

## **WNIOSEK O PORTFOLIO:**

# **Opracowanie koncepcji organizacji systemów zarządzania energią EMS w systemach automatyki budynkowej i analiza ich wpływu na efektywność energetyczną budynków**

*Autorzy: Jakub Grela, Andrzej Ożadowicz*

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
budynki C-2 pokój 426 tel: 12 617 44 53 [www.isi.agh.edu.pl](http://www.isi.agh.edu.pl) [isi@agh.edu.pl](mailto:isi@agh.edu.pl)

# 1. Zarządzanie energią – informacje podstawowe

Dotychczasowa koncepcja systemów elektroenergetycznych opierała się zasadniczo na jednokierunkowym przepływie mocy – od ośrodków wytwórczych (elektrowni) do odbiorców końcowych, komercyjnych, przemysłowych i indywidualnych. Ten model nadal funkcjonuje w większości krajów świata oraz tranzytach międzynarodowych. Jednak w okresie ostatnich kilkunastu lat zaobserwować można znaczący wzrost udziału tzw. generacji rozproszonej, opartej o różnego typu źródła odnawialne: farmy wiatrowe, elektrownie oparte o ogniwa fotowoltaiczne. W efekcie w systemach elektroenergetycznych naruszona została równowaga bilansu mocy i pojawiła się konieczność dynamicznego zarządzania przepływami mocy w tychże systemach [1]. Kolejnym czynnikiem determinującym zmiany w zarządzaniu i organizacji dotychczas istniejących systemów elektroenergetycznych jest również polityka energetyczna Unii Europejskiej, ukierunkowana na ograniczenie zużycia energii oraz redukcję emisji szkodliwych substancji (w tym w szczególności CO<sub>2</sub>) do atmosfery o 20% i zwiększenie o 20% udziału w systemie energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych do poziomu 20% do roku 2020. Co więcej, prowadzone już obecnie dyskusje wskazują na kolejne, jeszcze bardziej restrykcyjne wymogi w tym zakresie w kolejnej perspektywie rozwojowej do roku 2030 [2][3][4].

Dlatego niezbędne jest wprowadzenie w systemach elektroenergetycznych różnych narzędzi wspierających monitoring zużycia energii, rozpywu mocy i dynamicznego zarządzania energią dostępną w systemie. Praktyczna implementacja tej koncepcji wymaga istotnych zmian nie tylko w obszarze samego systemu wytwarzania i dystrybucji energii, ale również jej konsumpcji. Szczególnym elementem tego systemu są zatem odbiorcy, w tym budynki: komercyjne, użyteczności publicznej, prywatne. W wielu tego typu obiektach budowlanych istnieją już i z powodzeniem funkcjonują zaawansowane, sieciowe systemy sterowania, monitoringu i bezpieczeństwa, obsługujące urządzenia i podsystemy infrastruktury budynkowej (np. oświetlenie, HVAC, kontrola dostępu i inne) [5]. Znane są one w środowisku branżowym pod nazwą BMS – Building Management Systems. W większości dotychczasowych zastosowań realizowane przez nie funkcjonalności są ukierunkowane na podniesienie komfortu użytkownika pomieszczeń w budynku, zapewnienie wyższego poziomu bezpieczeństwa osób i urządzeń oraz zapewnienie optymalnych warunków pracy i wypoczynku ludzi [3]. W ostatnich kilku latach zrodziła się idea wykorzystania infrastruktury systemów BMS do integracji obsługi zdalnych systemów pomiarowych i monitoringu zużycia energii elektrycznej i innych mediów. Producenci urządzeń pomiarowych i automatyki budynkowej wprowadzili do swej oferty nowe moduły i urządzenia dla tego typu zastosowań. Ponadto zaczęto analizować możliwości wykorzystania funkcjonalności automatyki w budynkach w celu ograniczenia zużycia energii i mediów.

Obecnie badania i wdrożenia nowych rozwiązań ukierunkowanych na zwiększenie efektywności energetycznej budynków skupiają się zasadniczo na dwóch obszarach: jeden to opracowanie nowych, energooszczędnych technologii dla urządzeń infrastruktury budynkowej oraz drugi – zdefiniowanie wytycznych konstrukcji i integracji nowych systemów zarządzania energią (EMS – Energy Management Systems), jej dystrybucją, monitoringiem i sterowaniem urządzeniami w budynkach zależnie od potrzeb użytkowników, środowiska, przy zachowaniu wymaganego poziomu komfortu i bezpieczeństwa [6]. W budynkach wyposażonych w systemy automatyki, funkcje EMS mogą być ściśle zintegrowane w ramach ich infrastruktury. Użytkownicy i zarządcy budynków zyskują w ten sposób nowe narzędzie monitoringu zużycia energii i mediów, bez konieczności instalowania dodatkowej, dedykowanej sieci, modułów systemowych itp. Liczniki i moduły monitorujące, z odpowiednimi interfejsami sieciowymi do standardowych sieci automatyki budynkowej poziomu obiektowego (fieldbus), są bezpośrednio przyłączane do kanałów sieciowych zainstalowanych w budynku, najczęściej z wykorzystaniem medium transmisyjnego TP (skrętka). Wartością dodaną takiego zintegrowanego rozwiązania, jest możliwość wykorzystania danych



