climate analysis. The destructive effect of air with incorrect parameter values, mainly relative humidity, on stored collections was described. Recommended values of air parameters in accordance with conservation standards were also quoted.

Keywords: museum, environmental conditions, air temperature, relative air humidity, acceptable change of air parameters values, air parameters fluctuations, lighting, physical destruction of works of art

Wstęp

Zachowanie artefaktów muzealnych w stanie gwarantującym ich podziwianie przez następne pokolenia to cel stawiany nie tylko przed konserwatorami zabytków, ale także naukowcami i inżynierami zajmującymi się środowiskiem wewnętrznym i zapewnieniem w nim właściwych parametrów powietrza. Relikty przeszłości, a także współczesne dzieła sztuki, prezentowane publiczności w salach wystawowych, jak również ukryte w muzealnych magazynach, zasługują na najlepsze z możliwych starań w tym zakresie.

Tak też stanowi prawo. W Ustawie o muzeach z 2019 roku [14], zapisano, że celem stawianym przed nimi jest m.in. gromadzenie i trwała ochrona dóbr naturalnego i kulturalnego dziedzictwa ludzkości o charakterze materialnym i niematerialnym. Cel ten jest uzyskiwany poprzez realizowanie takich zadań, jak m.in. katalogowanie i naukowe opracowywanie zgromadzonych zbiorów, ich udostępnianie po-

przez przygotowywanie wystaw, zabezpieczanie i konserwację zbiorów, jak również przechowywanie gromadzonych zabytków w warunkach zapewniających im właściwy stan zachowania i bezpieczeństwo.

Sposób definiowania właściwości powietrznego środowiska muzealnego, poprzez określenie odpowiednich wartości i wymagań dotyczących stabilności wilgotności względnej oraz temperatury powietrza, dopuszczalnego stężenia zanieczyszczenia powietrza, rodzaju i natężenia oświetlenia, w ostatnich latach został poddany szerokiej dyskusji. W wyniku współpracy konserwatorów, naukowców oraz inżynierów pojawiła się nowa norma, dotycząca warunków przechowywania związanych z wartościami wilgotności względnej i temperatury powietrza, z nowym podejściem do rozwiązania tego problemu (PN-EN 15757:2012P [18]). Opisano w niej szersze (w kontekście zakresu wartości) wymagania dotyczące warunków wewnętrznych (w porównaniu do wcześniejszych bardziej restrykcyjnych, zwa-

nych normami konserwatorskimi) wynikające z analizy klimatu historycznego. Norma jest efektem badań i rozważań nad właściwościami materiałowymi, zrozumieniem procesów prowadzących do zniszczenia różnych obiektów, odpornością materiałów na zachodzące zmiany mikroklimatyczne. Jednocześnie, wprowadzone nowe rekomendacje uwzględniają również aspekt ekonomiczny, zasady energooszczędności i ekologii, co daje szansę zarządzania mikroklimatem w muzeum w sposób odpowiedzialny, efektywny i – co dzisiaj bardzo ważne – przyjazny dla środowiska [6]. Jest to też odpowiedź na nękające wiele muzeów problemy finansowe związane z koniecznością zapewnienia pełnej oraz ciągłej klimatyzacji obiektów z precyzyjnie ustalonymi wartościami temperatury i wilgotności względnej powietrza, które to problemy potwierdziła praktyka muzealna [6].

Zagadnienia związane z warunkami środowiskowymi w archiwach przedstawiono w artykule [5].

Zniszczenia dzieł sztuki

Degradacja dzieł sztuki, będąca efektem zachodzących procesów chemicznych lub fizycznych, może być skutkiem różnorodnych zjawisk. Wśród nich można wymienić [2]:

- czynniki środowiskowe: mikroklimat środowiska nieodpowiedni dla przechowywania obiektów zabytkowych (wartości wilgotności względnej i temperatury oraz ich gradienty w czasie i w przestrzeni, rodzaj i natężenie oświetlenia, jakość powietrza – zanieczyszczenia gazowe i pyłowe),
- inne czynniki: biologiczne (ataki zwierząt, owadów i mikroorganizmów), ludzkie (np. kradzież, wandalizm), mechaniczne (np. drgania konstrukcji budynku).

Degradacja związana z przyczynami środowiskowymi jest procesem o charakterze kumulatywnym, na który wpływa zarówno liczba, jak i intensywność poszczególnych zdarzeń. Wszelkie zmiany warunków środowiskowych przyczyniają się do przyspieszenia procesu degradacji, nawet jeśli czasem efekty występują niepostrzeżenie dla ludzkiego oka. W tabeli 1 zamieszczono przykładowe główne skutki zniszczenia dzieł sztuki spowodowane wystąpieniem niewłaściwych (nie odpowiadających optymalnym) wartości parametrów środowiskowych lub ich fluktuacji w czasie, jeśli nie są kontrolowane.

