

Smart House – inteligentny budynek – idea przyszłości

Streszczenie. *Rozwój integracji różnego rodzaju systemów automatyki i sterowania w obszarze zasilania urządzeń elektrycznych stanowi dzisiaj jeden z głównych obszarów rozwoju inżynierii elektrycznej. Artykuł prezentuje charakterystykę technologii Smart House w kontekście oceny czy jest to już ostateczne i gotowe rozwiązanie, czy wciąż idea przyszłości. Przedstawiono rolę zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji w inteligentnym budynku, jego możliwości i wpływ na efektywność energetyczną, a także problematykę komunikacji człowieka z budynkiem. Dokonano także analizy idei Smart House, konfrontując jej zalety i wady oraz potencjalne szanse i zagrożenia rozwoju.*

Abstract. *The development of the integration of various types of automation and control systems in the field of power electrical equipment are today one of the main areas of development of electrical engineering. The article presents the characteristics of the Smart House technology in the context of the assessment: is it already final and ready solution or is it still the idea of the future. The role of integrated building automation and control system, its features and the impact on energy efficiency, as well as the issue of human communication with the building were presented. Analysis of the Smart House idea, confronting its advantages and disadvantages and the development opportunities and threats was also presented. (Smart House - intelligent building - the idea of the future).*

Słowa kluczowe: inteligentny budynek, Smart House, system zarządzania budynkiem (BMS), efektywność energetyczna.

Keywords: intelligent building, Smart House, building management system (BMS), energy efficiency.

Wstęp

Postęp techniczny i rozwój nowych technologii powoduje nieustanne zwiększanie komfortu życia ludzi. Zarówno w gospodarstwach domowych jak i miejscach pracy lub wypoczynku wykorzystywane są różnorodne urządzenia wspomagające codzienne czynności. Dzięki dynamicznemu rozwojowi techniki cyfrowej, obecnie coraz więcej urządzeń jest wyposażonych w zaawansowane układy sterowania, a wiele dziedzin życia korzysta z technologii informatycznych, systemów komunikacji i automatyki. Systemy te znalazły zastosowanie m. in. w licznych obszarach infrastruktury miejskiej, w tym także najbardziej szczególnym z nich: budynkach tworzących bezpośrednie otoczenie, w których współczesny człowiek spędza większość czasu. Zjawisko to, dało początek terminowi *Smart House*, tłumaczonego w języku polskim jako „inteligentny budynek” [1, 2, 3, 4, 5, 6].

W codziennym życiu, coraz częściej przebywamy w budynkach nasyconych nowoczesną technologią i systemami sterowania. Systemy automatyki budynkowej są obecnie stosowane nie tylko w obiektach użyteczności publicznej, lecz także coraz częściej w budynkach mieszkalnych (np. domach jednorodzinnych). Zarazem idea ta dynamicznie się rozwija, wciąż tworząc nowe obszary zastosowań [5, 6, 7, 8]. Czy zatem *Smart House* jest już gotowym rozwiązaniem, czy może wciąż ideą przyszłości?

Idea Smart House

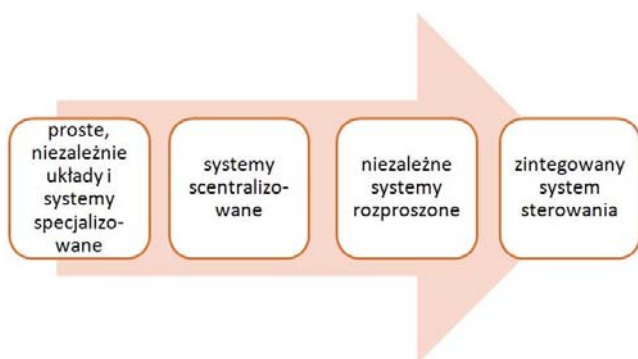
Ideę inteligentnego budynku zapoczątkowano już w latach 70-tych XX wieku. Skupiano się wtedy na automatyzacji procesów produkcyjnych i optymalizacji wydajności ekonomicznej firm. W latach 80-tych ideę zaadaptowano na potrzeby budownictwa użyteczności publicznej oraz mieszkalnego. Określenie „budynek inteligentny” zdefiniowano po raz pierwszy na początku lat

80. w Instytucie Inteligentnych Budowli w Waszyngtonie (USA) [9]. W 1983 r. wzniesiono pierwszy budynek promowany jako „inteligentny” – *The City Place Building* w Hatford (USA) [3]. Pierwszy artykuł traktujący o inteligencji budynku opublikowano z końcem 1985 r. w czasopiśmie *Engineering Digest* [10, 11]. Początkowe implementacje nowej technologii opierały się na niezależnych systemach specjalizowanych, z własnym okablowaniem, obsługujących wydzielone funkcjonalności. Ich automatyka bazowała na prostych, bezprocesorowych układach (automaty oświetleniowe, zegary sterujące lub urządzenia złączane systemami czujników i styczników). W późniejszym czasie, wraz z dynamicznym rozwojem technologii (rys. 1) wprowadzono systemy scentralizowane, których nadzór i sterowanie zapewniał centralny komputer o dużej mocy obliczeniowej. Wadą tego rozwiązania było ryzyko awarii paraliżującej funkcjonowanie całego budynku. Kolejnym etapem rozwoju było wprowadzenie rozproszonych systemów sterujących poszczególnymi instalacjami technicznymi budynku oraz bezpieczeństwa. Wyposażone w procesory sterowniki dedykowane pozwalały na lokalne przetwarzanie informacji i sterowanie, co zapewniło wyższy poziom niezawodności. Kolejnym krokiem była integracja systemów rozproszonych – stworzenie zintegrowanych systemów sterowania, zarządzających wszystkimi do tej pory niezależnymi systemami, reagujących na zmieniające się uwarunkowania zewnętrzne i wewnętrzne [4, 9, 12, 13, 14].

Wraz z rozwojem technologii i zmieniających się potrzeb, znaczenie pojęcia „inteligentny budynek” nieustannie ewoluowało. Na całym świecie powstało wiele definicji i interpretacji tego terminu, które do tej pory nie zostały ujednolicone [3, 9, 11, 13, 15, 16]. Definicje inteligentnego budynku funkcjonujące w Stanach Zjednoczonych opracowane przez *Intelligent Building Institute* – IBI [13, 15, 16] oraz w Wielkiej Brytanii

opracowane przez *European Intelligent Building Group* – EIBG [13, 15, 16], kładą główny nacisk na wydajność i aspekt ekonomiczny. Z kolei podejście japońskie (definicja podana przez *Japanese Intelligent Building Institute* – JIBI) skupia się przede wszystkim na użytkowniku [13, 16]. Natomiast chińskie definicje wskazują bezpośrednio na systemy technologiczne i automatyzacji jakie powinien posiadać budynek [13, 15, 16]. Zgodnie z definicją *European Intelligent Building Group* (EIBG) „inteligentny budynek to taki, który maksymalizuje efektywność działań użytkowników go wykorzystujących i pozwala na sprawne zarządzanie zasobami przy minimalnych kosztach eksploatacji” [3, 15].

W ogólnym podejściu, mianem inteligentnego budynku można dziś 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. To właśnie zintegrowane zarządzanie wszystkimi systemami automatycznego sterowania odróżnia budynki inteligentne, od „zwykłych” budynków wyposażonych w niezależne systemy sterowania. Zatem, „inteligencja” budynku nie wynika z samej obecności różnych urządzeń technicznych, lecz przede wszystkim z możliwości ich efektywnego współwykorzystania [5, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Stopień „inteligencji” budynku zależy od zastosowanych systemów i ich wzajemnych powiązań oraz oprogramowania sterującego i zaimplementowanych algorytmów [20].



Rys.1. Etapy rozwoju systemów automatycznego sterowania w inteligentnych budynkach

Warto podkreślić, że tak powszechnie używane dziś określenie „inteligentny budynek” funkcjonujące również w języku angielskim („*intelligent building*”), nie może być interpretowane dosłownie, gdyż inteligencją cechują się jedynie istoty żywe [3], a budynek tylko odtwarza inteligencję projektantów, korzystając z zaprogramowanych algorytmów sterowania i podejmując decyzje na ich podstawie, przy wykorzystaniu danych historycznych. W tym kontekście termin *smart* (mądry, sprytny), wydaje się być bardziej adekwatnym określeniem budynku wyposażonego w systemy sterowania automatycznego [2, 20].