generowanych przez liczniki i moduły monitorujące parametry zasilania (i/lub pracy urządzeń) lub też wyników ich przetwarzania w lokalnych serwerach czy w systemie nadrzędnym, bezpośrednio do sterowania urządzeniami infrastruktury budynkowej na poziomie obiektowym. Dzięki temu możliwe jest organizowanie zaawansowanych scenariuszy sterowania np. oświetleniem czy ogrzewaniem/wentylacją pomieszczeń zależnie od obecności osób lub innych parametrów zewnętrznych (temperatur, intensywność oświetlenia, stężenie CO<sub>2</sub> itp. – sygnały z rozproszonych na obiekcie czujników), jednakże dodatkowo z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii [7]. Taka funkcjonalność otwiera nowe obszary w zakresie poprawy efektywności energetycznej budynków, obniżenia ich kosztów eksploatacyjnych czy planowania i organizacji czasowej różnych operacji niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania budynku, a możliwych do realizacji np. poza godzinami pracy osób w wybranych jego obszarach - pomieszczeniach. Wszystkie te działania i możliwości technologiczno-organizacyjne systemów zarządzania energią EMS i zarządzania budynkami BMS tworzą nową jakość obsługi eksploatacyjnej i użytkowej współczesnych budynków, zwłaszcza użyteczności publicznej, komercyjnych i biurowych oraz przemysłowych. W oparciu o nie możliwe staje się zarządzanie popytem – Demand Response, a w perspektywie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych do zasilania pojedynczych budynków lub całych kampusów czy osiedli, wsparcie użytkowania takich obiektów w trybie tzw. prosumenckim – okresowej konsumpcji i okresowej generacji energii na potrzeby budynków oraz jako produktu do systemu elektroenergetycznego [1][3][8][9].

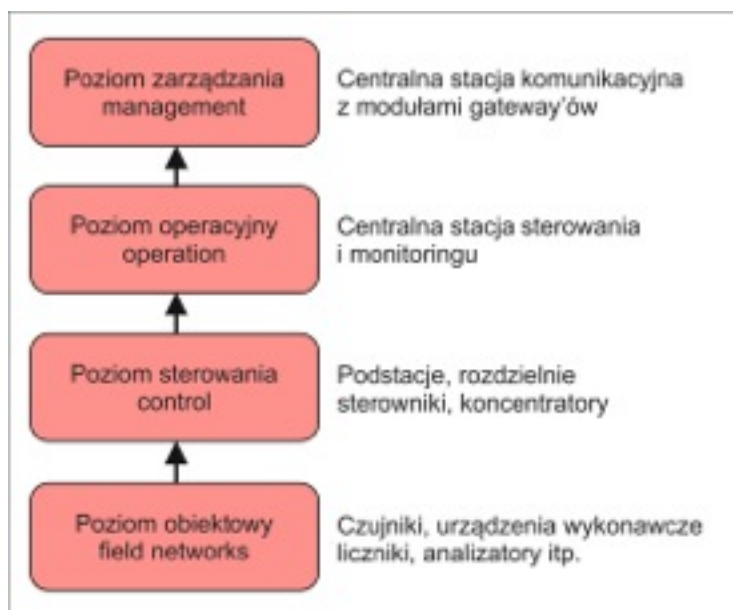
2.

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
budynek C-2 pokój 426 tel: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



## 2. Systemy EMS – badania i koncepcje rozwojowe

Wciąż rosnące zapotrzebowanie na systemy EMS w budynkach powoduje obserwowany obecnie rozwój różnych koncepcji ich organizacji. Poczynając od dedykowanych liczników energii i mediów, poprzez zcentralizowane systemy monitoringu i akwizycji danych, aż po zdecentralizowane, rozproszone systemy sieciowe, bazujące na standardowych platformach komunikacji danych – sieci obiektowych, lokalnych sieci teleinformatycznych, technologiach bezprzewodowych itp. Organizacja sieciowych systemów EMS dla budynków zwykle posiada strukturę wielopoziomową, widoczną na rysunku 1 [10][11].



Rys. 1 – Poziomy strukturalne sieciowych systemów EMS [11].

Badania i prace rozwojowe sieciowych systemów EMS dedykowanych do zastosowań w różnego typu budynkach skupiają się obecnie wokół kilku podstawowych obszarów, przedstawionych krótko w kolejnych podpunktach:

- Różne technologie komunikacji, architektury systemowe i kwestia ich integracji dla swobodnego, dwukierunkowego przepływu danych. W nadrzędnych poziomach sieciowych systemów EMS i BMS dominującą i niekwestionowaną rolę odgrywają sieci transmisji danych bazujące na protokole TCP/IP, zarówno na poziomie sieci lokalnych – operacyjnych, jak i globalnych – zarządzania, zapewniających też ewentualną możliwość zdalnego dostępu do danych systemowych na potrzeby monitoringu, zadawania nastaw czy rozliczeń. Jednak na pozostałych dwóch poziomach – obiektowym i sterowania, wciąż nie jest możliwe wskazanie jednoznacznego lidera standardów komunikacyjnych i transmisji danych. W praktycznych aplikacjach wielokrotnie spotyka się różnorodne protokoły sieci obiektowych (fieldbus), charakterystyczne zarówno dla aplikacji przemysłowych (Profibus, EtherNet/IP), jak i budynkowych (LonWorks, KNX, BACnet), ale również stricte pomiarowych (MBus, ModBus). Ponadto, w szczególności na poziomie obiektowym, coraz częściej pojawiają się systemy oparte o komunikację bezprzewodową (ZigBee, WiFi, Bluetooth), umożliwiające instalację np. czujników w miejscach trudnodostępnych, bez dostępu medium przewodowego. Niekiedy wykorzystywane jest również medium Power