Tabela 1. Skutki degradacji przedmiotów zabytkowych związane z przyczynami środowiskowymi (nieoptymalne wartości i niekontrolowane wahania parametrów środowiskowych)

Table 1. The effects of the degradation of historic objects related to environmental causes (suboptimal values and uncontrolled fluctuations in environmental parameters)

Parametr środowiskowy	Skutki niedotrzymania optymalnej wartości
Wilgotność względna	– zmiany kształtu i wielkości – skutki procesów chemicznych (korozja metali, przebarwienia, zwiększona kruchość papieru, tkanin i obrazów) – degradacja biologiczna
Temperatura	– Zmiany wymiarów – przyspieszenie reakcji chemicznych i fizycznych
Oświetlenie	– efekty chemiczne (reakcje utleniania, zmiany pigmentu, przebarwienia i blaknięcie, zwiększona kruchość niektórych materiałów), – wzrost temperatury powierzchni przedmiotów
Zanieczyszczenia stałe i gazowe	– reakcje chemiczne (korozja, utlenianie, siarczanowanie i karbonatyzacja, zwiększona kruchość substancji polimerowych), – utrata materiału powierzchniowego, – rozwój mikroorganizmów, – nieestetyczny wygląd przedmiotów

W [13] zauważono, że eksponaty muzealne, a właściwie materiały, z których je wykonano, są bardzo wrażliwe na zmiany wilgotności powietrza, a mało wrażliwe na wahania temperatury. Zjawisko to jest efektem stosunkowo niewielkiej rozszerzalności cieplnej tych materiałów.

Jako najczęściej występujący przykład negatywnego oddziaływania warunków środowiskowych na dzieła sztuki wskazano [6] drastyczny spadek wartości wilgotności względnej powietrza w ogrzewanym budynku w zimie (nawet do kilkudziesięciu procent) przy niskich wartościach temperatury powietrza zewnętrznego. Przy tak niskiej wilgotności powietrza, w wyniku kurczenia się materiałów, zgromadzone przedmioty ulegają deformacji, pojawiają się odspojenia, a nawet pęknięcia. Na tę sytuację nie ma wpływu fakt, że przez znaczącą część roku przedmioty te przebywały w sprzyjających warunkach (wilgotność względna 45-55%).

Podatność materiałów, z których wykonano przedmioty zabytkowe, na zmienne wartości wilgotności względnej otaczającego powietrza, związana jest ze zmianami ich wilgotności równowagowej. Wilgotność równowagowa materiału rozumiana jest jako wilgotność, przy której materiał higroskopijny nie wymienia wilgoci z otoczenia [18]. Jej zmiany i wahania,

z wyznaczeniem właściwej wartości parametrów powietrza dla sali ekspozycyjnej pogłębia się w przypadku, gdy eksponat lub eksponaty wykonane są z kilku lub wielu materiałów o różniących się wymaganiami związanymi z ich bezpiecznym przechowywaniem.

Wrażliwość eksponatów

Korzystając z zapisów we włoskiej normie UNI 10829 2002 [20], można sklasyfikować materiały stosowane do wykonania dzieł sztuki oraz artefakty w zależności od ich wrażliwości na wartość i zmienność (fluktuację) wilgotności względnej powietrza (tabela 3). Odniesienie się do podatności na zniszczenia wynikającej ze zmieniających się wartości wilgotności względnej powietrza jest bardzo przydatne przy projektowaniu systemów sterowania pracą instalacji wentylacji i klimatyzacji. Wiadome jest, że dużo bardziej jest szkodliwa szybka i częsta zmiana wartości parametru, niż przechowywanie zabytku przez długi czas w stabilnych warunkach środowiskowych o wilgotności względnej i temperaturze powietrza odbiegających od idealnych dla danego materiału. W tabeli 2 zamieszczono przewidywaną długość życia artefaktów, w zależności od temperatury powietrza.

Tabela 2. Klasyfikacja materiałów ze względu na ich wrażliwość na wilgotność względną i temperaturę powietrza (UNI 10829) [20]

Table 2. Classification of materials due to their sensitivity to relative humidity and air temperature (UNI 10829) [20]

Oznaczenie grupy	Opis wrażliwości	Przykłady
A	Materiały wymagające wyjątkowo stabilnych wartości wilgotności względnej	meble inkrustowane, meble złożone lub lakierowane, drewniane instrumenty muzyczne, obrazy olejne na panelach lub rzeźby drewniane, iluminowane manuskrypty (papier i pergamin), lak orientalny, japońskie parawany
B	Materiały wymagające umiarkowanie stabilnych wartości wilgotności względnej	kostiumy i tkaniny, obrazy olejne na płótnie, dzieła sztuki i dokumenty na papierze i pergaminie, przedmioty z papier maché, materiały pochodzenia roślinnego (kora, trawa, papirus), drewno polichromowane, drewniane meble, przedmioty i odzież ze skóry, broń, materiały z kości, kości słoniowej i rogu, miniatury, chińskie przedmioty wykonane z laki
C	Materiały względnie niewrażliwe na zmiany wilgotności względnej	kamień, marmur, ceramika, szkło, stopy srebra i złota
D	Materiały wymagające niskiej temperatury	futro, skóry zwierząt, eksponaty pochodzenia zwierzęcego (ptaki i ssaki)

występujące w wyniku absorpcji i uwalniania pary wodnej, wraz z zachodzącymi procesami w środowisku powietrznym, prowadzą do zmian wymiarów materiałów, a tym samym do ich pęknięć i odkształceń [18]. Jak podkreślono w [10], każdorazowe zakłócenie stanu równowagi wilgotnościowej prowadzi do destrukcji zabytkowego obiektu. Z tego też względu, dla obiektów wykonanych z organicznych materiałów higroskopijnych, konieczne jest ustalenie indywidualnych poziomów i zakresów wilgotności względnej, jak również temperatury powietrza. Problem