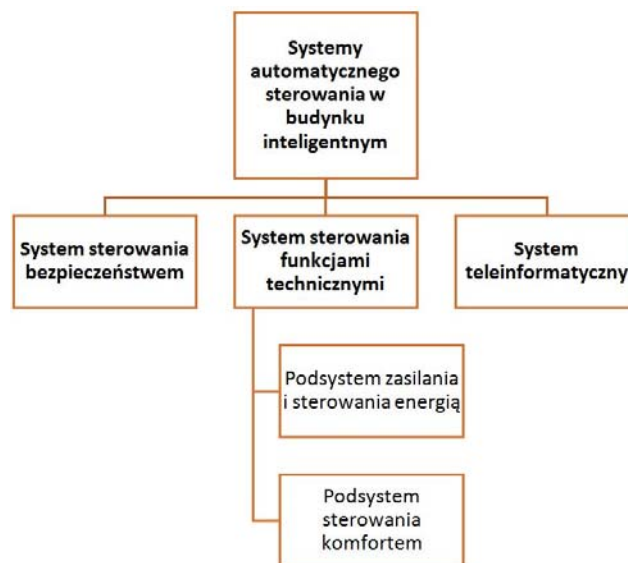
Zintegrowany system sterowania i automatyzacji budynku

Za obsługę poszczególnych funkcjonalności budynku inteligentnego odpowiadają inteligentne (typu *smart*) instalacje elektryczne, będące wyspecjalizowanymi systemami automatycznego sterowania, określanymi także jako systemy automatyki budynkowej (rys. 2) [9, 21, 22, 23].

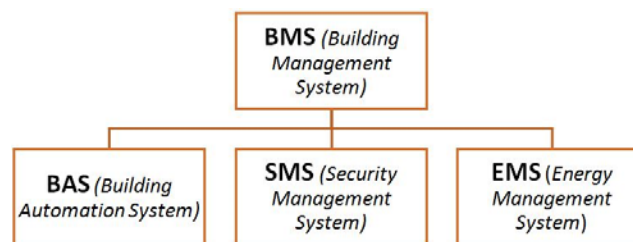
System zarządzania budynkiem BMS (*Building Management System*) nadzoruje następujące obszary funkcjonalne systemów automatyki budynkowej (rys. 3) [24]:

- system automatyzacji / automatyki budynku – BAS (*Building Automation System*), zarządzający funkcjonalnościami technicznymi budynku,
- system zarządzania bezpieczeństwem – SMS (*Security Management System*), kontrolujący systemy bezpieczeństwa,
- system zarządzania energią – EMS (*Energy Management System*), nadzorujący zużycie energii i mediów.

System zarządzania budynkiem (BMS) jest traktowany jako nadrzędny także w innych publikacjach [5, 8, 13, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30], nadzorując obszary funkcjonalności technicznych, bezpieczeństwa i zarządzania energią. W literaturze system zarządzania energią – EMS określany jest także jako BEMS (*Building Energy Management System*) [7, 13, 31] lub EMCS (*Energy Management and Control System*) [13]. Z kolei systemy EMS i EMCS są traktowane jako odrębne [11]. W niektórych publikacjach [25, 32, 33] stosowane są także określenia systemów doprecyzowane dla domów (*Home*), poprzez zastąpienie w poszczególnych nazwach pojęcia budynek (*Building*), np. HMS (*Home Management System*), HEMS (*Home Energy Management System*). Terminy: system automatyki budynku (BAS) [18, 19, 31], system zarządzania budynkiem (BMS) [13, 32] lub system sterowania budynkiem – BCS (*Building Control System*) [31] są także wykorzystywane dla określenia ogółu funkcjonalności systemów automatycznego sterowania w budynku inteligentnym.



Rys.2. Systemy automatycznego sterowania w budynku inteligentnym



Rys.3. Obszary funkcjonalne systemów automatyki budynkowej

Zgodnie z inną koncepcją [9, 17, 33, 34] system zarządzania i sterownia budynkiem BMCS (*Building Management and Control System*), nadzoruje następujące systemy zarządzania systemami automatycznego sterowania:

- system zarządzania budynkiem (BMS), obsługujący wszystkie funkcjonalności techniczne budynku (w tym zarządzanie energią i komfortem),
- system zarządzania bezpieczeństwem (SMS), nadzorujący systemy bezpieczeństwa.

Według obowiązującej normy PN-EN 15232:2012 *Energetyczne właściwości budynków – Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami* [30] nadrzędnym jest system sterowania i automatyzacji budynku BACS (*Building Automation and Control System*). Tym terminem powinny być również określane: system zarządzania budynkiem (BMS) lub zarządzania energią budynku (EMS), o ile są zgodne z wymaganiami serii norm EN ISO 16484 *Systemy automatyzacji i sterowania budynków (BACS)*.

Mimo różnorodnej terminologii i systematyki, stale obecnym schematem organizacji systemów automatyki budynkowej, jest istnienie nadrzędnego systemu obejmującego zarówno funkcjonalności techniczne budynku, systemy bezpieczeństwa jak i obszar zarządzania energią. Należy podkreślić, że granica między poszczególnymi podsystemami jest często trudna do określenia, ze względu na zbliżoną technologię oraz postępującą integrację [21].

Za „inteligencję” budynku odpowiada zintegrowany system sterowania i automatyzacji budynku, czyli system BACS wyposażony w możliwość pełnej współpracy z urządzeniami/systemami automatyzacji budynku, oferując wielofunkcyjną współzależność między usługami, funkcjonalnościami i podsystemami budynku [30]. System o tych cechach, jest także określany zintegrowanym systemem zarządzania budynkiem (IBMS – *Integrated Building Management System*) [12, 19, 21]. Integracja realizowana jest poprzez powiązanie lokalnych, inteligentnych podsystemów funkcjonalnych (umożliwiających samodzielne przetwarzanie danych) za pomocą interfejsów komunikacyjnych, w globalny system z nadrzędnym zarządzaniem. W przypadku systemów bezpieczeństwa ze względu na uwarunkowania techniczne i prawne integracja polega najczęściej na połączeniu na jednym poziomie interfejsów autonomicznych systemów [12, 33].

Zintegrowane systemy sterowania i automatyzacji budynku pod względem funkcjonalnym cechują się strukturą hierarchiczną. Można w nich wyszczególnić następujące poziomy funkcjonalne (rys. 4) [3, 6, 9, 10, 11, 12, 17, 19, 21, 34, 35]:

- zarządzania – poziom nadrzędny (globalny) odpowiedzialny za funkcjonowanie całego budynku i wszystkich jego podsystemów funkcjonalnych; obejmuje serwery z bazami danych i stacje operatorskie, nadrzędne i techniczne (najczęściej komputery typu PC ze specjalistycznym oprogramowaniem) pełniące funkcje zarządzania, zbierania i archiwizacji danych, wizualizacji i monitoringu; na tym poziomie możliwe jest całościowe zarządzanie budynkiem, dostęp do wszelkich informacji i sterowanie dowolnym elementem systemu, programowanie urządzeń poziomów automatyzacji i wykonawczego, obsługa harmonogramów i alarmów, generowane raportów, analiza i podejmowanie decyzji dotyczących eksploatacji, zużycia energii, prognozowania działań itp.; w bardzo dużych systemach (np. kilka budynków) poziom ten dzieli się na warstwę

zarządzania informacją i nadrzędną warstwę administracji;

- automatyzacji (sterowania i automatyki budynkowej) – obejmujący sterowniki sieciowe obsługujące poszczególne systemy techniczne i bezpieczeństwa i przygotowujące dane dla sterowania nadrzędnego; urządzenia te wyposażone we własne mikroprocesory oraz pamięć, rozlokowane są w przestrzeni budynku, obsługując określone strefy lub całe podsystemy; sterowniki zachowują pełną kontrolę nad wykonywanymi działaniami, nawet w przypadku braku komunikacji z nadrzędną jednostką zarządzającą, dzięki czemu system automatyki cechuje się wysoką niezawodnością;
- wykonawczy (obiektowy, pola) – składający się z różnego typu regulatorów i prostych sterowników wykonujących bezpośrednio funkcje sterowania oraz czujników i elementów wykonawczych (np. siłowników, silników, zaworów itp.), central autonomicznych systemów bezpieczeństwa, wyspecjalizowanych układów sterowania niektórych odbiorów (np. central wentylacyjnych, pomp ciepła, wind).

Jedynie duże obiekty są wyposażone w rozbudowany system obejmujący wszystkie poziomy hierarchiczne. W obiektach małych takich jak domy jednorodzinne, pojedyncze mieszkania lub punkty usługowe cały system może być realizowany tylko na poziomie wykonawczym [21].



