

## SPOTKANIE PRZESZŁOŚCI Z PRZYSZŁOŚCIĄ, CZYLI MUZEUM JAKO BUDYNEK TYPU SMART

**Mirosław Dechnik**

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego

***Streszczenie.** W artykule przedstawiono charakterystykę technologii Smart Building w kontekście zastosowania w budynku muzeum. Zaprezentowano rolę zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji w inteligentnym budynku muzealnym, jego funkcje, a także problematykę maksymalizacji efektywności energetycznej, przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnych warunków konserwacji zabytków oraz przebywania ludzi.*

**Słowa kluczowe:** muzeum, automatyka budynku, efektywność energetyczna, inteligentny budynek, Smart Building

### THE PAST MEETS THE FUTURE – A MUSEUM AS A SMART BUILDING

***Abstract.** This article presents the characteristics of Smart Building technology in the context of their implementation in a museum building. The role of integrated building automation and a control system in an intelligent museum building, its functions, and the issue of maximizing energy efficiency, while ensuring the optimal conditions for preservation of relics, as well as people comfort were presented.*

**Keywords:** museum, building automation, energy efficiency, intelligent building, Smart Building

### Wstęp

Dynamiczny rozwój techniki cyfrowej spowodował, że w wielu dziedzinach życia wykorzystuje się technologię informatyczną, systemy komunikacji oraz automatyki. Znalazły one zastosowanie także w budynkach, tworzących nasze bezpośrednie otoczenie, w których współczesny człowiek spędza większość czasu. Zjawisko to, doprowadziło do rozwoju idei „inteligentnego budynku”. Określenie to wywodzi się z anglojęzycznego Smart Building [4].

Nowoczesna idea Smart Building, wkracza także do obszarów dotychczas utożsamianych z przeszłością – budynków muzealnych. Muzea rozumiane jako instytucje towarzyszą ludzkości od ponad 200 lat, natomiast świadome gromadzenie kolekcji ma już przeszło 2000-letnią historię. Rolą muzeów jest ochrona zabytków stanowiących dziedzictwo ludzkości oraz ich udostępnianie publiczności w formie wystaw. Mimo postępującej cyfryzacji zbiorów i trwającemu już od dziesięcioleci procesowi zastępowania rzeczywistości fizycznej rzeczywistością reprodukcji, ludzie wciąż chętnie odwiedzają muzea [11, 13].

Początki idei inteligentnego budynku sięgają lat 70-tych XX wieku. Rozwój technologii, a także zmieniające się potrzeby ludzi, wywierały wpływ na pojęcie „inteligentny budynek”, powodując, że jego znaczenie nieustannie ewoluowało. W różnych regionach świata wypracowano liczne interpretacje tego określenia, które do dziś nie zostały ujednoczone. Jako „budynek inteligentny”, można obecnie określić obiekt, który w sposób zintegrowany, efektywnie zarządza zasobami, usługami i ich wzajemnymi powiązaniem w celu zaspokajania zmieniających się potrzeb jego użytkowników, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i ciągłym poszanowaniu środowiska naturalnego [4, 20].

Za „inteligencję” budynku odpowiada zintegrowany system sterowania i automatyzacji, czyli system BACS (ang. Building Automation and Control System) umożliwiający pełną współpracę z urządzeniami/systemami automatyzacji budynku. Jest on także nazywany systemem zarządzania budynkiem BMS (ang. Building Management System) lub systemem zarządzania i sterowania budynkiem BMCS (ang. Building Management and Control System). Za obsługę poszczególnych funkcji budynku inteligentnego są odpowiedzialne inteligentne (typu Smart) instalacje elektryczne, będące wyspecjalizowanymi systemami automatycznego sterowania, określanymi również jako systemy automatyki budynkowej. „Inteligencja” budynku wynika z możliwości efektywnego współwykorzystania dostępnych urządzeń technicznych, dzięki zintegrowanemu zarządzaniu systemami automatycznego sterowania. Natomiast jej stopień zależy od zastosowanych systemów, ich wzajemnych powiązań oraz oprogramowania i zaimplementowanych algorytmów. Odróżnia to budynki inteligentne, od „zwykłych” budynków wyposażonych w niezależne systemy sterowania [4, 14].

Koncepcja Smart Building jest jeszcze stosunkowo młoda, zwłaszcza w zastosowaniu krajowym. Dopiero nowe obiekty – głównie użyteczności publicznej – wyposaża się w „inteligentne” rozwiązania, natomiast zdecydowana większość istniejących budynków wciąż bazuje na tradycyjnych instalacjach elektrycznych [4].