Kryteria określania warunków środowiskowych

W celu przedstawienia zasad określania warunków środowiskowych i określania wartości parametrów powietrza odniesiono się do zapisów w normie PN-EN 15757P [18], normie włoskiej UNI 10829 [20] oraz do cytowanych w wielu publikacjach zaleceń zamieszczonych w podręczniku amerykańskiego stowarzyszenia ASHRAE [1].

W normie PN-EN 15757P [18] przedstawiono kryteria określania warunków

klimatycznych pozwalających na przechowywanie dzieł sztuki w sprzyjających im, stabilnych warunkach. Zamieszczono informacje dotyczące zalecanych zakresów wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza służących ochronie przedmiotów zabytkowych poprzez ograniczenie uszkodzeń fizycznych wywołanych przez cykle naprężeniowo-odkształceniowe w obiektach zawierających materiały higroskopijne. Należą do nich: drewniane przedmioty i elementy konstrukcji (m.in. podłogi, boazerie, drzwi, konstrukcje dachowe), obrazy, książki, dokumenty graficzne, tkaniny, przedmioty wykonane z kości, kości słoniowej i skóry. Ze względu na złożoność procesów zachodzących w materiałach, przedstawiono ogólne wymagania dla materiałów higroskopijnych, odnoszące się do wybranych kategorii zniszczeń (oddziaływanie wilgotności i temperatury powietrza). Nie uwzględniono natomiast procesów niszczących inne materiały, takich jak: utlenianie, hydroliza kwasowa, biodegradacja, korozja, rozpuszczanie materiałów wskutek higroskopijnego pochłaniania pary wodnej z powietrza i krystalizacji soli. Oparto się na dwóch kryteriach – środowiskowym i materiałowym.

Kryterium środowiskowe to klimat historyczny i teoria aklimatyzacji obiektów. Przez „klimat historyczny” rozumie się takie warunki klimatyczne mikrootoczenia, w których obiekt zabytkowy przechowywano zawsze lub przez dłuższy okres (co najmniej rok) i do których się przyzwyczaił (aklimatyzował) i które uznano za nieszkodliwe dla zachowania jego stanu. Na podstawie analizy klimatu historycznego wyznacza się poziom docelowy wilgotności względnej, zapewniający najlepszą ochronę.

Utrzymanie stabilnych warunków środowiskowych dotyczy nie tylko wartości, ale też cykli zmian rocznych oraz fluktuacji wartości wilgotności i temperatury, do których materiał się aklimatyzował przez dłuższy czas, pod warunkiem, że były to warunki dla niego nieszkodliwe.

Analiza klimatu historycznego umożliwi również zróżnicowanie zaleceń w zależności od pory roku, co pozwoli na ograniczenie spadku wilgotności względnej poniżej 30% w okresie zimowym oraz wzrostu powyżej 65% w okresie letnim. Norma zawiera procedury matematyczne pozwalające wyliczyć z warunków historycznych trzy parametry mikroklimatu: średnie długo-okresowe, cykl zmiany rocznej oraz pasmo fluktuacji krótkookresowych [6].

Ponieważ zmiany wilgotności równowagowej materiału są bardziej związane

ze zmianami wilgotności względnej powietrza niż temperatury, zaleca się utrzymanie wartości wilgotności względnej na poziomie zbliżonym do wartości występujących w klimacie historycznym. Jednak w warunkach, gdy zmienność temperatury powietrza jest zjawiskiem wpływającym istotnie na stan obiektu, zalecono utrzymanie stabilności zarówno wilgotności, jak i temperatury.

Uzyskanie stabilnej wartości wilgotności względnej powietrza, ograniczenie wahań, unikanie gwałtownych zmian, powinno być przeanalizowane zarówno ze względu na zagrożenia i ochronę obiektu, jak i racjonalizację kosztów takiego przedsięwzięcia.

Jeśli stan zachowania obiektu w warunkach odpowiadających klimatowi historycznemu, jest zadowalający, zalecono, aby takie same warunki utrzymać nie

względnej o amplitudzie nieprzekraczającej $\pm 10\%$ [6]. Zmiany parametrów mikroklimatycznych nie powinny przekraczać poziomu krytycznego, powyżej którego pojawia się zagrożenie uszkodzenia fizycznego [12].

Klimat wewnętrzny dla przedmiotów wykonanych z materiałów higroskopijnych, jak podano w załączniku informacyjnym do normy [18], określa się podając średnie poziomy i zmienność temperatury i wilgotności względnej powietrza, np. jako średni poziom w wybranym okresie (np. rok), cykle zmiany rocznej, fluktuacje krótkookresowe.

We włoskiej normie UNI 10829 [20] określono maksymalne dobowe zmiany (fluktuacje) temperatury i wilgotności względnej powietrza, a w kodeksie z 2001 roku – temperaturę i maksymalną wilgotność względną – tabela 3.