- Line, komunikacji poprzez linie sieci zasilającej, w obsłudze wybranych urządzeń oświetlenia itp. [5][12][13][14]

Tak zróżnicowane środowisko technologii komunikacyjnych wymaga podjęcia działań zmierzających przede wszystkim do zagwarantowania poprawności i bezpieczeństwa pewności transmisji danych pomiędzy urządzeniami poziomu obiektowego, ale również przy przekazywaniu danych do wyższych poziomów struktury systemów sieciowych EMS i BMS. Podejmowane są również prace badawcze i technologiczne nad ujednoczeniem standardu komunikacyjnego, z wyraźną już obecnie tendencją do implementacji protokołu TCP/IP (Ethernet) w różnych odmianach, jako uniwersalnej platformy wymiany informacji w poziomach nadrzędnych oraz sterowania i obiektowym [15][16].

- Dobór elementów infrastruktury sieci na wszystkich poziomach strukturalnych, dobór funkcjonalności. Ze względu na bardzo bogatą ofertę urządzeń i modułów dedykowanych dla systemów automatyki i zarządzania budynkami (BMS), w trakcie projektowania tego typu instalacji z uwzględnieniem ich oddziaływania na efektywność energetyczną budynków oraz możliwość integracji funkcjonalności systemowego zarządzania energią (EMS), konieczna jest ich właściwa selekcja i dobór do realizacji określonych zadań. Zasadniczo dominującym trendem w tym zakresie jest dokładna analiza wstępna wymogów konkretnej aplikacji na obiekcie oraz wymogów stawianych systemom sterowania i monitoringu przez użytkownika i/lub inwestora. Następnie dobiera się elementy i projektuje struktury sieci tak, by spełniała ona te wymogi i założenia wynikające z wyników analizy, z ewentualnym otwarciem na możliwość rozbudowy w trakcie eksploatacji. Ponieważ jednak we współczesnych instalacjach tego typu coraz większą rolę odgrywa kwestia ich elastyczności i konieczności dynamicznego reagowania na zmieniające się czynniki zewnętrzne lub wewnętrzne, ważnym elementem doboru urządzeń i technologii sieciowych jest kwestia dynamicznej samoorganizacji czujników, elementów wykonawczych i powiązanych z nimi bloków funkcjonalnych oraz połączeń zmiennych sieciowych już na poziomie obiektowym. Wiele uznanych ośrodków badawczych, uczelni technicznych i laboratoriów firm branżowych prowadzi badania i testy takich rozwiązań, które w oparciu o zaawansowane algorytmy obsługi sygnałów systemowych i sieciowych, w tym również logiki rozmytej, oraz elementy sztucznej inteligencji, pozwolą na wprowadzenie wspomnianej dynamiki zmian, elastyczności i samoadaptacji modułów sieciowych. Systemy BMS i zintegrowane z nimi systemy EMS powinny mieć możliwość łatwego rekonfigurowania i wspierać różne tryby pracy, z możliwością ich szybkiego przełączania [17][18][19].
- Implementacja platform technologii Internetu Rzeczy jako aktywnego elementu zarządzania energią i infrastrukturą budynkową. Internet Rzeczy (Internet of Things - IoT) to koncepcja powszechnie przedstawiana jako kolejny etap komputerowej i sieciowej rewolucji, w kierunku rozproszenia modułów sieciowych i samych informacji, gdzie każdy obiekt w świecie rzeczywistym może automatycznie łączyć się z siecią, w pełni uczestniczyć w Internecie i komunikować się z dowolnym innym modułem do niej podłączonym. IoT obejmuje obecnie szereg technologii i obszarów badawczych, które mają na celu wykorzystanie i rozszerzenie istniejącej sieci Internet, jako platformy komunikacyjnej również dla różnego typu obiektów, urządzeń i modułów występujących w otoczeniu człowieka. Całkowicie nową koncepcją jest możliwość organizacji połączeń sieciowych i transmisji danych w ramach systemów automatyki, monitoringu i zarządzania budynkami w oparciu o protokoły komunikacji i filozofię adresowania modułów sieciowych rodem z tak popularnych obecnie sieci teleinformatycznych. Powszechność dostępu do sieci protokołu IP, znajomość technologii wśród integratorów systemowych, stosunkowo niskie koszty instalacji oraz łatwość rozbudowy i organizacji zdalnego dostępu do danych systemowych sprawiają, że technologia ta staje się obecnie realną alternatywą dla klasycznych już sieci automatyki budynkowej [20][21]. Implementacja protokołu i interfejsu sieci IP w węzłach sieciowych systemów BMS i EMS pozwala na swobodne zarządzanie danymi generowanymi w takich modułach, wysyłanie do nich pakietów konfiguracyjnych, zapytań itp. bezpośrednio z poziomu systemów menadżerskich, serwisowych. Dlatego też zmianie ulega tradycyjna koncepcja struktury i zasad funkcjonowania sieci Internet, rozumianej jako połączenia