Współcześnie jednym z największych wyzwań stojących przed muzeami jest redukcja zapotrzebowania na energię. Organizacja muzeum jako budynku typu Smart otwiera nowe możliwości minimalizacji zużycia energii, niedostępne dotychczas dla tradycyjnych rozwiązań, umożliwiając jednocześnie zachowanie warunków mikroklimatycznych sprzyjających konserwacji zabytków, komfortu przebywania ludzi oraz bezpieczeństwa użytkownika budynku. Osiągnięcie kompromisu jest jednak w tym przypadku bardzo trudne. W celu odpowiedniej konserwacji zabytków konieczne jest zapewnienie określonych oraz stabilnych warunków mikroklimatu wnętrza w zakresie temperatury i wilgotności, a także możliwie niskiego poziomu oświetlenia. Z drugiej strony odwiedzający i obsługa wymagają doskonałych warunków termicznych i oświetleniowych, a także wysokiej jakości powietrza. Ponadto w muzeach często w jednym pomieszczeniu sąsiadują ze sobą eksponaty wykonane z różnych materiałów, o zróżnicowanej wrażliwości na czynniki środowiskowe. Ważne są również kryteria ekonomiczne zastosowanych rozwiązań. Ta wielokryterialna specyfika współczesnego muzeum, czyni proces projektowania budynku muzealnego niezwykle złożonym zadaniem [4, 7, 8, 14, 15, 19].

Możliwość uzyskania wysokiej efektywności energetycznej budynku muzeum, nie zależy wyłącznie od funkcjonalności samego systemu automatyki, ale wymagają także odpowiedniej konstrukcji instalacji technologicznych z nim współpracujących. Instalacje te powinny być wzajemnie dopasowane do zakładanego stopnia wpływu systemu automatyki na efektywność energetyczną budynku. Konieczna jest więc integracja procesu projektowania i udział projektanta automatyki budynkowej już na etapie tworzenia założeń funkcjonalnych dla budynku oraz jego ścisła współpraca z projektantami innych branż [4, 7].

### 1. Znaczenie właściwych warunków mikroklimatycznych w muzeum

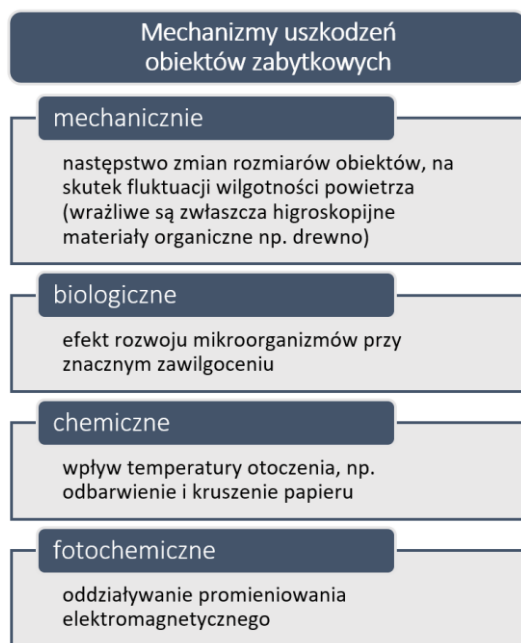
W Holandii jeszcze w latach 80-tych XX wieku, zwracano niewielką uwagę na znaczenie warunków mikroklimatycznych panujących w muzeum w kontekście zagadnienia ochrony eksponatów. Dopiero w latach 90-tych XX wieku zainicjowano działania mające na celu wyposażanie budynków muzealnych w rozwiązania, umożliwiające wytworzenie warunków bezpiecznych dla obiektów zabytkowych, opóźniających zachodzące w nich procesy starzeniowe [13].

Obecnie znane są różne rodzaje mechanizmów uszkodzeń obiektów zabytkowych, na skutek oddziaływania warunków mikroklimatycznych wnętrza (rys. 1). Mechanizmy te prowadzą do przyspieszenia procesów starzeniowych obiektów zabytkowych. Na ich podstawie można sklasyfikować czynniki zagrażające trwałości zabytków [10]:

- warunki temperaturowo-wilgotnościowe wnętrza,
- jakość powietrza, tj. zawartość pyłów, związków chemicznych i czynników biologicznych,
- oświetlenie naturalne (dienne) i sztuczne.

Stopień niszczącego działania tych czynników jest zależny od rodzaju materiału, z którego są wykonane obiekty zabytkowe oraz czasu ekspozycji na czynnik niebezpieczny.