Tabela 3. Zalecane wartości oraz dobowe fluktuacje temperatury i wilgotności względnej powietrza w muzeach dla wybranych materiałów i przedmiotów [20], [8]

Table 3. Recommended values and daily fluctuations in air temperature and relative humidity in museums for selected materials and objects [20], [8]

Rodzaj materiału, przedmioty	UNI 10829:1999 [20]				Kodeks z dn. 10.05.2001r. [8]	
	T, °C	ΔT_{max} , K	ϕ , %	$\Delta\phi$, %	T, °C	ϕ_{max} , %
Papier, papier-maché, prace z papieru, tapeta, kolekcja znaczków, manuskrypty, papiirusy, druki, przedmioty wykonane z celulozy	18-20	1,5	40-55	6	15-24	50-60
Tkaniny, welony, draperie, dywany, gobeliny, obicia ścienne, tkaniny dekoracyjne, arrasy, jedwab, ubiory, suknie, stroje religijne, materiały z naturalnych włókien, sizal, juta	19-24	1,5	30-50	6	-	40-60
Wosk, figury woskowe	<18	-	-	-	-	-
Herbaria i zbiory botaniczne	21-23	1,5	45-55	2	-	40-60
Zbiory entomologiczne (owady)	19-24	1,5	40-60	6	-	-
Zwierzęta i ich organy przechowywane w formalinie	15-25	1,5	-	-	-	-
Zwierzęta i ich wysuszone organy, mumie	21-23	1,5	20-35	-	-	-
Futra, pióra, wypchane zwierzęta i ptaki	4-10	1,5	30-50	5	15-21	45-60
Farby wodne, rysunki, pastele	19-24	1,5	45-60	2	19-24	50-60
Zbiory etnograficzne, maski, skóra, ubrania skórzane	19-24	1,5	45-60	6	-	50-60
Obrazy na płótnie	19-24	1,5	40-55	-	19-24	35-50
Laka	-	-	-	-	19-24	50-60
Meble	19-24	1,5	50-60	2	19-24	45-65
Drewniane rzeźby polichromowane, malowane drewno, obrazy na drewnie, drewniane zegary wahadłowe, drewniane instrumenty muzyczne,	19-24	1,5	50-60	2	19-24	45-65
Niemalowane rzeźby drewniane, wiklinowe, drewniane lub wykonane z kory panele	19-24	1,5	45-60	2	19-24	40-65
Taśmy fotograficzne	0-15	-	30-45	-	-	-
Mozaiki, kamienie, skały	15-25	-	20-60	-	-	-
Metale, srebro	-	<50	-	-	-	-

tylko w salach ekspozycyjnych, ale także w pracowni konserwacji oraz podczas transportu i magazynowania. Za jedyne dopuszczalne zmiany uznano poprawienie sytuacji poprzez ograniczenie fluktuacji wartości parametrów powietrza.

Kryterium materiałowe opiera się na analizie cech fizycznych obiektów, bez odwoływania się do historycznych warunków klimatycznych w określonym budynku zabytkowym. W tej metodzie dopuszcza się krótkookresowe fluktuacje wilgotności

Powiązanie wymagań dla środowiska wewnętrznego z jednoczesnym określeniem wymagań w zakresie kontroli wartości parametrów powietrza w odniesieniu do korzyści i zagrożeń, jakie mogą wystąpić, zostało opisane w podręczniku ASHRAE [1]. W rozdziale poświęconym muzeom zamieszczono zalecenia dotyczące akceptowanych krótkookresowych i sezonowych tolerancji wartości parametrów powietrza (temperatury i wilgotności względnej), jako wartości odniesienia

przyjmując: 25°C, 50% lub wartość wilgotności określoną jako historyczna wartość średnioroczna. Przedstawiono pięć klas ochrony zbiorów – AA, A, B, C, D: od najwyższej klasy AA (bardzo wysoka, precyzyjna kontrola) do najniższej klasy D (bardzo słaba kontrola). Podane fluktuacje i tolerancje tworzą klasy stabilizacji wartości charakteryzujących mikroklimat.

W tabeli 4 dla następujących założeń zamieszczono tę klasyfikację [1]:

- dotyczy m.in. muzeum (ogólnie), galerii sztuki, bibliotek i archiwów, czytelni, magazynów,
- wilgotność względna powietrza (φ) wewnętrznego: 50% lub historyczna średnia roczna dla kolekcji stałej,
- zakres temperatury powietrza wewnętrznego (t): 15 – 25°C,
- w salach przeznaczonych do ekspozycji wypożyczonych dzieł sztuki należy utrzymywać parametry powietrza wskazane w umowie dotyczącej wypożyczenia zbiorów: zazwyczaj: $\varphi = 50\%$, $t = 21^\circ\text{C}$, ale także czasami: $\varphi = 55\%$ lub 60%.