Rys.4. Struktura hierarchiczna zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji budynku

Komunikacja w automatycznych systemach sterowania

W inteligentnym budownictwie stosowane są różne standardy automatycznych systemów sterowania. Najogólniej dzielą się one na zamknięte i otwarte. Systemy zamknięte (firmowe) cechują się tajnymi protokołami komunikacji oraz zamkniętym oprogramowaniem. Ich zaletą jest bezpieczeństwo, a wadą – wysokie koszty (możliwość uruchomienia i serwisowania systemu jedynie przez jego producenta). Systemy otwarte charakteryzują się jawnymi protokołami komunikacji oraz dostępnością oprogramowania. Dzięki temu oferowana jest dla nich duża liczba urządzeń wielu niezależnych producentów, a system może być wdrożony przez firmę zewnętrzną, niezwiązaną z producentem urządzeń. Dzięki niewątpliwym zaletom systemy otwarte zyskały obecnie dużą popularność, a najbardziej rozpowszechnionymi stały się KNX (dawniej EIB), LonWorks, Modbus, BACnet. Wybór konkretnego rozwiązania zależy od specyfiki projektowanej instalacji [4, 5, 17, 22].

Urządzenia systemów automatyki budynkowej mogą komunikować się za pomocą mediów komunikacyjnych przewodowych: dedykowane przewody elektryczne, np.: para przewodów skręconych (TP – *twisted pair*), przewód koncentryczny, komunikacja z wykorzystaniem przewodów tradycyjnej instalacji elektrycznej (PL – *power line*), światłowodowych lub bezprzewodowych: fale elektromagnetyczne – fale radiowe (RF – *radio frequency*) lub podczerwone,

łącze transmisji ultradźwiękowej [4, 10, 21, 35]. Na poziomie wykonawczym poszczególne systemy używają własnych, często różnych protokołów komunikacji (np. ModBus, M-Bus, Lon Works, KNX, protokoły firmowe). W warstwie automatyzacji następuje integracja systemowa i sprzętowa dzięki czemu urządzenia mogą się wzajemnie komunikować. Na tym poziomie koncentrują się wszystkie magistrale sieciowe oraz tworzona jest lokalna sieć komputerowa korzystająca z jednego protokołu komunikacji. Sieć ta wykorzystywana jest również w integracji na poziomie zarządzania [5, 12, 17, 21, 34, 35, 36, 37].

Sterowanie procesami w budynku przez system BMS wykonywane jest automatycznie lub bezpośrednio przez użytkownika. W ramach działań samoczynnych, sterowania realizowane są za pomocą dwóch podstawowych metod [11, 26]:

- sterownie czasowe (np. praca systemu ogrzewania pomieszczenia według zdefiniowanych harmonogramów czasowych),
- sterowanie parametryczne (np. praca systemu ogrzewania pomieszczenia na podstawie pomiaru poziomu temperatury w pomieszczeniu, wykryciu stanu otwarcia okna lub obecności użytkownika w pomieszczeniu).

Komunikacja z systemem oraz zadawanie nastaw może być realizowane np. za pomocą ściennych zadajników, pilotów, za pośrednictwem telefonu komórkowego lub komputera, a także dzięki poleceniom głosowym i gestom. Ponadto może się to odbywać zdalnie nie tylko w obrębie pomieszczeń, ale także z zewnątrz za pośrednictwem sieci Internet lub wiadomości SMS. System odbiera informacje o stanie pomieszczeń i urządzeń w budynku za pomocą czujników (sensorów), a następnie na ich podstawie reaguje na zmieniające się warunki środowiskowe zewnętrzne (np. temperatura, nasłonecznienie, siła wiatru) oraz wewnętrzne (np. obecność użytkowników, stopień wykorzystania pomieszczeń). Odbywa się to poprzez sformułowanie poleceń, realizowanych przez elementy wykonawcze (tzw. aktory). Przykładami sensorów są czujniki temperatury, stężenia CO₂, ruchu, zmierzchu oraz regulatory (zadajniki ściienne, panele dotykowe, piloty), zaś elementów wykonawczych zawory grzejników, pompy, napędy rolet, styczniki załączające poszczególne obwody (np. oświetleniowe) [5, 19, 25, 33].

Niezwykle ważne jest zapewnienie wysokiej niezawodności systemu zarządzania budynkiem. Awaria na poziomie administracji i zarządzania mogłaby spowodować utratę danych lub uniemożliwić pracę całego systemu. Z kolei na poziomie automatyzacji usterka może sparaliżować pracę jednego z podsystemów technicznych lub bezpieczeństwa. Aby temu zapobiec dla tych warstw stosuje się redundantne urządzenia (serwery danych, sterowniki sieciowe), przejmujące funkcje uszkodzonych urządzeń. Na poziomie warstwy wykonawczej, z uwagi na liczne elementy oraz ich dostępność dla użytkownika awarie są najbardziej prawdopodobne, jednak ich skutki ograniczają się do pojedynczych funkcjonalności systemu, nie wpływając na jego pracę jako całości [17].

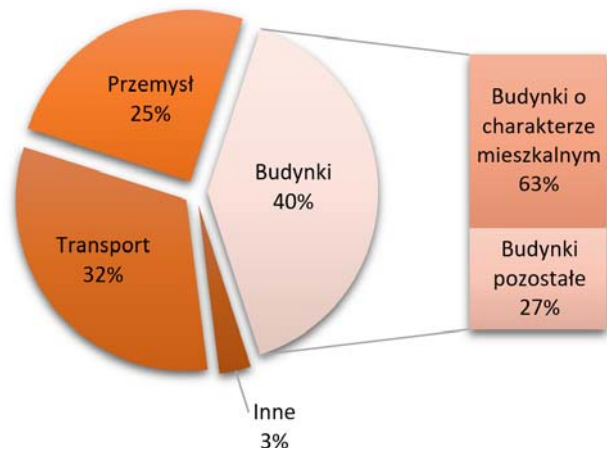
Smart House, a efektywność energetyczna

W ciągu ostatnich lat uległo zmianie podejście do problematyki zużycia energii. W perspektywie wyczerpywania się paliw kopalnych konieczne jest poszukiwanie nowych źródeł energii oraz racjonalizacja jej zużycia, poprzez kształtowanie nawyków odbiorców oraz aplikację nowoczesnych technologii – w tym właśnie inteligentnych budynków [33, 38].

Energooszczędność jest obecnie kluczowym wyzwaniem dla przemysłu budowlanego. W tym celu

poszukuje się rozwiązań na każdym etapie powstawania i istnienia budynku. Wprowadzane są technologie materiałowe i instalacje odbiorcze umożliwiające wznoszenie energooszczędnych obiektów. Zwiększa się ilość generowanej lokalnie energii z wykorzystaniem odnawialnych źródeł. Budynek inteligentny oferuje m. in. możliwość aktywnego zarządzania zużyciem energii i maksymalizowania efektywności energetycznej [6, 23, 39].

Wzrostowi komfortu życia towarzyszył wzrost zapotrzebowana na energię. W przeciętnym polskim gospodarstwie domowym dekada 2002 – 2011 r. przyniosła 40% wzrost zużycia energii elektrycznej [40]. Obecnie budynki odpowiadają za 20 – 40% ogólnego zużycia energii w rozwiniętych krajach świata [25, 41]. Szacuje się, że na całym świecie 30 – 40% energii ogółem [42] oraz aż 60% energii elektrycznej jest zużywanej w budynkach [31]. W Stanach Zjednoczonych wartości te wynoszą odpowiednio 41% i aż 72% [31]. W Unii Europejskiej udział budynków w ogólnym zużyciu energii wynosi 40%, z czego 63% energii jest konsumowanej w obiektach o charakterze mieszkalnym. Dla porównania transport pochłania 32%, a przemysł 25% (rys. 5) [39, 43, 44, 45, 46].



Rys.5. Zużycie energii w Unii Europejskiej [39, 43, 44, 45, 46]

Wśród czynników wpływających na energochłonność budynku można wymienić [23]:

- usytuowanie i cechy konstrukcyjne (izolacyjność przegród, zwarta forma, rozmiary i rozmieszczenie okien itp.),
- instalacje technologiczne – rozwiązania techniczne instalacji odbiorczych,
- wysokosprawne źródła ciepła/chłodu,
- system automatycznego sterowania.

Coraz bardziej rygorystyczne standardy energooszczędności, które będą musiały spełnić budynki, są niemożliwe do osiągnięcia jedynie poprzez izolacyjność cieplną materiałów, co wskazuje na konieczność stosowania innych rozwiązań: odpowiednich instalacji technologicznych, alternatywnych źródeł energii oraz zintegrowanych systemów sterowania i automatyzacji.