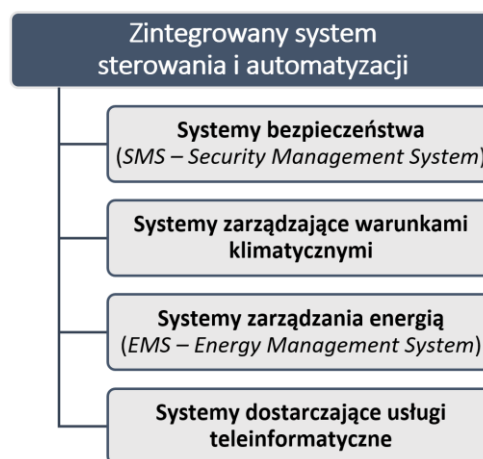
Na świecie, zwłaszcza w krajach posiadających stosunkowo dużo zabytków, utworzono stosowne normy i regulacje prawne, określające bezpieczne warunki środowiskowe dla przechowywania lub ekspozycji tego typu obiektów, również w zależności od typu kolekcji. W Polsce funkcjonują nieformalne tzw. normy konserwatorskie oraz zalecenia normy PN-EN 15757. W różnych opracowaniach naukowych i normach optymalne warunki mikroklimatyczne dla zabytków są jednak zróżnicowane [2, 8, 9, 10, 23].



Rys. 1. Mechanizmy uszkodzeń obiektów zabytkowych w muzeum [2, 3, 19]

## 2. Budynek muzeum typu Smart – integracja systemów i możliwości

Klasyczne systemy sterowania i automatyzacji budynku działają niezależnie, dlatego ogólna ich struktura w budynku jest rozbudowana (każdy z systemów posiada własne czujniki i okablowanie), a przy tym ograniczona funkcjonalnie. Dzięki integracji systemów w budynku typu Smart możliwe jest wzajemne współwykorzystanie dostępnych zasobów technicznych. Zintegrowany system sterowania i automatyzacji zarządza wszystkimi procesami zachodzącymi w budynku. Indywidualne systemy i instalacje techniczne inteligentnego budynku, można podzielić na obszary funkcjonalne, które działając w ramach nadrzędnego zintegrowanego systemu, wzajemnie się komunikują i współdziałają (rys. 2). Wśród nich można wyróżnić podsystemy funkcjonalne odpowiedzialne za obsługę poszczególnych funkcji. Należy jednak podkreślić, że granica między nimi jest często trudna do określenia, ze względu na podobną technologię oraz postępującą integrację [4, 12].



Rys. 2. Obszary funkcjonalne zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji

### 2.1. Systemy bezpieczeństwa

W obszarze systemów bezpieczeństwa realizowane są zadania zapewniające ochronę ludzi i mienia. Ze względu na przechowywane w muzeach cenne zbiory, obszar ten pełni niezwykle ważną rolę.

System kontroli dostępu umożliwia wejście do stref chronionych (np. budynku, pomieszczenia, terenu zewnętrznego) jedynie upoważnionym użytkownikom, natomiast system kontroli wjazdu otwiera bramę lub szlaban jedynie upoważnionym pojazdom. W celu identyfikacji uprawnionego personelu, systemy te mogą wykorzystywać klawiatury kodowe, czytniki kart dostępowych, rozpoznawanie odcisku palca lub tablic rejestracyjnych w przypadku pojazdów. System sygnalizacji włamania i napadu nadzoruje strefy chronione wykorzystując różnorodne czujniki, m.in. ruchu, stłuczenia szyby, otwarcia okna lub drzwi. System sygnalizacji pożarowej prowadzi nieustanny monitoring przestrzeni budynku przy pomocy detektorów np. dymu, ciepła lub płomienia, umożliwiając wykrycie pożaru już w początkowej fazie. System kontroli jakości powietrza wykrywa obecność niebezpiecznych substancji lotnych, natomiast system ochrony przed zalaniem pojawia się wody na posadzce.

W sytuacji wykrycia zagrożenia, budynek podejmuje najbardziej adekwatne dla jego typu działania. W przypadku detekcji nieuprawnionego wejścia do strefy chronionej włącza alarm, powiadamia służby ochrony oraz użytkownika. Kiedy wybuchnie pożar alarmuje użytkowników i powiadamia służby ratownicze oraz realizuje przewidziany scenariusz działań, sterując np. nagłośnieniem ewakuacyjnym, systemem oddymiania ciągów komunikacyjnych oraz prowadzącym oświetleniem awaryjnym w celu umożliwienia bezpiecznej ewakuacji ludzi. W celu ochrony mienia może także uruchomić system automatycznego gaszenia. Telewizja dozorowa oraz monitoring wizyjny i dźwiękowy umożliwiają obsłudze bieżącą weryfikację zagrożeń oraz dostęp do historycznych zapisów.

Po opuszczeniu budynku przez użytkowników, zintegrowany system sterowania zabezpiecza obiekt, uzbrajając system alarmowy oraz zamykając zewnętrzne przesłony okien.

System zasilania gwarantowanego poprawia pewność dostarczania energii elektrycznej do niewrażliwych odbiorów lub całego obiektu.