Dla większości obiektów powinno się utrzymywać temperaturę powietrza w za-

kresie 16–25°C, a wilgotność względną: 40–60% [6]. Zmiana wartości wilgotności w stosunku do podanej powyżej wartości optymalnej jest taka, jak zalecana w normie PN-EN 15757:2012P [18]. W normie określono kryterium materiałowe dopuszczające krótkookresowe fluktuacje wynoszące $\pm 10\%$. Z tego powodu zalecanym, nowym zakresem wartości wilgotności względnej jest 40–60%, chociaż nierzadko analiza klimatu historycznego pozwala na jego poszerzenie np. do 35–65%.

Jak podano w [13], na podstawie wytycznych konserwatorskich w Muzeum

Narodowym w Krakowie utrzymuje się temperaturę powietrza w zakresie 18–25°C, a wilgotność względną: w sezonie grzewczym 35–55%, poza sezonem grzewczym 40–60%.

Gazowe zanieczyszczenia powietrza

Ze względu na negatywny wpływ zanieczyszczeń gazowych na zachowanie zabytków, naukowcy muzealnicy przygotowali zalecenia dotyczące tego zagadnienia (tabela 5).

Tabela 5. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń gazowych w muzeach [11], [3], [2]
Table 5. Acceptable concentrations of gaseous pollutants in museums [11], [3], [2]

Zanieczyszczenie	Dopuszczalne stężenie, ppb		
	wg [11]		wg [3] cyt. za [2]
	Materiały wrażliwe	Pozostałe materiały	
Dwutlenek azotu NO ₂	<0,05-2,6	2-10	5-10
Kwas azotowy HNO ₂ , kwas azotowy HNO ₃	<0,1	<1,0	-
Ozon O ₃	<0,05	0,5-5	5-10
Dwutlenek siarki SO ₂	<0,04-0,4	0,4-2	5-10
Siarkowodór H ₂ S	<0,01	<0,1	-
Kwas octowy CH ₃ COOH	<5	40-280	-
Aldehyd mrówkowy HCHO	<0,1-5	10-20	-
Aldehyd octowy CH ₃ CHO	<1-20	-	-
Całkowita emisja lotnych związków organicznych LZO	<100	-	-

Tabela 4. Zestawienie wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz ich akceptowanych krótkookresowych i sezonowych zmian w muzeach i galeriach [1], [22], [4]

Table 4. Specifications of air temperature and relative humidity values in museums and short fluctuations and seasonal adjustment in system set points in museums and galleries [1], [22], [4]

Klasa kontroli (klasa stabilizacji parametrów mikroklimatu: temperatury, wilgotności względnej)		Maksymalna dopuszczalna tolerancja i gradienty parametrów w obszarze kontrolowanym				Korzyści i zagrożenia dla kolekcji	
Oznaczenie	Opis	Krótkookresowa niska fluktuacja + gradient temperatury w środowisku otaczającym	Sezonowa tolerancja zadanej wartości parametru				
			lato		zima		
			t	φ	t		φ
AA	Kontrola precyzyjna (stabilizacja) bez sezonowych zmian wartości parametrów	$\pm 5\%$, $\pm 2\text{K}$	+5K	bez zmian	-5K	bez zmian	Brak ryzyka fizycznego uszkodzenia dla większości obiektów i obrazów; niektóre metale i minerały mogą ulec degradacji, jeśli wilgotność względna będzie wyższa od wartości krytycznej wynoszącej 50%
A	Kontrola precyzyjna (stabilizacja) – dopuszczalne gradienty parametrów lub zmiany sezonowe	$\pm 5\%$, $\pm 2\text{K}$	+5K	+10%	-10K	-10%	Niewielkie ryzyko fizycznego uszkodzenia dzieł sztuki o wysokiej wrażliwości; brak ryzyka dla większości dzieł sztuki, obrazów, fotografii, książek. Chemicznie niestabilne obiekty nieużywane przez dziesięciolecia.
		$\pm 10\%$, $\pm 2\text{K}$	+5K	bez zmian	-10K	bez zmian	
B	Kontrola precyzyjna (stabilizacja) – dopuszczalne gradienty parametrów i obniżenie temperatury w zimie	$\pm 10\%$, $\pm 5\text{K}$	+10K (*)	+10%	+10K (*)	-10%	Umiarkowane ryzyko uszkodzeń fizycznych dla obiektów o wysokiej wrażliwości; bardzo małe ryzyko dla większości obrazów, większości fotografii, niektórych dzieł sztuki, niektórych książek; brak ryzyka dla wielu dzieł sztuki i większości książek. Chemicznie niestabilne obiekty nieużywane przez dekady, mniej podatne na uszkodzenia, jeżeli rutynowo utrzymuje się $< 30^\circ\text{C}$ (dodatkowo chłodny okres zimy przedłuża ich żywotność)
C	Ochrona przed wszystkimi ekstremalnymi wartościami parametrów (znaczącymi zagrożeniami)	Przez cały rok wilgotność względna w zakresie 25 – 75% Temperatura rzadko powyżej 30°C, zazwyczaj poniżej 25°C					Wysokie ryzyko uszkodzeń fizycznych dla obiektów o wysokiej wrażliwości, umiarkowane ryzyko dla większości obrazów, większości fotografii, niektórych dzieł sztuki, niektórych książek; bardzo małe ryzyko dla wielu dzieł sztuki i większości książek. Chemicznie niestabilne obiekty nieużywane przez dekady, mniej podatne na uszkodzenia, jeżeli rutynowo utrzymuje się $< 30^\circ\text{C}$ (dodatkowo chłodny okres zimy przedłuża ich żywotność)
D	Ochrona przed zawilgoceciem	wilgotność względna poniżej 75%					Wysokie ryzyko nagłego lub skumulowanego uszkodzenia fizycznego większości dzieł sztuki i obrazów z powodu popękania wynikającego z niskiej wilgotności, ale unika się odspojenia i deformacji spowodowanych wysoką wilgotnością względną, szczególnie w przypadku forniru, obrazów, papieru i fotografii; unika się rozwoju grzybów pleśniowych i szybkiej korozji. Chemicznie niestabilne obiekty nieużywane przez dziesięciolecia, mniej podatne na uszkodzenia, jeżeli rutynowo utrzymuje się $< 30^\circ\text{C}$ (dodatkowo chłodny okres zimy przedłuża ich żywotność)