Opublikowana w 2012 r. norma PN-EN 15232 określa instalacje technologiczne budynków decydujące o jego efektywności energetycznej. Są to przede wszystkim [30]:

- instalacja grzewcza,
- instalacja ciepłej wody użytkowej,
- instalacja chłodnicza,
- instalacja wentylacji i klimatyzacji,
- oświetlenie,
- przesłony przeciwsłoneczne.

Rozwój technologii, wzrost niezawodności i szybkości komunikacji urządzeń wyposażonych w standardowe interfejsy sieciowe umożliwił np. integrację funkcji bezpieczeństwa oraz monitoringu zużycia energii. Jednocześnie zmieniło się prawodawstwo w zakresie ograniczenia zużycia i efektywnego wykorzystywania energii [26, 30, 47]. Dzięki tym osiągnięciom możliwe było otwarcie nowych obszarów oddziaływania systemów inteligentnych budynków w zakresie efektywności energetycznej, optymalizacji kosztów eksploatacji budynku i integracji odnawialnych źródeł energii [6, 8, 23, 24, 26, 27, 28, 29].

Dominujące wciąż klasyczne instalacje elektryczne, uniemożliwiają algorytmiczne sterowanie mające na celu obniżenie zużycia energii np. poprzez wyłączenie nieużywanych odbiorników. W instalacjach tych sterowanie odbiornikami odbywa się ręcznie za pomocą przycisków, a poszczególne odbiory np. oświetlenie, ogrzewanie, klimatyzacja, wentylacja wykonane są jako niezależne i nie oddziałują na siebie [8, 48]. Możliwość optymalizowania zużycia energii posiadają natomiast inteligentne instalacje elektryczne – systemy automatyki budynkowej [21, 23]. Funkcje minimalizujące zużycie energii powinny być realizowane przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniego poziomu komfortu i bezpieczeństwa użytkownika budynków [6, 7, 21, 23, 28].

W normie PN-EN 15232 [30] zaznaczono, że efektywność instalacji technologicznych zależy od sposobu ich sterowania. Dlatego też dla każdej z nich zostały określone szczegółowe funkcje realizowane przez system sterowania i automatyzacji, które powinny stanowić podstawowe wytyczne podczas procesu projektowania [28]. Funkcje te sklasyfikowano ze względu na skalę oddziaływania na wydajność energetyczną budynków. Uogólniając każda z instalacji może być sterowana [30, 49]:

- bez sterowania automatycznego,
- z wykorzystaniem automatycznego sterowania centralnego,
- z wykorzystaniem indywidualnego, autonomicznego sterowania pomieszczeniami,
- z wykorzystaniem systemu nadrzędnego realizującego funkcję indywidualnego sterowania pomieszczeniami w zależności od zapotrzebowania na poszczególne formy energii.

Wprowadzono także podział systemów automatyzacji, sterowania i zarządzania współpracujących z systemami technologicznymi budynku na klasy, według ich wpływu na ograniczenie zużycia energii w budynku. Utworzono tym samym narzędzie umożliwiające obiektywną ocenę rzeczywistej jakości systemów sterowania, a także wyznaczenie potencjalnych oszczędności energii cieplnej i elektrycznej w zależności od przeznaczenia budynku. Najniższa klasa „D” obejmuje systemy niewpływające na efektywność energetyczną budynku. Najwyższa klasa „A” to z kolei systemy zapewniające wysoką efektywność energetyczną oraz pełną funkcjonalność technicznego zarządzania budynkiem. Szczególną cechą tych systemów jest zarządzanie dostawami różnych postaci energii do każdego indywidualnego pomieszczenia, według bieżącego zapotrzebowania na daną jej formę. Należy mieć jednak na uwadze, że możliwość zastosowania określonej klasy systemu, bezpośrednio zależy od konstrukcji samych instalacji technologicznych, decydujących o zużyciu energii w budynku. Niezbędne jest, aby umożliwiały one zaimplementowanie wymaganych funkcji, odpowiednich dla danej klasy wpływu systemu na efektywność energetyczną budynku [26, 30, 39, 49]. Dla zapewnienia największego oddziaływania na efektywność energetyczną obiektu, konieczna jest współpraca instalacji technologicznych w zakresie racjonalnego gospodarowania energią.

Zintegrowanie systemów sterowania dostarczaniem i przetwarzaniem energii z systemami bezpieczeństwa budynku, pozwala na indywidualne dla każdego pomieszczenia sterowanie strumieniami energii (elektrycznej, ciepła, chłodu), w zależności od rzeczywistego stopnia wykorzystywania tych pomieszczeń przez użytkowników (zapotrzebowania na energię). Dzięki temu zintegrowany system sterowania i automatyzacji zarządzając dystrybucją energii w budynku do poszczególnych pomieszczeń, oferuje najwyższy stopień energooszczędności, a z drugiej strony pełni rolę klasycznego systemu bezpieczeństwa (np. wykrycie nieupoważnionego wstępu) [25, 26, 49].

Systemy sterowania i automatyzacji budynku w stosunku do tradycyjnej instalacji elektrycznej to wciąż rozwiązanie kosztowne, podnoszące nakłady inwestycyjne w fazie budowy, przez co jest niechętnie stosowane przez deweloperów [5]. Systemy te mogą jednak zapewnić wzrost efektywności energetycznej budynku, obniżając tym samym jego koszty eksploatacyjne, stanowiące aż około 70% wszystkich kosztów podczas cyklu życia obiektu (uwzględniających również koszty wzniesienia) [25, 26]. Możliwe jest to m.in. dzięki oszczędnemu i racjonalnemu wykorzystywaniu energii, a w efekcie obniżeniu zużycia energii elektrycznej, cieplnej oraz mediów takich jak gaz i woda. Instalacja oświetleniowa odpowiada za około 15%, a ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja za około 40% zużycia energii w skali całego budynku [50]. Zastosowanie sterowania oświetleniem może przynieść nawet 70 – 80% zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w stosunku do instalacji tradycyjnej [51]. Już najprostszy system sterowania układami ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, może zmniejszyć ich energochłonność o przeszło 5%. Natomiast zastosowanie zaawansowanego sterowania i monitoringu może zapewnić 40% redukcję zużycia energii [25, 31]. Poza niewątpliwymi korzyściami ekonomicznymi, zmniejszenie zapotrzebowania na energię ma to także pozytywny wpływ na środowisko naturalne [11, 52].

Konsekwencją realizowanej polityki energetycznej UE [26] jest wdrożenie w 2011 roku inicjatywy *European Initiative on Smart Cities*. W ramach podjętych działań nacisk kładziony jest na rozwój technologii energooszczędnych budynków (budowa obiektów nowych oraz modernizacja istniejących), a także wprowadzenie inteligentnych sieci elektroenergetycznych Smart Grid wykorzystujących generację rozproszoną korzystającą z odnawialnych źródeł energii (OZE), inteligentny pomiar oraz reagowanie na zmiany popytu [1, 5, 27]. Jednocześnie koncepcja *buildings-to-grid* (B2G) zakłada włączenie inteligentnych budynków w strukturę inteligentnej sieci elektroenergetycznej między innymi przez instalacje generacji rozproszonej w tych budynkach [27, 29]. Na skutek tych zmian w ciągu ostatnich kilkunastu lat znacząco zwiększył się udział generacji rozproszonej w ogólnej produkcji energii elektrycznej, głównie w oparciu o źródła alternatywne korzystające przede wszystkim z zasobów odnawialnych [26, 36]. W celu wykorzystania pełnych możliwości jakie dają odnawialne źródła energii, konieczna jest ich integracja z pozostałymi systemami inteligentnego budynku [6, 36].

Projektowanie *Smart House*

Instalacje elektryczne i urządzenia technologiczne zamontowane w budynku muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób umożliwiający ich sterowanie. Proces projektowania instalacji inteligentnych zasadniczo składa się z fazy obejmującej część energetyczną – dostarczenia mocy potrzebnej dla zasilania urządzeń oraz fazy tworzenia systemu sterującego ich pracą [37, 49].

Możliwości uzyskania wysokiej efektywności energetycznej budynku przy jednoczesnym komforcie jego użytkowania, nie zależą wyłącznie od funkcjonalności samego systemu automatyki, ale wymagają także odpowiedniej konstrukcji i możliwości instalacji technologicznych z nim współpracujących, umożliwiających implementację wymaganych funkcji systemu zarządzania budynkiem. Ponieważ konstrukcja instalacji technologicznych musi być wzajemnie dopasowana do docelowego stopnia wpływu systemu automatyki na efektywność energetyczną budynku, konieczna jest całkowita zmiana dotychczasowego podejścia i integracja procesu projektowania.