W budynku muzeum niezwykle ważne jest zagwarantowanie wysokiej niezawodności systemu zarządzania budynkiem, zwłaszcza w zakresie funkcji bezpieczeństwa. W tym celu możliwe jest zastosowanie redundantnych urządzeń (serwerów danych, sterowników sieciowych), które przejmą funkcje tych uszkodzonych [4].

## 2.2. Systemy zarządzające warunkami klimatycznymi

Systemy zarządzające warunkami klimatycznymi oddziałują na instalacje i urządzenia odbiorcze odpowiedzialne za zapewnienie warunków mikroklimatycznych użytkownika pomieszczeń. Systemy te powinny przede wszystkim realizować cele sterowania dla zapewnienia warunków, które:

- są przyjazne dla personelu oraz odwiedzających,
- sprzyjają właściwej konserwacji zabytkowych zbiorów, zarówno przechowywanych w specjalnych pomieszczeniach jak i udostępnianych publiczności w formie wystaw.

O ile warunki sprzyjające konserwacji większości rodzajów obiektów zabytkowych, tj. stabilna temperatura w zakresie 18–24°C i wilgotność względna 50–60% są na ogół akceptowalne przez zwiedzających (w dostosowanej odzieży), to utrzymywanie możliwie niskiego poziomu oświetlenia oraz niedostatecznej dla ludzi wentylacji są nie do zaakceptowania [2, 10, 15, 19].

Dostosowanie temperatury w pomieszczeniu może być realizowane poprzez sterowanie ogrzewaniem i chłodzeniem, a odpowiednia wilgotność przez nawilżanie lub osuszanie. Świeże powietrze o odpowiednich parametrach może być dystrybuowane przez system wentylacji lub być przygotowane już w pomieszczeniach dzięki lokalnym urządzeniom grzewczym i/lub chłodniczym, takim jak grzejniki, klimakonwektory lub systemy płaszczyznowe (podłogowe, sufitowe, ściennie). Na warunki termiczne w pomieszczeniu może mieć wpływ także wykorzystanie kurtyn powietrznych lub regulowanie dostępu światła słonecznego. Zapewnienie wymaganej jakości powietrza w zakresie poziomu wilgotności lub stężenia dwutlenku węgla, następuje poprzez sterowanie wentylacją, klimatyzacją i otwieraniem okien. Jeżeli podczas naturalnego przewietrzania wystąpią opady lub zbyt silny wiatr, okna są automatycznie zamykane [4].

Szczególnie niebezpieczne dla obiektów zabytkowych są szybkie i znaczące zmiany temperatury i wilgotności we wnętrzach [10]. Tego typu niekontrolowane fluktuacje parametrów temperaturowo-wilgotnościowych pomieszczeń muzealnych, wynikające głównie ze zmienności zewnętrznych warunków atmosferycznych oraz zysków ciepła od oświetlenia oraz ciepła i wilgoci od ludzi [9], powinny być eliminowane przez adekwatne sterowanie.

Muzea charakteryzują się najbardziej wymagającymi kryteriami oświetleniowymi spośród wszystkich budynków [1]. Oświetlenie w muzeum odpowiada za właściwą prezentację wystawianych eksponatów, skupia uwagę na przedmiotach, prowadzi odwiedzających przez wystawę, a także podkreśla architekturę wnętrza. Wytworzone przyjazne otoczenie świetlne wpływa na nastrój i emocje zwiedzających, a także sprzyja właściwemu odbiorowi wystawy, skłaniając do estetycznych przeżyć. Z drugiej strony promieniowanie świetlne uszkadza eksponaty przyspieszając zachodzące procesy starzeniowe. Konieczne jest więc zachowanie kompromisu między wrazeniem wzrokowym odbiorcy (możliwość dokładnego objerzenia obiektów), a wymaganiami konserwacji eksponatów. W celu jego osiągnięcia, system zarządzania warunkami klimatycznymi, w zakresie oświetlenia powinien realizować cele sterowania [1, 2, 3, 21, 24]:

- priorytetowe wykorzystywanie światła naturalnego,
- wytworzenie możliwie ergonomicznych warunków oświetleniowych, przy uwzględnieniu limitów natężenia oświetlenia (dla najbardziej wrażliwych eksponatów dopuszczalne jest jedynie natężenie oświetlenia rzędu 50÷150 lx),
- ograniczenie czasu ekspozycji zabytków na światło.