- większych lub mniejszych serwerów danych z końcowymi terminalami klientów-użytkowników końcowych, w kierunku połączonych w sieci „inteligentnych” obiektów (Smart Object), wymieniających dane między sobą i w razie potrzeby lub żądania, prowadzących interakcję z użytkownikami. Szczególnie istotny jest pierwszy z tych elementów, który wprowadza nową jakość i innowacyjność w struktury komunikacji w sieci Internet. Zakłada się bowiem możliwość dość znaczącej autonomiczności funkcjonowania obiektów sieciowych, które wymieniając między sobą informacje, uwzględniając zapisane algorytmy pracy, mogą realizować pewne działania oddziałujące na świat rzeczywisty, otoczenie, bez wiedzy i udziału użytkowników końcowych. To idea znana z branży automatyki przemysłowej i budynkowej pod hasłem Machine-to-Machine (M2M) i od wielu już lat realizowana w sieciach poziomu obiektowego, obsługujących czujniki i elementy wykonawcze w aplikacjach przemysłowych czy w budynkach. W ramach IoT staje się ona jednym z podstawowych elementów, jednak realizowanym już nie na poziomie obiektowym, ale przy założeniu wejścia w jednolitą, wysoce rozproszoną strukturę sieci protokołu IP [22][4].
- Opracowanie wytycznych i wskazówek organizacji różnych trybów pracy, scenariuszy i algorytmów sterowania dla aktywnych platform zarządzania energią. Systemy automatyki i monitoringu są instalowane w różnego typu budynkach. Również same budynki, zwłaszcza komercyjne, użyteczności publicznej, biurowe, są podzielone na strefy użytkowe o zróżnicowanych wymaganiach co do parametrów użytkowych, komfortu, obciążenia użytkowego w czasie doby itp. Dlatego też organizując i integrując sieciowe platformy sterowania w takich obiektach warto zaproponować dla różnych stref, obszarów, odrębne scenariusze użytkowe – utrzymania komfortu cieplnego, oświetleniowego, wentylacji i klimatyzacji, kontroli dostępu, harmonogramów czasowych. Realizacja systemu automatyzacji i sterowania budynkiem wymaga rzetelnej identyfikacji funkcjonalności instalacji technologicznych, funkcji pomieszczeń oraz analizy funkcji systemu automatyki i wyposażenia technicznego. Działania te powinny wynikać z założeń inwestycyjnych i zostać realizowane podczas procesu projektowania, który jest ściśle podporządkowany uzyskaniu określonej, zadanej sprawności energetycznej budynku oraz zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu jego użytkowników. Podczas wspomnianej identyfikacji i analizy należy określić strategie sterowania poszczególnymi podsystemami, urządzeniami i elementami systemowymi instalowanymi w obiekcie budowlanym. Strategie te są zbiorem funkcji oferowanych przez węzły sieciowe (moduły automatyki, sensory i elementy wykonawcze), kontrolujące pracę układu technologicznego lub urządzenia. Z reguły strategie sterowania odnoszone są do różnych podsystemów infrastruktury budynkowej, ze szczególnym uwzględnieniem ich energochłonności i/lub bezpośredniego wpływu na komfort użytkowania pomieszczeń w budynku:
  - o ogrzewanie (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik),
  - o chłodzenie (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik),
  - o ciepła woda użytkowa (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik),
  - o wentylacja i klimatyzacja,
  - o oświetlenie, zasilanie gniazd i innych odbiorników energii elektrycznej,
  - o żaluzje, osłony przeciwsłoneczne,
  - o bezpieczeństwo ludzi i mienia,
  - o zasilanie w energię (opomiarowanie, monitoring).

Trzeba jednak zaznaczyć, że o ile funkcjonalności poszczególnych urządzeń sterowania i monitoringu dla określonych podsystemów infrastruktury budynkowej są precyzyjnie zdefiniowane i ustandaryzowane w postaci profili i bloków funkcjonalnych, o tyle same relacje między urządzeniami w ramach algorytmu/scenariusza sterowania, opisane są w sposób niejednoznaczny, pozostawiając otwarte pole do kreowania różnych opcji sterowania i integracji obiektowej. Podstawowymi elementami obowiązującej obecnie koncepcji organizacji funkcjonalnej sieciowych systemów automatyki, monitoringu i zarządzania budynkami BMS są profile funkcjonalne, które z kolei definiują

możliwe bloki funkcjonalne i wreszcie powiązane z nimi zmienne sieciowe, jako elementy bezpośredniej komunikacji danych między urządzeniami – węzłami sieci. W oparciu o nie i analizowane zapotrzebowanie użytkowników oraz zasoby technologiczne budynku i systemu automatyki, możliwe jest budowanie różnych profili użytkowych [2][23][24].