Dotychczas podczas tworzenia projektu nowego budynku, projekt systemu automatyki był opracowywany dla już zaprojektowanych instalacji technologicznych. Jednak optymalizacja zużycia energii w inwestycjach spełniających coraz to bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące efektywności energetycznej, wymagają udziału projektanta automatyki budynku już na etapie tworzenia założeń funkcjonalnych dla budynku i ścisłej współpracy z projektantami pozostałych branż [18, 26, 49].

Cały proces projektowania powinien rozpocząć się od przyjęcia wymaganej dla budynku, zgodnej z oczekiwaniami inwestora klasy wpływu systemów automatyzacji, sterowania i zarządzania na jego efektywność energetyczną. Kolejnym etapem powinno być opracowanie założeń funkcjonalnych zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji dla traktowanych całościowo: instalacji inteligentnej i urządzeń technologicznych w budynku. Bardzo ważne jest rozeznanie potrzeb inwestora, który nie zawsze jest w stanie sprecyzować własne potrzeby, ze względu na niewystarczającą wiedzę o technologii, funkcjonowaniu oraz możliwościach inteligentnego budynku [3, 53]. Przyjętym koncepcjom powinien być podporządkowany cały dalszy proces projektowania inteligentnego budynku [37, 49].

W procesie projektowania instalacji inteligentnych w budynku wzniesionym w technologii energooszczędnej, konieczne jest uwzględnienie także jego termicznej specyfiki. Zwiększona izolacyjność cieplna przegród budowlanych prowadzi do pogorszonego odprowadzania ciepła z przewodów co powinno być uwzględnione w procesie ich doboru [54].

Integracja systemów i możliwości

Zintegrowany system sterowania i automatyzacji ma za zadanie zarządzać wszystkimi procesami zachodzącymi w budynku. Poszczególne systemy i instalacje techniczne działające w ramach inteligentnego budynku można podzielić na obszary funkcjonalne (rys. 6) [3, 9, 11, 15, 19, 21]:

- systemy bezpieczeństwa (SMS),
- systemy zapewniające komfort klimatyczny,
- systemy zarządzania energią (EMS),
- systemy dostarczające usługi teleinformatyczne.

Wszystkie te obszary funkcjonalne działają w ramach zintegrowanego systemu, dzięki czemu wzajemnie się komunikują i współdziałają. W ramach tych obszarów można wyróżnić podsystemy funkcjonalne odpowiedzialne za obsługę poszczególnych funkcjonalności [21].

W obszarze systemów bezpieczeństwa realizowane są funkcjonalności zapewniające ochronę ludzi, zwierząt i mienia. System kontroli dostępu umożliwia wejście do stref chronionych (np. pomieszczenia, budynku, terenu zewnętrznego), poprzez zwolnienie blokady drzwi jedynie upoważnionym użytkownikom. Identyfikacja osób może następować poprzez np. wpisanie kodu, użycie karty dostępowej, identyfikację odcisku palca itp. Funkcjonalność

kontroli wjazdu zezwala na wjazd do chronionej strefy, poprzez otwarcie bramy lub szlabanu jedynie pojazdom upoważnionym. Identyfikacja może odbywać się za pomocą np. kart dostępowych lub rozpoznawania numerów rejestracyjnych. System sygnalizacji włamania i napadu (SSWiN) kontroluje strefy chronione za pomocą różnorodnych czujników (stłuczenie szyby, otwarcie okna lub drzwi, wykrycie ruchu w pomieszczeniach), a detekcja nieuprawnionego wejścia jest sygnalizowana. System sygnalizacji pożarowej (SSP) prowadzi nieustanny monitoring budynku za pomocą detektorów np. dymu, ciepła lub płomienia, a w przypadku wykrycia zagrożenia alarmuje użytkowników i odpowiednie służby ratownicze. Wyzwalane są także sterowania np. windami, wentylacją, odcinającymi kłapami pożarowymi, drzwiami, zasilaczami bezprzerwowymi UPS. W trakcie sytuacji niebezpiecznych nagłośnienie ewakuacyjne, oświetlenie awaryjne oraz system oddymiania ciągów komunikacyjnych pozwalają na szybkie i bezpieczne opuszczenie budynku przez ludzi. Z kolei system automatycznego gaszenia umożliwia ochronę mienia w przypadku wystąpienia pożaru poprzez uruchomienie stałych urządzeń gaśniczych. Telewizja dozorowa, monitoring wizyjny i dźwiękowy umożliwia bieżący podgląd obiektu oraz dostęp do historycznych zapisów. System kontroli składu powietrza wykrywa zawartość niebezpiecznych substancji w powietrzu takich jak tlenek węgla lub gaz. Z kolei system ochrony przed zalaniem sygnalizuje wykrycie wody na posadzce, umożliwiającą szybką reakcję i ograniczenie strat materialnych. W celu zapobiegania włamaniom i kradzieżom zintegrowany system sterowania, po opuszczeniu budynku przez użytkowników uzbraja systemy alarmowe oraz zamyka zewnętrzne rolety okienne. Podczas nieobecności użytkowników, na podstawie zapamiętanych zachowań, możliwe jest symulowanie ich obecności w sposób nieschematyczny, poprzez sterowanie oświetleniem, systemem audio/video (odtwarzanie muzyki, włączenie telewizora), otwieraniem okien. Mogą być także odtwarzane zarejestrowane wcześniej dźwięki. System zasilania gwarantowanego umożliwia podniesienie niezawodności zasilania i uniezależnienie się od dostaw energii z zewnątrz. System może wykorzystywać alternatywne źródła energii, kogenerację, bezprzerwowo zasilacz UPS lub agregat prądowłóczy, obejmując swoją ochroną newralgiczne odbiory lub cały obiekt. Na skutek wykrytych zdarzeń zintegrowany system zarządzania budynkiem może podjąć działania takie jak powiadomienie użytkownika, uruchomienie alarmu, powiadomienie odpowiednich służb itp. [3, 9, 11, 13, 14, 17, 32, 34, 55, 56]

W zakresie usług zarządzania energią obsługiwane mogą być funkcjonalności związane z pracą wszystkich instalacji odbiorczych w budynku. System monitoringu zużycia energii i mediów dostarcza użytkownikowi informacji o bieżącym, historycznym oraz prognozowanym zużyciu energii, w przystępnej postaci. Dzięki temu pełni funkcję edukacyjną, kształtując świadomość odbiorcy w zakresie gospodarowania nośnikami energii, poprzez dostęp do historycznych danych i raportów. W efekcie wspomaga go w zarządzaniu swoim profilem wykorzystania energii, co umożliwia redukcję zużycia energii w domu o 4 – 15% [57]. W przyszłości funkcjonalność ta ma stać się częścią systemu *Smart Metering* – inteligentnego opomiarowania na potrzeby *Smart Grid* [19, 27, 29, 38, 58]. System zarządzania i optymalizacji zużycia energii i mediów steruje pracą źródeł ciepła i chłodu (np. pomp ciepła, kotłów gazowych, układów kogeneracyjnych). Energia jest następnie indywidualnie, zależnie od zapotrzebowania dostarczana do pomieszczeń (stref) budynku realizując ogrzewanie i chłodzenie, z

wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego od temperatury pomieszczenia. W przeciwieństwie do rozwiązań klasycznych taki sposób sterowania pozwala na ograniczenie zużycia energii poprzez wykorzystywanie jej tylko w czasie i miejscu gdzie jest potrzebna. Jednocześnie uniemożliwiane jest jednoczesne ogrzewania i chłodzenia pomieszczenia przez urządzenia w nim zamontowane, również poprzez adekwatną regulację temperatury dostarczanego powietrza. Przepływ świeżego powietrza do pomieszczeń jest regulowany według zapotrzebowania (np. w zależności od zajętości lub stopnia wykorzystywania pomieszczenia, ustalanych na podstawie wykrywania osób lub pomiaru parametrów jakości powietrza). W przypadku nieobecności użytkowników następuje ograniczenie krotności wymian powietrza do minimum. W instalacji wentylacyjnej możliwe jest wykorzystanie wymiennika, sterowanego w celu odzysku ciepła zimą i chłodu latem z zużytego powietrza [18, 30, 48]. W zakresie funkcjonalności sterowania oświetleniem wewnętrznym i zewnętrznym, może być realizowana regulacja jego natężenia, w zależności oraz od obecności użytkowników oraz poziomu natężenia oświetlenia naturalnego [8, 52]. Pozycjonowanie przesłon zaciemniających (rolet, żaluzji) umożliwia ograniczenie przegrzewania pomieszczeń w lecie oraz dogrzewanie pomieszczeń w zimie, przy jednoczesnym zachowaniu komfortu świetlnego w przypadku obecności użytkownika. Całkowite zamknięcie przesłon po zmierzchu umożliwia ograniczenie przenikania ciepła przez przeszklone powierzchnie przy jednoczesnym zwiększeniu prywatności [23, 30, 59]. System zarządzania poborem mocy i energii elektrycznej wprowadza ograniczenia w przypadku poboru mocy powyżej ustalonego progu (informacja z własnego systemu lub zewnętrzna – od dostawcy energii) – poprzez automatyczne wyłączenie odbiorów o najniższym priorytecie. Działanie to może uchronić odbiorcę przed dodatkowymi opłatami ze strony dostawcy energii elektrycznej, a także podnieść pewność zasilania dzięki utrzymywaniu obciążenia poniżej pułapu zadziałania zabezpieczeń. System może także sterować wybranymi odbiorami, których praca może być odłożona w czasie (np. pralka, suszarka, zmywarka, grzałka zbiornika ciepłej wody użytkowej, ładowarka pojazdów elektrycznych) w celu: wykorzystania czasu maksymalnej produkcji źródeł odnawialnych lub stabilizacji przebiegu zmienności poboru mocy z sieci w czasie (przesunięcie chwili włączania urządzeń na godziny nocne), co w dłuższej perspektywie przyczyni się do zrównoważenia systemu elektroenergetycznego – zmniejszenia szczytów dobowego poboru energii. W przyszłości w ramach *Smart Grid*, system zarządzania poborem mocy i energii elektrycznej będzie realizował funkcję zarządzania popytem (*DSM – Demand Side Management* lub *ADR – Automated Demand Response*). Zarządzanie produkcją i magazynowaniem energii pozyskanej z alternatywnych źródeł, wykorzystując predykcję okresów i skali generacji mocy pozwala na optymalne wykorzystanie ich potencjału. W ramach *Smart Grid* funkcjonalność ta będzie współuczestniczyła w zarządzaniu popytem [18, 19, 27, 28, 31, 33, 48, 60].

Systemy zapewniające komfort klimatyczny oddziałują na instalacje odbiorcze odpowiedzialne za zapewnienie warunków użytkowania pomieszczeń. Zapewnienie komfortu cieplnego jest realizowane poprzez sterowanie ogrzewaniem i chłodzeniem pomieszczeń. Powietrze o odpowiedniej temperaturze może być dostarczone za pośrednictwem systemu wentylacji lub być przygotowane na miejscu dzięki lokalnym urządzeniom grzewczym i/lub chłodniczym, takim jak grzejniki, nagrzewnice, klimakonwektory, systemy płaszczyznowe (podłogowe, sufitowe, ściennie), belki chłodzące lub promienniki

podczerwieni. Na temperaturę w pomieszczeniu może wpływać także zastosowanie kurtyn powietrznych lub regulowanie dopływu światła słonecznego. Zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza następuje poprzez sterowanie wentylacją, klimatyzacją i otwieraniem okien w celu osiągnięcia oczekiwanych parametrów jakości powietrza, takich jak poziom wilgotności lub stężenie dwutlenku węgla. W trybie naturalnego przewietrzania, w przypadku wystąpieniu opadów lub przekroczenia dopuszczalnej prędkości wiatru, okna są automatycznie zamykane. Wypracowanie odpowiednich warunków oświetleniowych odbywa się poprzez dostosowanie poziomu natężenia oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego poprzez sterowanie oświetleniem sztucznym, a w przypadku pomieszczeń także dopływem światła naturalnego, za pomocą różnego rodzaju przesłon słonecznych. Możliwe jest także sterowanie barwą światła lub aranżacja scen świetlnych [8, 11, 13, 14, 15, 34, 27, 55].

Systemy bezpieczeństwa (SMS)

- kontrola dostępu
- kontrola wjazdu
- sygnalizacja włamania i napadu
- sygnalizacja zagrożenia pożarem
- nagłośnienie ewakuacyjne
- oświetlenie awaryjne
- oddymianie
- automatyczne gaszenie
- sterowanie systemami w stanach alarmowych
- telewizja dozorowa, monitoring wizyjny, dźwiękowy
- kontrola składu powietrza
- ochrona przed zalaniem
- symulacja obecności
- sterowanie zamknięciem rolet

Systemy zapewniające komfort klimatyczny

- zapewnienie komfortu cieplnego
- zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza
- zapewnienie odpowiednich warunków oświetleniowych

Systemy zarządzania energią (EMS)

- monitoring zużycia energii i mediów
- zarządzanie i optymalizacja zużycia energii i mediów
- zarządzanie poborem mocy i energii elektrycznej
- zarządzanie produkcją i magazynowaniem energii pozyskanej z alternatywnych źródeł
- system zasilania gwarantowanego

Systemy dostarczające usługi teleinformatyczne

- okablowanie strukturalne
- lokalne sieci komputerowe oraz połączenia z sieciami zewnętrznymi
- bezpieczeństwo informatyczne
- systemy transmisji danych, obrazu i dźwięku
- systemy automatyzacji miejsc pracy

Rys.6. Obszary funkcjonalne zintegrowanego systemu sterowania i automatyzacji inteligentnego budynku

Dziedzina systemów dostarczających usługi teleinformatyczne obejmuje [2, 11, 14, 19, 55]: okablowanie strukturalne, lokalne sieci komputerowe oraz połączenia z sieciami zewnętrznymi, bezpieczeństwo informatyczne, systemy transmisji danych, obrazu i dźwięku (np. telewizja kablowa, systemy telekomunikacyjne, domofon, komunikacja satelitarna, systemy wideokonferencyjne) oraz systemy automatyzacji miejsc pracy (scenarizowane przetwarzanie danych, komputerowe wspomaganie projektowania, rejestracja czasu pracy, usługi informacyjne).

Zintegrowany system sterowania i automatyzacji dla realizacji wielu funkcji (np. zamykanie okien, bezpieczne pozycjonowanie żaluzji), wykorzystuje informacje o zewnętrznych warunkach atmosferycznych pochodzące z lokalnej stacji pogodowej (temperatura, opady, prędkość wiatru, nasłonecznienie) Inteligentny budynek może także integrować takie funkcjonalności jak [2, 4, 14]:

- obsługa urządzeń audio–video i innych urządzeń służących np. przygotowaniu potraw, rozrywce i odpoczynkowi,
- podgrzewanie podjazdów do garaży, rynien, gzymsów,
- nawadnianie roślin,
- nadzór nad przydomową oczyszczalnią ścieków,
- systemy komunikacji poziomej i pionowej (windy, schody ruchome, chodnik ruchome, platformy),
- Internet rzeczy – urządzenia domowe komunikujące się ze sobą w sieci,
- personalizacja reakcji – dostosowanie działań systemu do upodobań poszczególnych użytkowników, mogące bazować na zaprogramowanych schematach lub adaptacyjnym uczeniu się,
- algorytmy uczące się – rozszerzają możliwości inteligentnego budynku, umożliwiając np. realistyczną symulację obecności użytkownika opartą na zapamiętanych zachowaniach lub przygotowanie komfortowych parametrów powietrza jeszcze przed przybyciem użytkownika,
- zdalne zarządzanie budynkiem, za pośrednictwem systemów komunikacji takich jak Internet lub telefonia komórkowa,
- telemedycyna, monitorowanie stanu zdrowia pacjentów,
- ładowanie pojazdów wyposażonych w napęd elektryczny.

Indywidualne budynki *Smart House*, mogą być połączone w jeden wspólny, zintegrowany system, tworząc inteligentne osiedle, a w dalszej perspektywie również całe miasto. Inteligentne miasto, określane dziś najczęściej terminem *smart city*, dzięki infrastrukturze połączonej systemami informatycznymi będzie tworzyło dla ludzi coraz bardziej komfortowe środowisko, o zwiększonej funkcjonalności i efektywności energetycznej [5].

Komunikacja człowieka z budynkiem

Inteligentny budynek ma stwarzać dla człowieka komfortowe środowisko. Mimo to wraz z wprowadzaniem na rynek tego typu obiektów, zaobserwowano pojawiające się uczucie dyskomfortu u ich użytkowników oraz zespół niekorzystnych zjawisk, które określono syndromem chorego budynku [3, 34]. Ich przyczyną jest nieprawidłowe działanie budynku, a nawet błędy projektowe. Jako czynniki szkodliwe wymienia się najczęściej: niewystarczającą wentylację, zanieczyszczenia chemiczne oraz biologiczne. Należy jednak zwrócić także uwagę na interakcję człowieka z budynkiem w kontekście ergonomii obsługi jego funkcjonalności. Człowiek będzie odczuwał dyskomfort, gdy zostanie pozbawiony możliwości wpływu na otoczenie – np. kiedy nie będzie mógł otworzyć okna lub go przysłonić, wyłączyć zbędnej lub uciążliwej wentylacji czy klimatyzacji.