Dla wypracowania odpowiednich warunków oświetleniowych, zintegrowany system sterowania może dynamicznie regulować ilości światła dziennego penetrującego do pomieszczenia, za pomocą ruchomych przesłon zaciemniających, w zależności od warunków zewnętrznych. Natomiast oświetlenie sztuczne (elektryczne) powinno dostosować się do jego zmienności,

uzupełniając niedobory. Oświetlenie elektryczne orazienne może być także sterowane w zależności od obecności użytkowników, poprzez odpowiednio: włączanie/wyłączanie, ściemnianie oraz otwarcie/zamknięcie przesłon. Możliwe jest także udostępnienie sterowania światłem zwiedzającym, umożliwiając np. oświetlenie tylko wybranych eksponatów. W przypadku nieobecności zwiedzających w danej strefie, eksponaty powinny pozostać nieoświetlone [3, 4, 5].

## 2.3. Systemy zarządzania energią

W zakresie usług zarządzania energią, sterowana może być praca wszystkich instalacji odbiorczych w budynku, natomiast realizowane sterowania powinny respektować ograniczenia wynikające z dbałości o stan zabytków oraz komfort użytkowników.

System monitoringu zużycia energii i mediów dostarcza obsłudze muzeum informacje o bieżącym, historycznym oraz prognozowanym zużyciu energii, w przystępnej postaci. Dzięki temu stanowi wsparcie w zakresie gospodarowania nośnikami energii, a także pełni dzięki temu funkcję edukacyjną, kształtując świadomość personelu oraz zwiedzających.

System zarządzania i optymalizacji zużycia energii i mediów nadzoruje pracę źródeł ciepła i chłodu (np. kotłów gazowych, agregatów chłodniczych, pomp ciepła, układów kogeneracyjnych). Energia jest następnie indywidualnie – w zależności od zapotrzebowania – rozprowadzana do poszczególnych pomieszczeń (stref) budynku w celu realizacji funkcji ogrzewania i chłodzenia, z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego od temperatury pomieszczenia. Odmiennie niż w rozwiązaniach klasycznych, taki sposób sterowania umożliwia ograniczenie zużycia energii poprzez wykorzystywanie jej tylko w czasie i miejscu gdzie istnieje na nią zapotrzebowanie. Uniemożliwiane jest także jednoczesne ogrzewanie i chłodzenie strefy przez lokalne urządzenia, również poprzez adekwatne dostosowanie temperatury dostarczanego powietrza.

Dystrybucja świeżego powietrza do pomieszczeń przez układ wentylacji jest regulowana według zapotrzebowania, w zależności liczby użytkowników w poszczególnych pomieszczeniach (detekcja z wykorzystaniem czujników ruchu lub na podstawie parametrów jakości powietrza) lub stopnia wykorzystywania oświetlenia sztucznego. W przypadku nieobecności użytkowników krotkość wymian powietrza jest ograniczana do minimum. Możliwe jest także wykorzystanie zużytego powietrza poprzez odzysk ciepła zimą i chłodu latem za pośrednictwem odpowiednio sterowanego wymiennika lub częściowa jego recyrkulacja na podstawie informacji o stężeniu CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach. W okresie letnim, konieczność wykorzystania aktywnych źródeł chłodu w ciągu dnia może być ograniczona, dzięki akumulacji chłodu w konstrukcji budynku poprzez wietrzenie nocne [4, 10, 13, 17].

pozytywne efekty energetyczne możliwe są do osiągnięcia także poprzez sterowanie płaszczyznowymi systemami grzewczo-chłodniczymi z wykorzystaniem pojemności cieplnej budynku. Możliwe jest również wykorzystanie energii geotermalnej dla celów grzewczych lub chłodniczych we współpracy z pompą ciepła, poprzez chłodzenie tzw. pasywne lub za pośrednictwem poziomych gruntowych wymienników ciepła (wstępne dostosowanie temperatury powietrza dla systemu wentylacji). Optymalne zintegrowane sterowanie pozwala na maksymalizację efektywności energetycznej tych rozwiązań [15, 17, 18].

Kluczowe znaczenie dla efektywności energetycznej budynku muzeum ma też właściwy dobór nastaw, w szczególności temperatury i wilgotności zadanej w pomieszczeniach oraz ich dopuszczalnych tolerancji (im węższy zakres, tym wyższe zużycie energii). Wartości te mogą być statyczne lub dobierane dynamicznie m.in. w zależności od pory roku lub warunków zewnętrznych. Dawniej, w muzeach wyposażonych w klimatyzację, preferowano bardzo restrykcyjne utrzymywanie ściśle określonych warunków temperaturowo-wilgotnościowych. W ostatnich latach odchodzi się jednak od tej metody, ze względu na energochłonność procesu, na rzecz dopuszczenia

kontrolowanych fluktuacji, w celu zachowania równowagi między preferencjami ludzi, wymogami konserwacji obiektów zabytkowych oraz zapotrzebowania na energię [13, 14].