(*) – przyrost temperatury powietrza o + 10K, ale ostatecznie nie może przekroczyć 30°C

Magazyny

W magazynach przechowywane są eksponaty, które z takich powodów, jak np.: profil muzeum, charakter ekspozycji, ograniczona przestrzeń ekspozycyjna, zły stan, nie zostały skierowane do sal wystawienniczych. Środowisko w pomieszczeniach magazynowych musi im zapewnić długotrwałą ochronę. W konserwacji zapobiegawczej istotną kwestią jest sposób magazynowania zbiorów [19]. Podczas przechowywania i magazynowania obiektów ważne są właściwe warunki mikroklimatu: temperatura, wilgotność powietrza, światło oraz eliminowanie kurzu [10]. W ramach konserwacji prewencyjnej można w magazynach stworzyć maksymalnie bezpieczne warunki ochrony pod każdym względem, zapewniające jak najdłuższe trwanie muzealiów. Warunków takich nie uda się zapewnić w salach wystawowych, gdzie zawsze dochodzi do kompromisu pomiędzy ochroną a ekspozycją. Dla większości materiałów zaleca się utrzymanie temperatury powietrza na stałym poziomie w przedziale 18–20°C, ponieważ wyższe wartości sprzyjają rozwojowi grzybów, pleśni i innych organizmów [10].

W tabeli 6 dla materiałów o różnej wrażliwości zamieszczono przewidywany czas ich życia w środowisku o różnych wartościach temperatury powietrza (dla wilgotności 50%) (<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/temperature.html> cyt. za [7]).

Tabela 6. Przewidywany czas życia materiałów o różnej wrażliwości chemicznej w zależności od temperatury powietrza (dane dla wilgotności względnej powietrza 50%) [7]

Table 6. Expected lifetime of materials with different chemical sensitivities depending on the air temperature (data for 50% relative humidity) [7]

Temperatura, °C	Wrażliwość materiałów			
	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
	Drewno, len, bawełna, skóra, pergamin, farba olejna, tempera jajeczna, media akwarelowe	Stabilne materiały fotograficzne np. XIX-wieczne czarno-białe negatywy na szkle, XX-wieczne czarno-białe negatywy na folii poliestrowej	Kwaśny papier np. papier gazetowy i niskiej jakości książki, papiery po 1850 roku, celulozoid i wiele wczesnych tworzyw sztucznych, naturalne materiały zakwaszone przez zanieczyszczenia (tekstylija, skóra);	Media magnetyczne np. taśmy wideo, audio, dyskiety; materiały fotograficzne np. kolorowe wydruki; wiele elastycznych polimerów, od gumy do pianek poliuretanowych oraz niektóre farby akrylowe
~ 60°C	~ 4lata	~ 1 rok	~ 6 miesięcy	2 miesiące
~ 30°C	~ 250 lat	~ 75 lat	~ 25 lat	~ 7 lat
~ 25°C	~ 500 lat	~ 150 lat	~ 50 lat	~ 15 lat
~ 20°C	~ 1 000 lat	~ 300 lat	~ 100 lat	~ 30 lat
~ 10°C	~ 5 000 lat	~ 1 500 lat	~ 500 lat	~ 150 lat
~ 0°C	20 000 lat	~ lat 6 000 lat	~ 2000 lat	~ 600 lat

W [7] zwrócono uwagę na wiedzę Stefana Michalskiego z Canadian Conservation Institute, dotyczącą korzyści wynikających z przechowywania przedmiotów w środowisku o niskiej temperaturze powietrza. Spadek temperatury powietrza zmniejsza szybkość chemicznej degradacji polimerów organicznych, m.in. papieru, tkanin, skóry, tworzyw sztucznych, występujących w dużej części obiektów muzealnych. Z tego też powodu spa-

dek temperatury powietrza o 5K dwukrotnie wydłuża życie obiektu.

Oświetlenie

Stosowane w muzeach oświetlenie jest kompromisem między wrażeniem wzrokowym zwiedzającego, tzn. możliwością dokładnego obejrzenia obiektów, a wymaganiami konserwacji eksponatów [21].