Integracja elementów funkcjonalnych systemów EMS – pomiary zużycia energii i mediów, kontrola dostępu i powiązanie jej sygnałów z organizacją funkcjonowania urządzeń budynkowych (uruchamianie urządzeń zależnie od obecności, zmian stężenia CO<sub>2</sub> – duża liczba osób w pomieszczeniu, dynamiczne zmiany oświetlenia od potrzeb użytkowników itp.) otwiera zupełnie nowe możliwości w tym zakresie. Jednak mnogość opcji i możliwości prowadzi też do chaosu organizacyjnego i "samowolki" integratorów systemowych. To szczególnie istotne również w kontekście wprowadzenia do infrastruktury budynków nowych elementów jak odnawialne źródła energii (fotowoltaika, pompy ciepła), inteligentne liczniki energii i mediów, możliwość dynamicznego sterowania wybranymi urządzeniami, zależnie od sygnałów z sieci zasilającej o przekroczeniu lub nie określonego poziomu poboru mocy przez obiekt itp. [1][3][7][9][25] Stąd konieczność wypracowania zaleceń i wytyczny co do sposobów integracji funkcjonalnej systemów BMS i EMS w ramach jednolitych platform systemowych, oczywiście z uwzględnieniem wspomnianej różnorodności samych budynków, wymogów użytkowników i zasobności finansowej inwestorów.

Bardzo istotnym elementem decydującym o skuteczności wdrożenia systemów sterowania i zarządzania energią w budynkach jest sposób wykonania wszystkich instalacji w obiekcie, w szczególności zaś instalacji elektrycznej. Powinna ona być podzielona na wiele, niezależnie sterowanych obwodów, co pozwala na selektywne załączanie tylko potrzebnych odbiorów oraz umożliwia pomiar zużycia energii przez poszczególne odbiory bądź ich grupy. Jest to bardzo istotne w obiektach komercyjnych i przeznaczonych pod wynajem.

W projektach implementacyjnych i rozwojowych zaawansowanych systemów EMS, o różnym stopniu integracji z platformami zarządzania BMS, konieczne jest zwrócenie uwagi na kilka czynników związanych z infrastrukturą sterującą i monitorowania, wpływających na efektywność energetyczną i możliwość jej poprawy:

- zastosowanie indywidualnych mierników (liczników) zużycia poszczególnych mediów energetycznych. Możliwość pomiaru zużycia energii w poszczególnych pomieszczeniach, a w razie potrzeby na wydzielonych w nich obwodach (oświetlenie, gniazda itd.) pozwala porównywać zużycie w różnych miejscach budynku, analizować przyczyny różnic oraz stosować indywidualne dla pomieszczeń strategie oszczędzania. Poza tym znajomość rzeczywistego zużycia daje możliwość świadomego gospodarowania mediami i motywuje do ich oszczędzania,
  - zastosowanie czujników parametrów powietrza wewnątrz i na zewnątrz dla zapewnienia sterowania ogrzewaniem i/lub klimatyzacją pod kątem redukcji zużycia energii przy zachowaniu założonego poziomu komfortu w pomieszczeniach i całym budynku,
  - wykorzystanie algorytmów sterowania zaimplementowanych w sterownikach instalacji,
  - wyposażenie budynku w jednolitą, rozproszoną sieć sterującą pozwalającą zintegrować ze sobą już na poziomie obiektowym instalacje: elektryczną, grzewczą i klimatyzacji. Zintegrowane sterowanie wszystkimi systemami budynku pozwala na bardziej efektywne gospodarowanie wszystkimi mediami energetycznymi w obiekcie.
- Określenie i weryfikacja wpływu systemów automatyki i EMS w budynkach na poprawę ich efektywności energetycznej w oparciu o zalecenia i wytyczne zawarte w odpowiednich standardach i normach w tym zakresie, w tym PN-EN 15232. Norma PN-EN 15232 „Energetyczne właściwości budynków. Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami” wskazuje możliwości efektywnej realizacji automatyzacji budynku, systemów sterowania i zarządzania budynkiem oraz właściwe powiązania pomiędzy poszczególnymi podsystemami technicznymi zapewniające zwiększenie efektywności energetycznej urządzeń i systemów do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowywania

- ciepłej wody użytkowej i oświetlenia. Algorytmy sterujące i złożone, zintegrowane funkcje mogą być konfigurowane w oparciu o faktyczne użytkowanie budynku oraz według rzeczywistych potrzeb jej użytkowników.

Niezależnie od tego funkcje automatyki budynku mogą dostarczyć informacje w obszarach bieżącego użytkowania, utrzymania i zarządzania budynkiem, dystrybucji i zużycia energii. Ma to szczególne znaczenie dla zarządzania zużyciem energii, w analizie, raportowaniu i prognozowaniu zużycia, zarówno globalnego jak i miejscowego, jak również dla określania obszarów nieefektywnego zużycia energii. Norma swoim zakresem obejmuje:

1. definicję wszystkich funkcjonalności automatyki budynku i BMS, które mają wpływ na właściwości energetyczne budynków
2. sposób definiowania minimalnych wymagań funkcji spełnianych przez automatykę budynku i BMS dla budynków różnego typu (o różnym przeznaczeniu) i o różnym stopniu złożoności dla uzyskania wymaganych właściwości energetycznych budynków
3. metody szacowania indeksów oszczędzania energii, zależnych od użytych funkcjonalności automatyki budynku, które mogą być użyte do oceny efektywności energetycznej budynków.

Funkcje, które odgrywają rolę w efektywności energetycznej budynku są podzielone na trzy grupy: funkcje do automatycznego sterowania; funkcje do automatyzacji i sterowania budynkiem; funkcje do technicznego zarządzania budynkiem.