System kontroli dostępu i monitoringu daje poczucie bezpieczeństwa, ale może także powodować niekorzystne uczucie ciągłego „śledzenia” lub obawę przed trudnościami w opuszczaniu budynku w sytuacji awaryjnej. Wraz z wyposażaniem inteligentnego budynku w coraz większą ilość funkcjonalności, rośnie nie tylko stopień skomplikowania systemu, ale także interfejsu komunikacji z użytkownikiem. Nauka jego obsługi staje się dłuższa i trudniejsza, a sposób korzystania z funkcjonalności bardziej kłopotliwy. Może to prowadzić do niewykorzystywania nawet części możliwości funkcjonalnych inteligentnego budynku. Uciążliwe może być wydłużenie czasu interakcji zwłaszcza w przypadku prostych i często wykonywanych czynności np. zamiast szybkiego przełączenia klawisza oświetlenia, użytkownik jest zmuszony przebrnąć przez kilka poziomów menu, a później jeszcze ustawić jasność źródeł światła. W skrajnym przypadku ogół tych negatywnych zjawisk może ograniczać upowszechnianie inteligentnego budownictwa, a nawet stwarzać ryzyko odrzucenia technologii przez człowieka. Celem rozwoju systemów sterowania i automatyzacji powinno być, więc osiągnięcie stanu, w którym będą one oferowały intuicyjną obsługę, również dla nieobytych z techniką użytkowników oraz szybką i niezawodną realizację działań. Sama obecność systemu powinna być natomiast „niezauważalna” [3, 4, 8].

Podsumowanie

Istotą „inteligencji” budynku *Smart House* jest zintegrowane sterowanie procesami realizowane przez system zarządzania, oparty na infrastrukturze inteligentnej instalacji elektrycznej. Początkowo celem działania tych systemów było przede wszystkim zapewnienie komfortu użytkownika obiektu i bezpieczeństwa użytkowników. Z czasem, równie ważnym zadaniem stała się optymalizacja zużycia energii, wpływająca bezpośrednio na obniżenie kosztów użytkowania budynku. Stopień możliwej poprawy efektywności energetycznej budynku jest uwarunkowany konstrukcją i możliwościami sterowania instalacjami technologicznymi, a także zależy od samego systemu sterowania i automatyzacji oraz zaimplementowanych algorytmów.

Budynek inteligentny jest komfortowy w użytkowaniu, efektywny energetycznie, a także zapewnia wysoki poziom niezawodności zasilania. Energooszczędność *Smart House* jest osiągnięta, przy wykorzystaniu systemów pasywnych (wysoka izolacyjność cieplna przegród budowlanych, wykorzystanie ciepła słonecznego itp.) oraz aktywnych (systemy automatycznego sterowania, odnawialne źródła energii itp.). Zwiększenie niezawodności zasilania budynku inteligentnego wynika przede wszystkim z uniezależnienia się od dostaw energii elektrycznej z zewnątrz (możliwość pracy wyspowej w przypadku wyłączenia zasilania z sieci). Osiąga się to poprzez wyposażenie budynku w alternatywne źródła energii oraz efektywne zarządzanie pozwalające obniżyć zapotrzebowanie na energię elektryczną.

W oparciu o wnioski z przeprowadzonej analizy, traktując *Smart House* jako pewne przedsięwzięcie, można próbować określić dalszą strategię rozwoju tej technologii. Największe możliwości wykorzystania istniejących szans oraz ograniczenia zagrożeń stwarzają zalety *Smart House* takie jak: maksymalizacja efektywności energetycznej, niższe koszty eksploatacji obiektu, poszanowanie środowiska naturalnego oraz elastyczność, możliwość rozwoju i wprowadzania nowych funkcjonalności, łatwość modyfikacji zadań instalacji w przypadku zmian w aranżacji i przeznaczeniu. Z kolei oferowany wysoki poziom niezawodności zasilania jest odpowiedzią na zagrożenie

przerw w dostawach energii elektrycznej. Wzrost komfortu i bezpieczeństwa użytkownika jest zgodny z oczekiwaniami użytkowników. Z drugiej strony nieefektywna interakcja *Smart House* z użytkownikiem – skomplikowany interfejs komunikacji i odebranie użytkownikowi możliwości wpływu na otoczenie, niesie największe ryzyko odrzucenia technologii, w przypadku którego użytkownicy nie będą chcieli korzystać z oferowanych przez inteligentny budynek możliwości. Rosnąca liczba urządzeń, stopień skomplikowania systemu i związane z tym ryzyko awarii oraz rosnące nasycenie sieci odbiornikami nieliniowymi, potęgują ryzyko istniejących zagrożeń w zakresie bezpieczeństwa komunikacji, przerw w dostawach energii elektrycznej oraz występujących zakłóceń elektromagnetycznych. Idea *Smart House* wskazuje na najbardziej znaczącą współzależność w obszarze jej zalet, które umożliwiają wykorzystanie powiązanych z nimi istniejących szans, wskazując tym samym na optymalną strategię dalszego intensywnego rozwoju i ekspansji *Smart House*.

Współcześnie, w obszarze automatyki budynkowej konieczne jest badanie istniejących i opracowanie nowych funkcjonalności systemów zintegrowanego sterowania procesami i automatyzacji, które zapewniając jak najwyższą efektywność energetyczną, będą jednocześnie przyjazne dla użytkownika, zapewniając wysoki poziom komfortu i bezpieczeństwa. Rozwój inteligentnego budownictwa, ze względu na jego potencjał w zakresie energooszczędności, a także biorąc pod uwagę skalę oddziaływania budynków na zużycie energii, stwarza szansę dla znaczącego obniżenia zużycia pierwotnych nośników energii w skali globalnej.

Idea *Smart House* jest jeszcze stosunkowo młoda, zwłaszcza w zastosowaniu krajowym. Jej ciągły rozwój, którego skutkiem jest wciąż nieujednoczona terminologia, wynika z dynamicznego postępu technologicznego oraz zmieniających się potrzeb ludzi. Dopiero nowożytność obiekty – głównie użyteczności publicznej – wyposaża się w „inteligentne” rozwiązania. Zdecydowana większość istniejących budynków wciąż bazuje na tradycyjnych instalacjach elektrycznych. Część działań takich jak integracja z inteligentnymi sieciami elektroenergetycznymi *Smart Grid* lub infrastrukturą inteligentnego miasta *Smart City*, będzie wymagała jeszcze wielu lat, zanim zostanie upowszechniona. W dobie ekspansji techniki cyfrowej *Smart House* jest jednak naturalną ideą, której ciągły rozwój i coraz szersze wkraczanie w codzienne życie człowieka wydaje się nieuniknione. Z pewnością jednak, nie jest to jeszcze gotowe rozwiązanie.