Każdy rodzaj oświetlenia, zarówno naturalne, jak i sztuczne, stanowi zagrożenie dla muzealiów. Za najbardziej niebezpieczne uznano niewidoczne dla ludzkiego oka promieniowanie w zakresie bliskiego

tów muzealnych, powinno być pozbawione promieniowania UV i IR [21].

W przypadku oświetlenia sztucznego wykluczone jest stosowanie lamp żarowych oraz halogenowych, ponieważ oba źródła światła powodują nagrzewanie oświetlanych obiektów. Nie wolno również stosować lamp emitujących promieniowanie UV (lamp fluorescencyjnych). Z uwagi na powyższe preferowane jest oświetlenie LED lub światłowodowe [15].

W tabeli 7 zamieszczono wymagania konserwatorskie dotyczące oświetlenia szczególnie wrażliwych eksponatów

Tabela 7. Klasyfikacja materiałów ze względu na fotowrażliwość oraz maksymalne natężenie oświetlenia [8]

Kategoria fotowrażliwości	Materiały i przedmioty	Zalecane wartości natężenia oświetlenia, lx	Czas ekspozycji, godz./rok
1 Bardzo niska	Znaleziska i artefakty stosunkowo niewrażliwe na światło: metale, materiały kamienne i sztukaterie bez warstwy wykończeniowej, ceramika, biżuteria, emalie, szkło, polichromowane witraże okienne, skamieliny	Powyżej 300 lx, ale z ograniczeniem nagrzewania w szczególności sztukaterii, emalii, witraży i skamielin	Nieograniczony czas ekspozycji
2 Średnia	Znaleziska i artefakty umiarkowanie wrażliwe na światło: obrazy olejne i malowane temperami, freski – materiały organiczne nieujęte w grupach 3 i 4, takie jak rogi, kości, kość słoniowa, drewno	150	500
3 Wysoka	Znaleziska i artefakty bardzo wrażliwe na światło: tkaniny, kostiumy, gobeliny, arras, dywany, tapicerka; akwarele, pastele, druki, książki, barwiona skóra: obrazy niepokryte werniksem, obrazy malowane gwaszem, obrazy wykonane z zastosowaniem technik mieszanych lub „nowoczesnych” z niestabilnymi materiałami, rysunki wykonane piórkami; pióra, skóry i znaleziska botaniczne, materiały etnograficzne i historyczne organiczne naturalnego pochodzenia lub barwione produktami roślinnymi; papier, pergamin, mokre drewno	50	150
4 Bardzo wysoka	Znaleziska i artefakty wyjątkowo wrażliwe na światło: mumie; jedwabie, tusze, barwniki i pigmenty o podwyższonym ryzyku przebarwienia, takie jak lakiery itp.	50	50

nadfioletu (315–400 nm). Jednak, niezależnie od długości fal, każdy rodzaj promieniowania jest niebezpieczny dla eksponatów. Promieniowanie nadfioletowe, widzialne, jak i podczerwone powoduje nieodwracalne zmiany i uszkodzenia, takie jak: żółknięcie papieru, blaknięcie kolorów, rozkład spoiw i werniksów, pęknięcie i kruwienie się papieru oraz tkanin [6].

Zaleca się, aby promieniowanie VIS (widzialne), służące do oświetlania obiektów muzealnych, ograniczające poziom natężenia oświetlenia do 50÷150 lx. Materiały, ze względu na ich fotowrażliwość, zostały podzielone na 3 kategorie. Dla każdej z nich określono zalecane wartości natężenia oświetlenia oraz maksymalny czas ekspozycji.

W [9], [6], [16] dopuszczalne natężenie oświetlenia eksponatów i czas określono w zależności od fotowrażliwości obiektu jako:

- obiekty nieczułe na światło (metale, ceramika, kamienie, klejnoty, szkło) <300 lx, czas oświetlenia: bez ograniczeń,
- obiekty czułe na światło (obrazy olejne, drewno, rogi, kość słoniowa) <200 lx, nie dłużej niż 3000 godzin w ciągu roku,
- kurdybany <150 lx,
- obiekty szczególnie czułe na światło (akwarele, tekstylia, dywany, papiery, okazy przyrodnicze) <50 lx, czas oświetlenia: nie dłużej niż 1000 godzin w ciągu roku
- oświetlenie w magazynach – do 150 luksów zaleca się wręcz przechowywanie muzealiów w ciemności,
- pracownie konserwatorskie: w całym pomieszczeniu 200 lx, na przedmiocie pracy 500 lx.

Podane normy natężenia światła i czasu ekspozycji dotyczą oświetlenia obiektów źródłem światła z filtrem blokującym promieniowanie UV. Całkowite dopuszczalne natężenie promieniowania UV nie może przekroczyć 20 mW/m² lub 75 μW/lm [6].

Powyższe zalecenia odpowiadają wytycznym podanym w wycofanej w 2003 roku normie PN-E-02033:1984/Az2:2003 [16]. Zostały uzupełnione na podstawie [6] o informacje dotyczące dopuszczalnego czasu ekspozycji. W aktualnej normie PN-EN 12464-1:2012P [17] pojawiły się inaczej, bardzo ogólnie i jedynie opisowo, sformułowane zalecenia, bez wartości zalecanego natężenia oświetlenia:

- dla ekspozycji niewrażliwych na światło – oświetlenie jest określane przez wymagania wystawiennicze,
- dla ekspozycji wrażliwych na światło:
 1. oświetlenie jest określane przez wymagania wystawiennicze,
 2. najważniejsza jest ochrona przed promieniowaniem uszkodzającym.