Funkcje te podzielone są na cztery różne stopnie sprawności energetycznej zależnej od ilości i sposobu użycia zainstalowanych funkcji automatyki budynku i technicznego zarządzania budynkiem (A, B, C i D), zarówno dla budynków mieszkalnych i niemieskalnych:

1. Klasa D - oznacza, że systemy budynku osiągają niską wydajność energetyczną i powinny podlegać unowocześnieniu. Nowe budynki nie powinny być budowane z zastosowaniem takich systemów
2. Klasa C oznacza, że zastosowany system automatyki budynku realizuje standardowe rozwiązania
3. Klasa B oznacza, że zastosowany system automatyki budynku realizuje standardowe i zaawansowane rozwiązania i wybrane funkcje systemu technicznego zarządzania budynkiem
- Klasa A oznacza, że zastosowany system automatyki budynku realizuje standardowe i zaawansowane rozwiązania i zaawansowane funkcje systemu technicznego zarządzania budynkiem [26][27].

Zalecenia i wytyczne normy bardzo dobrze wpisują się w przedstawioną już wcześniej koncepcję organizacji różnorodnych algorytmów sterowania, trybów pracy i scenariuszy dla różnego typu obiektów i wybranych ich stref. Przy czym warto podkreślić, że największe oszczędności w zakresie użytkowania energii w obiektach budowlanych przynosi stosowanie i organizacja systemów automatyki w oparciu o wytyczne klasy A. Jednakże trzeba pamiętać, że w takim przypadku konieczne jest zapewnienie integracji na poziomie obiektowym systemów sterowania, automatyki i technicznego zarządzania budynkiem z systemami bezpieczeństwa budynku (system kontroli dostępu, system sygnalizacji włamania i napadu, system monitoringu TV). Funkcje i czujniki stosowane w systemach bezpieczeństwa umożliwiają realizację sterowania dostawami energii do pomieszczeń na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania (poprzez np. przekazywanie do systemu sterowania informacji o obecności użytkownika w pomieszczeniu), a zatem integracja taka potęguje efekt synergii w dziedzinie efektywności energetycznej budynku. Ponadto systemy sterowania i automatyki wszystkich instalacji technologicznych muszą pracować na bazie jednego, standardowego protokołu transmisji danych dla systemów automatyki budynkowej, w celu zapewnienia bezpośredniej wymiany danych pomiędzy poszczególnymi sterownikami i czujnikami, bez udziału centralk sterujących lub systemów nadrzędnych. Ta wymiana danych na poziomie obiektowym jest niezbędną do efektywnego sterowania odbiornikami energii [12][28]. Dlatego też założenia i wytyczne zawarte w normie PN-EN 15232 powinny każdorazowo być jednym z punktów wyjścia przy opracowywaniu koncepcji organizacji systemów automatyki w budynkach o



wysokiej wydajności energetycznej. Zawarte zaś w normie metody szacowania i oceny wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynku, punktem odniesienia przy integracji elementów systemowych EMS, jako narzędzia wsparcia analizy zużycia energii i mediów w budynkach oraz aktywnego zarządzania energią w takich obiektach.

Ważnym dokumentem branżowym determinującym procedury weryfikacji i organizacji systemów i działań ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej jest norma PN-EN ISO 50001 „Systemy zarządzania energią. Wymagania i zalecenia użytkownika”. Opublikowana została ona w lipcu 2012 roku jako dodatek do normy PN-EN 15232. Zapisy i wskazania normy oparte są na zasadzie ciągłego doskonalenia czyli tzw. Planuj-Wykonaj-Sprawdź-Działaj (PDCA), co można przedstawić w sposób następujący:

- Planuj – przeprowadź przegląd energetyczny i opracuj wskaźniki efektywności energetycznej, cele, zadania i plany działania konieczne do osiągnięcia efektów, które poprawią wynik energetyczny zgodnie z polityką energetyczną organizacji,
- Wykonaj – wprowadź plany działań w zakresie zarządzania energią,
- Sprawdź – monitoruj i mierz procesy oraz kluczowe charakterystyki działań, które określają wynik energetyczny,
- Działaj – podejmij kroki na rzecz ciągłej poprawy wyniku energetycznego.

Metodologia ta pomyślana jest jako wsparcie w procesach poprawy efektywności energetycznej zarówno zakładów przemysłowych, jak i budynków oraz wszystkich organizacji działających na rynku, niezależnie od ich wielkości czy branży. Pomaga ona realizować coraz dokładniejsze zarządzanie energią w różnych obszarach, a przez to polepszenie charakterystyk energetycznych budynków. Zwiększa także nacisk na monitorowanie i analizę zużycia energii. Wprowadzając normę PN-EN ISO 50001 odnosi się w głównej części do działań czysto organizacyjnych i formalnych, ale jednak ze względu na potrzebę monitorowania zużycia energii, definiuje zalecenia które dotyczą bezpośrednio sposobu realizacji systemu sterująco-pomiarowego budynku:

- organizacja powinna zapewnić, że kluczowe charakterystyki jej funkcjonowania, które określają wynik energetyczny, są mierzone, monitorowane i analizowane w zaplanowanych odstępach czasu. Kluczowe charakterystyki powinny zawierać co najmniej:
  - znaczące wykorzystanie energii i inne elementy wyjściowe z przeglądu energetycznego
  - stosowne zmienne związane ze znaczącym wykorzystaniem energii
  - wskaźnik wyniku energetycznego (WWE), który jest wartością liczbową lub miarą wyniku energetycznego określoną przez stosującą go organizację
  - skuteczność planów działania w osiąganiu celów i zadań
  - ocenę obecnego zużycia energii w stosunku do oczekiwanego zużycia energii
- efekty monitorowania i mierzenia kluczowych charakterystyk należy zapisać
- należy zdefiniować i wdrożyć plan mierzenia energii, odpowiedni dla rozmiaru i złożoności organizacji oraz jej wyposażenia w urządzenia do mierzenia i monitorowania. Pomiar może obejmować zarówno pojedyncze układy pomiarowe mediów w małych organizacjach, jak i pełne monitorowanie i mierzenie systemów podłączonych do aplikacji zdolnych konsolidować dane i przedstawiać automatyczne analizy.