W zakresie funkcji oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego, może być regulowane jego natężenie, w zależności od obecności użytkowników oraz dostępności światła naturalnego. Pozycjonowanie ruchomych przesłon zaciemniających (rolet, żaluzji) umożliwia także ograniczenie nagrzewania pomieszczeń w lecie oraz wspomaga ogrzewanie pomieszczeń w zimie [3, 4].

System zarządzania poborem mocy i energii elektrycznej ogranicza pobór mocy, wyłączając odbiory o najniższym priorytecie, w celu ochrony odbiorcy przed dodatkowymi opłatami ze strony dostawcy energii elektrycznej oraz zwiększa pewność zasilania dzięki utrzymywaniu obciążenia poniżej progów wyzwalania zabezpieczeń. System ten może także sterować odbiorami, których praca może zostać odłożona w czasie, w celu wykorzystania czasu maksymalnej generacji źródeł odnawialnych lub obniżenia opłat za energię elektryczną, a także dobowej stabilizacji poboru mocy z sieci. System zarządzania produkcją i magazynowaniem energii pozyskanej ze źródeł alternatywnych, może wykorzystywać predykcję okresów i wielkości generacji mocy dla zapewnienia optymalnego wykorzystania ich potencjału. Współdziałając z systemem zasilania gwarantowanego, może uniezależnić budynek muzeum od dostaw energii elektrycznej z sieci.

W przyszłości systemy zarządzania energią budynków inteligentnych mają być zintegrowane z infrastrukturą inteligentnej sieci elektroenergetycznej Smart Grid [4].

## 2.4. Systemy dostarczające usługi teleinformatyczne

Dziedzina systemów dostarczających usługi teleinformatyczne obejmuje obszary: okablowania strukturalnego, lokalnych sieci komputerowych oraz połączenia z sieciami zewnętrznymi, bezpieczeństwa informatycznego, systemów transmisji danych, obrazu i dźwięku (np. oprawa wizualna i dźwiękowa wystawy) oraz systemów automatyzacji miejsc pracy (np. rejestracja odwiedzających, rejestracja czasu pracy, usługi informacyjne) [4].

## 2.5. Pozostałe funkcje

Zintegrowany system sterowania i automatyzacji muzeum dla realizacji celów sterowania takich jak zarządzanie źródłami energii, zamykanie okien lub bezpieczne pozycjonowanie żaluzji, wykorzystuje informacje o zewnętrznych warunkach atmosferycznych. Dane te, dotyczące m.in. temperatury, opadów, prędkości wiatru i nasłonecznienia, pochodzą z lokalnej stacji pogodowej. Inteligentny budynek muzeum może także integrować takie funkcje jak:

- obsługa urządzeń audio–video,
- systemy komunikacji poziomej i pionowej,
- podgrzewanie podjazdów, rynien, gzymsów,
- zdalne zarządzanie budynkiem,
- nawadnianie roślin,
- ładowanie pojazdów o napędzie elektrycznym,
- integracja z innymi budynkami w ramach inteligentnego osiedla lub miasta (Smart City).

Obsługa może komunikować się z systemem za pomocą naściennych zadajników, pilotów, telefonu komórkowego lub komputera. Nastawy mogą być zadawane w obrębie pomieszczeń muzeum lub spoza budynku poprzez sieć Internet – w tym przypadku należy zwrócić jednak szczególną uwagę na kwestie bezpieczeństwa komunikacji.

W przeciwieństwie do muzeów wyposażonych w klasyczne niezależne systemy sterowania, w przypadku muzeum typu Smart jakakolwiek modyfikacja zadań systemów lub rozszerzenie funkcjonalności, np. w przypadku zmian w aranżacji i przeznaczeniu pomieszczeń lub potrzeb, jest niezwykle łatwa i często

ogranicza się do wykonania czynności konfiguracyjnych za pośrednictwem stacji operatorskiej.

Z organizacją muzeum jako budynku typu *Smart*, związane są także szerokie możliwości aranżacji atrakcyjnej wystawy, wykorzystującej multimedialne formy przekazu. Aktywne sterowanie światłem, dźwiękiem, projektorami i ekranami (inicjowane wejściem zwiedzającego do wyznaczonej strefy) przekształca statyczną wystawę w multimedialny spektakl, który dzięki wykorzystaniu różnych zmysłów człowieka, może wzmocnić interakcję i emocjonalne zaangażowanie zwiedzającego. Ciekawe możliwości stwarza także wykorzystanie smartfonów w interakcji z wystawą np. odczyt kodów QR [4, 5, 16].