Podsumowanie

Zapewnienie prawidłowych warunków środowiskowych w przestrzeni sal muzealnych, pracowni konserwatorskich, maga-

zynach jest środkiem prowadzącym do obniżenia poziomu zagrożenia i ochrony dzieł sztuki przed zniszczeniem.

Niezwykle ważne jest utrzymanie warunków bez nawet krótkotrwałych fluktuacji i cykli oraz gwałtownych i/lub częstych wahań temperatury i wilgotności. Wiadomo bowiem, że więcej szkody wyrządzi częsta i szybka zmiana niż niewłaściwa wartość parametru powietrza utrzymywana przed dłuższy czas.

W przypadku materiałów higroskopijnych obecnie zaleca się [18] utrzymywanie warunków odpowiadających klimatowi historycznemu, zarówno pod względem wartości, jak i zakresów wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza, ich zmienności scharakteryzowanej przez cykle i fluktuacje, ze szczególnym zwróceniem uwagi na wilgotność względną powietrza. Zalecono przyjęcie tych wartości za docelowe podczas projektowania oraz eksploatacji systemów grzewczych, wentylacji i klimatyzacji.

Podczas ekspozycji i magazynowania muzealiów zaleca się ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego, stosowanie oświetlenia sztucznego (oświetlenia LED, które nie emituje promieniowania UV i IR) [6].

BIBLIOGRAFIA

- [1] 2011 HVAC Application, ASHRAE Handbook, Chapter 23, Museums, Libraries, and Archives, Atlanta
- [2] Bonvicini C., La conservazione preventiva nel contesto degli standard museali italiani, w: Conservazione preventiva e controllo microclimatico nel contesto degli standard museali, Regione Toscana, Stampa Vanzani Industrie Grafiche, 2010, s. 19-27
- [3] Brimblecombe P., The composition of museum atmospheres, Atmospheric Environment. Part B, Urban Atmosphere, vol. 24, Issue 1, 1990, s. 1-8
- [4] Charkowska A., Kształtowanie mikroklimatu w muzeach, archiwach i magazynach dzieł sztuki Cz. 2., Chłodnictwo&Klimatyzacja, 12/2016-01/2017, s. 22-27
- [5] Charkowska A., Warunki środowiskowe w salach wystawowych i magazynach muzeów, Instal 2/2020, s. 39-43, DOI 10.36119/15.2020.2.4
- [6] Czop J., Warunki mikroklimatu w muzeach – nowe rekomendacje, w: ABC profilaktyki konserwatorskiej w muzeum, Ochrona Zbiorów, zeszyt nr 3 / 2013, Seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, s. 35 – 43

- [7] Czop J.; Centralny magazyn zbiorów muzealnych – nowe zadanie narodowego instytutu muzealnictwa i ochrony zbiorów. *Muz.*, 2019 (60): 92–102, DOI: 10.5604/01.3001.0013.2614
- [8] Decreto del Ministro per i Beni e le Attività Culturali del 10 maggio 2001, Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei
- [9] Fic-Lazor A., Konserwatorskie aspekty organizacji wystaw, w: ABC organizacji wystaw czasowych w muzeach, Szkolenia Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, 1/2012, s. 76 – 77
- [10] Fic-Lazor A., Magazynowanie zbiorów muzealnych. Rekomendacje dla mniejszych muzeów, w: ABC profilaktyki konserwatorskiej w muzeum, Ochrona Zbiorów zeszyt nr 3/2013, Seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, s. 18-35
- [11] Grzywacz C. M., Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments, Getty Publications, Los Angeles, 2006, s. 109-110
- [12] Kozłowski R., Strategie ochrony: międzynarodowe normy i zalecenia, Polska Akademia Nauk, Kraków
- [13] Mendys A., Doncer I., Lewicki P. i in., 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, 5/2018, s. 22-28
- [14] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o muzeach, Dz.U.2019.0.917
- [15] Oświetlenie muzealne i oświetlenie ekspozycji, www.alfazet (dostęp 6.03.2020)
- [16] PN-E-02033:1984/Az2:2003, Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym
- [17] PN-EN 12464-1:2012P, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [18] PN-EN 15757P, Konserwacja dóbr kultury – Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu.
- [19] Świącka E., Marek Rogowski M., Wstęp, w: ABC profilaktyki konserwatorskiej w muzeum, seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, Ochrona Zbiorów zeszyt nr 3 / 2013, Seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, s. 2-4
- [20] UNI 10829, 1999, Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi.
- [21] Zaremba K., Bezpieczne oświetlenie muzealne – światłowody czy diody LED?, Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje, ISSN 1731-6106, R. 5 nr 1/2007
- [22] Zarządzanie klimatem w muzeach: ochrona zbiorów i energooszczędność, Wstęp, Redakcja: Łukowski M., Ochrona Zbiorów, zeszyt nr 2, Seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów oraz Muzeum Narodowego w Krakowie, s. 3