## Wybrane systemy opomiarowania zużycia energii i mediów oraz parametrów zasilania do zastosowań w budynkach

Oferta rynku urządzeń i rozwiązań systemowych w zakresie pomiarów energii, zarządzania nią i sterowania, powiększa się praktycznie z dnia na dzień. Największy wzrost liczby proponowanych rozwiązań dotyczy pomiarów zużycia energii elektrycznej i parametrów zasilania, ale producenci czujników, urządzeń pomiarowych oraz systemów zarządzania dostrzegają potrzebę modernizacji oferty w zakresie pomiarów i zarządzania innymi rodzajami energii i mediów wykorzystywanych w budynkach. Obserwowany jest trend zastępowania tradycyjnych liczników energii elektrycznej,

pełniących rolę liczników głównych i tzw. pod-liczników stosowanych w celach rozliczeniowych, miernikami energii z zaimplementowanymi interfejsami komunikacyjnymi różnych standardów systemów sieciowych poziomu obiektowego, w tym również automatyki budynkowej. Podejście to nie jest wynikiem chwilowej mody wśród projektantów, zarządców lub użytkowników, a podyktowane jest potrzebą budowy systemów zarządzania energią (EMS) w ramach spójnych, zintegrowanych systemów automatyzacji i sterowania budynkami (BACS, BMS) [26]. W celu uzyskania najlepszych efektów ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej, zmodernizowane i nowoczesne systemy pomiarowo-rozliczeniowe i zarządzania energią EMS, powinny cechować się zdolnością do współdziałania (ang. Interoperability) w ramach systemów automatyki zrealizowanych w obiektach budowlanych. Najwyższy stopień integracji systemów zapewnia ich integracja na poziomie obiektowym. Wymaga ona jednak, aby urządzenia kontrolno-pomiarowe były dedykowanymi węzłami sieciowymi określonego standardu automatyki, jaki jest podstawą systemu BMS zrealizowanego w danym budynku.

Przegląd oferty dostępnej na rynku w branży pomiarów energii pozwala na wyróżnienie kilku grup rozwiązań:

- Autonomiczne systemy EMS

Jednym z rozwiązań proponowanych przez producentów urządzeń pomiarowych nie związanych z branżą automatyki budynków są autonomiczne, oddzielne systemy zarządzania energią. Idea takiego systemu z reguły bazuje na centralnym sterowniku z licznymi wejściami analogowymi i cyfrowymi. Sterowniki te umożliwiają pomiar i kontrolę zużycia energii kilku punktów, archiwizację, zaawansowane przetwarzanie i wizualizację danych pomiarowych, a nawet proste sterowania załącz/wyłącz poszczególnymi generatorami lub odbiorami – oczywiście wymagane jest wykonanie dodatkowych, oddzielnych połączeń tzw. „twardodrutowych”, co często bywa niewygodnym rozwiązaniem. Jedną z zalet tego typu systemów jest możliwość ich instalacji niemal w każdym rodzaju obiektów, również w tych nie wyposażonych w żaden system automatyki. Dlatego z rozwiązań tego typu często korzystają firmy oferujące usługi audytu i doradztwa energetycznego. Wspomniana zaleta bywa jednak również często istotną wadą takich systemów, gdyż ich integracja z systemami automatyki budynkowa jest utrudniona, czasochłonna i kosztowna, a niekiedy wręcz niemożliwa. Na uwagę zasługuje fakt, że nieliczni z producentów oferują systemy EMS, które dostępne są zarówno w wersji autonomicznej, jak również jako element systemu automatyzacji i sterowania budynkiem zintegrowany na poziomie obiektowym [29][30].

- Urządzenia i moduły w ramach systemu BMS

Wśród nowoczesnych systemów automatyzacji i sterowania budynków oferowane są komponenty umożliwiające budowę lokalnych i zintegrowanych z infrastrukturą technologiczną systemów zarządzania energią. Elementami tymi są liczniki różnych mediów, analizatory jakości energii elektrycznej i moduły pomiarowe z zaimplementowanymi interfejsami komunikacyjnymi popularnych standardów automatyki budynkowej np. BACnet, KNX, LonWorks, Modbus, M-Bus, uznanych producentów takich jak Schneider Electric, ABB, Gossen MetraWatt, Kamstrup i wielu innych. Wspomniane urządzenia są często nie tylko zamiennikami ich tradycyjnych odpowiedników, nie posiadających żadnych interfejsów sieciowych, lecz również w pełni funkcjonalnymi elementami systemu automatyki zrealizowanego w budynku. W niektórych przypadkach ich rola i funkcjonalność nie ogranicza się jedynie do dostarczania informacji o zużyciu energii lub medium, ale również do sterowania pracą odbiorów – przykładowo funkcja strażnika mocy. Równie istotnym elementem wspierającym możliwość budowy lokalnego EMS są dostarczane z nimi lub dostępne osobno, narzędzia informatyczne stosowane w systemach BMS. Oprogramowanie takie służy m.in. do archiwizacji i obsługi baz danych zawierających pomiary energii, do ich przetwarzania i wizualizacji oraz zarządzania infrastrukturą systemu automatyki. Przykładowo zastosowanie oprogramowania typu SCADA pozwala na graficzną reprezentację zużycia energii na panelach operatorskich, urządzeniach mobilnych lub komputerach PC [31].