## 3. Rozwiązania typu Smart w polskich muzeach

W Polsce coraz więcej muzeów jest wyposażonych w zaawansowane systemy sterowania. Muzeum Miasta Gdyni oddane do użytku w 2007 r. wyposażone jest m.in. w:

- systemy kontroli dostępu, sygnalizacji włamania i napadu, sygnalizacji pożaru,
- sterowanie indywidualnymi oprawami oświetleniowymi w przestrzeni ekspozycyjnej, sterowanie oświetleniem pomieszczeń biurowych w zależności od obecności użytkowników, sterowanie oświetleniem zewnętrznym w zależności od natężenia oświetlenia dziennego,
- sterowanie ogrzewaniem i chłodzeniem w zależności od warunków atmosferycznych, wraz z funkcją nocnego ograniczenia wykorzystania urządzeń grzewczo-chłodniczych.

Innym przykładem jest Brama Poznania, gdzie w budynku starych fortów (stanowiących wejście oraz lobby muzeum), przeszklonym tunelu nad rzeką i nowoczesnej części muzealnej zastosowano m.in. sterowanie oświetleniem oraz systemy bezpieczeństwa wykorzystujące czujniki obecności, systemy sterowania ogrzewaniem i chłodzeniem (belki chłodzące), sterowanie roletami w salach konferencyjnych, a także wideodomofony. Zużycie energii elektrycznej jest monitorowane w ramach systemu zarządzania energią. Wyzwaniem dla projektantów była historyczna część muzeum znajdująca się pod opieką konserwatora zabytków. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań było możliwe pod warunkiem, że sensory i urządzenia wykonawcze nie zmieniają estetyki zabytkowych wnętrz, co osiągnięto dzięki odpowiedniemu dostosowaniu ich koloru. Kolejnym przykładem jest Muzeum Narodowe – Centrum Dialogu Przełomy. We wnętrzach tego budynku (w części podziemnych) zaimplementowano m.in. funkcje sterowania oświetleniem w zależności od obecności, ogrzewania i chłodzenia (wykorzystujące ogrzewanie podłogowe i klimakonwektory), a także sterowania wystawą wykorzystującą multimedialne formy przekazu [6, 22].

## 4. Podsumowanie

Istotą „inteligencji” budynku typu Smart jest zintegrowane zarządzanie jego funkcjami, realizowane przez system sterowania i automatyzacji, bazujący na strukturze inteligentnej instalacji elektrycznej. Integracja systemów jest cechą, która odróżnia budynki typu Smart od budynków wyposażonych w klasyczne, niezależne systemy sterowania i automatyzacji.

Idea Smart Building nieustannie się rozwija otwierając nowe obszary zastosowań. Pomimo że jest jeszcze stosunkowo młoda, to budynki inteligentne już dziś oferują imponujące możliwości funkcjonalne. Budynki muzealne typu Smart mogą być bardzo efektywne energetycznie, pomimo restrykcyjnych wymagań dotyczących komfortu użytkownika i ochrony zabytków. Najwyższy stopień energooszczędności może być osiągnięty poprzez sterowanie z uwzględnieniem bezwładności termicznej budynku, harmonogramu funkcjonowania muzeum oraz wykorzystania metod predykcyjnych. Niewątpliwymi zaletami są też łatwość dopasowania zadań systemu do zmian w aranżacji oraz możliwość integracji scenariusza wystawy.

W nowoczesnym budynku muzealnym, zastosowanie rozwiązań Smart nie nastęrcza trudności technicznych, choć wciąż wiąże się wyższymi nakładami inwestycyjnymi w porównaniu do rozwiązań tradycyjnych. Dużym wyzwaniem technicznym może być natomiast implementacja rozwiązań Smart w budynku historycznym, adaptowanym na potrzeby muzeum, z uwagi na ograniczenia techniczne i prawne. O ile zintegrowany system sterowania może bazować nawet na infrastrukturze bezprzewodowej, to dla realizacji celów sterowania wymaga ona odpowiedniej, adekwatnej infrastruktury instalacji technicznych budynku.

Dzięki złożoności zachodzących procesów i konieczności znalezienia kompromisu między współczesnymi wymaganiami, budynek muzeum jest doskonałym obszarem zastosowania nowoczesnych rozwiązań z zakresu Smart Building.