Autorzy: mgr inż. Mirosław Dechnik, Politechnika Krakowska, Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, E-mail: mtechnik@pk.edu.pl; dr inż. Szczepan Moskwa, AGH w Krakowie, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, B1, 30-059 Kraków, E-mail: szczepan.moskwa@agh.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Clements-Croome D. et al., Intelligent buildings: design, management and operation, Thomas Telford Publishing, Londyn, 2004
- [2] Mikulik J. et al., Inteligentne budynki - informacja i bezpieczeństwo, Kraków, Wydawnictwo LIBRON, 2016
- [3] Niezabitowska E. et al., Budynek inteligentny, Tom I Potrzeby użytkownika, a standard budynku inteligentnego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010
- [4] Ożadowicz A., Analiza porównawcza dwóch systemów sterowania inteligentnym budynkiem: systemu europejskiego EIB/KNX oraz standardu amerykańskiego na bazie technologii Lon Works, rozprawa doktorska, promotor: Zbigniew Hanzelka; AGH, Kraków, 2007
- [5] Pamuła A., Papińska-Kacperek J., Inteligentne domy i i inteligentne sieci energetyczne jako element infrastruktury Smart City, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Studia Informatica*, 2012, nr 29, 57-69
- [6] Zarębski T., Integracja alternatywnych źródeł energii z inteligentnymi instalacjami elektrycznymi, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2008, nr 7, 186-188
- [7] Hurtado L. A., Nguyen P. H., Kling W. L., Zeiler W., Building Energy Management Systems — Optimization of comfort and energy use, Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities', 2013, 1-6
- [8] Noga M., Ożadowicz A., Grela J., Efektywność energetyczna i Smart Metering – nowe wyzwania dla systemów automatyki budynkowej, *Napędy i Sterowanie*, 2012, nr 12, 54-59
- [9] Niezabitowska E., Mikulik J., Budynek inteligentny, Tom II Podstawowe systemy bezpieczeństwa w budynkach inteligentnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014
- [10] Duszczak K., Inteligentny budynek – nowoczesne technologie w laboratorium dydaktycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2006, nr 10, 6-8
- [11] Parol M., Instalacje w „Inteligentnych Budynkach”, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2006, nr 10, 1-5
- [12] Jabłoński A., Zadania integracji systemów w budynkach inteligentnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2008, nr 7, 182-185
- [13] Wang S., Intelligent Buildings and Building Automation, Taylor & Francis, 2009
- [14] EMEA SMART House – Kompleksowe rozwiązania automatyki Inteligentnego budynku, <http://emeagateway.eu/>
- [15] Shao H., Fu H., Design and Implementation of Intelligent Building Engineering Information Management System, Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2014 7th International Conference on, 2014, 158-161
- [16] Szász Cs., Husi G., The intelligent building definition: a central-european approach, System Integration (SII), 2014 IEEE/SICE International Symposium on, 2014, 216-221
- [17] Romańska-Zapała A., Zintegrowane systemy sterowania procesami w obiektach budowlanych, *Materiały Budowlane*, 5 (2014), 115-116
- [18] Sroczan E., Funkcje zintegrowanych systemów zarządzania energią w obiektach inteligentnych, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2009, nr 12, 35-39
- [19] Zhang L., Liu B., Tang W., Wu L., The development and technological research of intelligent electrical building, 2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2014, 88-92
- [20] Mikulik J. et al., Inteligentne budynki: nowe możliwości działania, Wydawnictwo Libron, Kraków 2014
- [21] Klajn A., Wybrane aspekty integracji systemów inteligentnych instalacji w budynkach, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2010, nr 10, 29-33
- [22] Markiewicz H., Instalacje elektryczne, wyd. VI, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005
- [23] Zarębski T., Możliwości zastosowania inteligentnych instalacji elektrycznych w nowoczesnym budownictwie, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2012, nr 8, 34-36
- [24] Ożadowicz A., Systemy sieciowe – technologie energooszczędne i poszanowanie energii, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2010, nr 1, 3-8
- [25] Borkowski P., Pawłowski M., Mazur Ł., Systemy zarządzania budynkiem (HMS/BMS) wpływające na energooszczędność budynku, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, nr 6, 57-60
- [26] Grela J., Koncepcja organizacji systemów zarządzania energią w sieciach automatyki budynkowej, *Napędy i Sterowanie*, 2014, nr 12, 81-87
- [27] Ożadowicz A., Automatyka budynkowa w realizacji systemów smart grid – energooszczędność i integracja na poziomie odbiorcy energii, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2013, nr 11, 38-42
- [28] Ożadowicz A., Systemy automatyki budynkowej jako element inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Metering i aktywny odbiorca, *Napędy i Sterowanie*, 2013, nr 12, 52-55
- [29] Ożadowicz A., Grela J., Aktywni odbiorcy i standardy automatyki budynkowej jako element Smart Meteringu w budynkach, <http://eip-online.pl/>, 2015
- [30] PN-EN 15232:2012 Energetyczne właściwości budynków – Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami

- [31] Manic M., Wijayasekara D., Amarasinghe K., Rodriguez-Andina J. J., Building Energy Management Systems: The Age of Intelligent and Adaptive Buildings, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2016, Vol. 10, Iss. 1, 25-39
- [32] Borkowski P. et al., Inteligentne systemy zarządzania budynkiem, Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2011
- [33] Saha A., Kuzlu M., Khamphanchai W., Pipattanasomporn M., Rahman S., Elma O., Selamogullari U. S., Uzunoglu M., Yagcitekcin B., A home energy management algorithm in a smart house integrated with renewable energy, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, 2014, 1-6
- [34] Mikulik J., Wybrane zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu w budynkach, Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2008
- [35] Syposz J., Jadwiszczak P., Integracja systemu BMS zarządzającego instalacjami i energią w istniejącym budynku uczelni technicznej, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2006, nr 5, 22-26
- [36] Parol M., Domżała D., Integracja i zarządzanie źródłami generacji rozproszonej w budynku mieszkalnym z zastosowaniem systemu KNX, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2011, nr 2, 157-162
- [37] Sroczan E., Algorytmy projektowania instalacji w budynkach inteligentnych, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2007, nr 5, 24-30
- [38] Zarębski T., Możliwości implementacji systemów automatyki budynkowej w lokalnych sieciach energetycznych, *Elektryka*, zeszyt 3-4 (223-224), 2012
- [39] Horyński M., Zastosowanie sieci o inteligencji rozproszonej w celu optymalizacji zużycia energii we współczesnych budynkach, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, nr 4, 293-295
- [40] Kaźmierczak J., Paś J., Zużycie energii elektrycznej w nowoczesnym gospodarstwie domowym, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2011, nr 12, 18-21
- [41] Pe'rez-Lombard L., Ortiz J., Pout C., A review on buildings energy consumption, *Energy and Buildings*, 40 (2008), 394-398
- [42] Vergini S. Eleni, Groumpos P.P., A review on Zero Energy Buildings and Intelligent Systems, Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), 2015 6th International Conference on, 6 – 8 July 2015
- [43] Firląg S., Poradnik inwestora: buduję z głową buduję energooszczędnie, Fundacja Ziemia i Ludzie, Warszawa 2014
- [44] Wicaksono H., Rogalski S., Kusnady E., Knowledge-based intelligent energy management using building automation system, *IPEC*, 2010 Conference Proceedings, 27 – 29 Oct. 2010
- [45] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, <http://eur-lex.europa.eu/>
- [46] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, <http://eur-lex.europa.eu/>
- [47] Fedorczyk-Cisak M., Furtak M., Romańska-Zapała A., Wdrażanie dyrektywy EPDE w Polsce w aspekcie działań Politechniki Krakowskiej – Małopolski Certyfikat Budynku Energooszczędnego, *Przegląd Budowlany*, 2015, nr 6, 22-28
- [48] Accone M., Romano R., Piccolo A., Siano P., Loia F., Ippolito M. G., Zizzo G., Designing an Energy Management System for smart houses, *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2015 IEEE 15th International Conference on, 2015, 1677-1682
- [49] Kwasnowski P., Fedorczyk-Cisak M., Wpływ zintegrowanych systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232, *Fizyka budowli w teorii i praktyce*, pod red. P. Klemm, D. Heim, K. Klemm, M. Wojtczak, Instytut Fizyki Budowli Katarzyna i Piotr Klemm S.C., Łódź, 2013, 53-58
- [50] Sun B., Luh P. B., Jia Qing-Shan, Jiang Z., Wang F., Song C., Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 10, Iss. 3, 2013, 588-602
- [51] Pabjańczyk W., Energooszczędne instalacje oświetleniowe, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, nr 6, 65-72
- [52] Bannamas S., Jirapong P., An intelligent lighting energy management system for commercial and residential buildings, *Smart Grid Technologies – Asia (ISGT ASIA)*, 2015 IEEE Innovative, 1-6
- [53] Szewczyk A., Inteligentne domy – marzeniem mieszkańców miast?, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Studia Informatica*, 2012, nr 29, 138-146
- [54] Borowik L., Barasiński A., Instalacje elektroenergetyczne w budownictwie energooszczędnym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015, nr 1, 118-121
- [55] Romańska-Zapała A., Model badawczy zintegrowanego systemu sterowania procesami na przykładzie budynku Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, *Materiały Budowlane*, 12 (2014), 31-33
- [56] Poradnik projektanta: systemy sygnalizacji pożarowej IGNI 1000/2000 i POLON 4000 w projektach instalacji, edycja IV, Polon-Alfa
- [57] Łukaszewski R., Winiecki W., Systemy do monitorowania zużycia energii elektrycznej w domu, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, nr 11, 35-38
- [58] Muszyński L., Inteligentne pomiary zużycia mediów budynku w systemie KNX, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, nr 4, 302-304
- [59] Kamińska A., Radajewski R., Obiekt i układy do badania wpływu sterowania instalacją grzewczą na zużycie energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, nr 11a, 345-348
- [60] Vilar D. B., Affonso C. M., Residential energy management system with photovoltaic generation using simulated annealing, 13th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2016, 1-6