## Literatura

- [1] Ahmad N., Ahmad S. Sh, Talib A.: Illuminance distributions, visual response and limits for conservation of exhibits in Admiral Cheng Ho Gallery, Malaysia. 2011 IEEE Symposium on Computers & Informatics, 407–412.
- [2] Czop J.: Warunki mikroklimatyczne w muzeum – nowe rekomendacje, ABC profilaktyki konserwatorskiej w muzeum. Ochrona Zbiorów, Seria wydawnicza Narodowego Instytutu Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów 3/2013, 35–43.
- [3] De Graaf T., Dessouky M., Müller H.F.O.: Sustainable lighting of museum buildings *Renewable Energy* 67/2014, 30–34.
- [4] Dechnik M., Moskwa S.: Smart House - inteligentny budynek - idea przyszłości. *Przegląd Elektrotechniczny* 9/2017, 1–10.
- [5] Di Salvo S.: Innovation in lighting for enhancing the appreciation and preservation of archaeological heritage. *Journal of Cultural Heritage* 15(2)/2014, 209–212.
- [6] Dolecki S.: Historia doświetlona automatyką. *Dzisiaj – magazyn dla klientów ABB w Polsce*, nr 1/2011, 12-17
- [7] Fedorcak-Cisak M., Furtak M., Kotowicz A.: Aspects and implementation of low-energy buildings design. *Visnik Nacional'nogo Universitetu "L'vivs'ka Politehnika"* 844/2016, 253–259.
- [8] Ferdyn-Grygierek J.: Indoor environment quality in the museum building and its effect on heating and cooling demand. *Energy and Buildings* 85/2014, 32–44.
- [9] Ferdyn-Grygierek J.: Monitoring of indoor air parameters in large museum exhibition halls with and without air-conditioning systems. *Building and Environment* 107/2016, 113–126.
- [10] Ferdyn-Grygierek J., Baranowski A.: Internal environment in the museum building – Assessment and improvement of air exchange and its impact on energy demand for heating. *Energy and Buildings* 92/2015, 45–54.
- [11] Folga-Januszewska D.: Muzeum: definicja i pojęcie. Czym jest muzeum dzisiaj? *Muzealnictwo* 49/2017, Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, 200–203.
- [12] Grela J.: Analiza wpływu systemów automatyzacji na efektywność energetyczną instalacji i obiektów budowlanych. Rozprawa doktorska, promotor: Marian Noga, promotor pomocniczy: Andrzej Ozadowicz, AGH, Kraków 2017
- [13] Kramer R., Maas M.P.E., Martens M.H.J., van Schijndel A.W.M., Schellen H.L.: Energy conservation in museums using different setpoint strategies: A case study for a state-of-the-art museum using building simulations. *Applied Energy* 158/2015, 446–458.
- [14] Kramer R., van Schijndel J., Schellen H.: Dynamic setpoint control for museum indoor climate conditioning integrating collection and comfort requirements: Development and energy impact for Europe. *Building and Environment* 118/2017, 14–31.
- [15] Mueller H. F.O.: Energy efficient museum buildings. *Renewable Energy*, t. 49, 2013, 232–236
- [16] Noga M., Ozadowicz A., Grela J.: Efektywność energetyczna i Smart Metering – nowe wyzwania dla systemów automatyki budynkowej. *Napędy i Sterowanie*, 12/2012, 54–59.
- [17] Romańska-Zapała A., Bomberg M., Fedorcak-Cisak M., Furtak M., Yarbrough D., Dechnik M.: Buildings with environmental quality management (EQM) Part 2: Integration of hydronic heating/cooling with thermal mass. *Journal of Building Physics*, 2017 [DOI: 10.1177/1744259117735465].
- [18] Romańska-Zapała A., Furtak M., Dechnik M.: Cooperation of Horizontal Ground Heat Exchanger with the Ventilation Unit During Summer – Case Study. *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium (WMCAUS)*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 245/2017 [DOI: 10.1088/1757-899X/245/5/052027].
- [19] Silva H.E., Henriques F.M.A., Henriques T.A.S., Coelho G.: A sequential process to assess and optimize the indoor climate in museums. *Building and Environment* 104/2016, 21–34.
- [20] Szász Cs., Husi G.: The intelligent building definition: a Central-European approach. *System Integration (SII)*, 2014 IEEE/SICE International Symposium on, 216–221.
- [21] Zaremba K.: Bezpieczne oświetlenie muzealne – światłowodowy czy diody LED? *Przegląd Elektrotechniczny* 1/2007, 70–72.
- [22] Nowoczesne centra kultury z automatyką budynkową ABB, <http://www.abb.pl/> [13.09.2018]
- [23] PN-EN 15757:2012 Konserwacja dóbr kultury – Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu.
- [24] Sposoby właściwego oświetlania wnętrz muzealnych i ekspozycyjnych, <http://www.bip.muzeum.stalowawola.pl/> [15.10.2017].

**Mgr inż. Mirosław Dechnik**  
e-mail: mdechnik@pk.edu.pl

Absolwent AGH w Krakowie (2013 r.), mgr inż. elektrotechniki w specjalności energoelektronika i napęd elektryczny. Obecnie pracownik Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego Politechniki Krakowskiej oraz doktorant AGH w Krakowie na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej. Jego główne zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień sterowania oświetleniem oraz zintegrowanego sterowania procesami w budynkach.



otrzymano/received: 13.02.2018

przyjęto do druku/accepted: 15.09.2018