- Projekty open-source

Główną ideą tego typów projektów jest chęć zwiększenia świadomości odbiorców w kwestii problemu niekontrolowanego zużycia energii. Projekty tego typu proponowane są często i wykonywane w ramach filozofii zrób-to-sam (ang. DIY) i dedykowane do pewnych specyficznych instalacji. Niejednokrotnie mają one pewne ograniczenia związane z brakiem funduszy na ich dalszy rozwój. Jednak niektóre przedsięwzięcia zasługują na miano pełnoprawnych produktów rynkowych. Jednym z przykładów jest system OpenEnergyMonitor, bazujący na platformie Arduino, składający się z czterech głównych części: emonTx, emonGLCD, emonBase, emoncms. EmonTx – to seria urządzeń charakteryzujących się niskim poborem mocy w trakcie użytkowania, będących bezprzewodowymi węzłami pomiarowymi, umożliwiającymi podpięcie do systemu różnych czujników (wejścia/wyjścia cyfrowe, analogowe, pomiar temperatury, zliczanie impulsów). EmonGLCD – to bezprzewodowy wyświetlacz LCD ogólnego przeznaczenia, z zaprojektowanymi bibliotekami graficznymi przeznaczonymi do wyświetlania danych dotyczących zużycia energii. EmonBase – jest stacją bazową, odbierającą dane pomiarowe z bezprzewodowych węzłów pomiarowych. Umożliwia logowanie i wizualizację informacji o zużyciu energii oraz zdalny dostęp do systemu. Stanowi serwer dla aplikacji emoncms. Emoncms – z kolei to rozbudowany systemem zarządzania treścią, umożliwiający obsługę instalacji pomiarowej poprzez komputery PC z systemem Linux lub Windows oraz urządzenia mobilne jak smartfony lub tablety. System OpenEnergyMonitor posiada szeroki zakres zastosowań: oprócz tradycyjnego pomiaru energii elektrycznej w budynku, możliwe jest również zrealizowanie instalacji monitorującej pracę paneli fotowoltaicznych, ciepłej wody użytkowej pochodzącej z kolektorów słonecznych, pomp ciepła oraz stanu termicznego budynku [32]. Kolejne rozwiązanie z tej grupy produktów to SEGmeter, oferowany przez Smart Energy Groups. Projekt ten bazuje na platformie Arduino. Umożliwia pomiar zużycia energii w sześciu niezależnych kanałach pomiarowych, pomiar temperatury, prosteysterowanie odbiorników (dzięki wbudowanym przekaźnikom), bezprzewodową komunikację ZigBee oraz zdalny dostęp przez łącze Internetowe. Wizualizacja stanu pracy systemu jest realizowana przez zbiór przyjaznych i estetycznych grafik (wykresów, liczników, tabel, trendów). Zarządzanie instalacją jest możliwe dzięki wysyłaniu i odbieraniu z systemu wiadomości e-mail, a dodatkową cechą jest udostępnianie danych pomiarowych na serwisach społecznościowych jak np. Tweeter [33].

### 3. Otwarte standardy automatyki budynkowej – wsparcie organizacji EMS na poziomie obiektowym

Budynki to obiekty będące obecnie jednym z największych konsumentów różnych rodzajów energii, pochodzącej z różnorodnych źródeł. jednocześnie w ostatnich kilkunastu latach na całym świecie, a szczególnie w Europie wprowadzane są coraz bardziej restrykcyjne przepisy i unormowania ukierunkowane na poprawę efektywności energetycznej praktycznie wszystkich obszarów działalności przemysłowej i urbanistycznej człowieka oraz rozszerzenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Dlatego też w branży budowlanej w ostatnich latach podejmowane są liczne działania ukierunkowane na zmniejszenie energochłonności budynków, przy zachowaniu ich pełnej funkcjonalności i komfortu użytkownika [2][7][24].

Poziom energochłonności budynków zależy od bardzo wielu czynników, stąd przede wszystkim konieczność ich identyfikacji oraz klasyfikacji dla konkretnych obiektów. Nakłady ponoszone na eksploatację i konserwację stanowią większość kosztów cyklu życia budynku. Dlatego w nowoczesnym obiekcie powinno projektować się systemy automatyzacji i sterowania oraz technicznego zarządzania budynkiem, zapewniające oszczędności w zużyciu energii i mediów, przy co najmniej zachowaniu dotychczasowego poziomu komfortu użytkownika i poziomu bezpieczeństwa. Wysoko postawione wymogi poprawy efektywności energetycznej obiektów

budowlanych spełnione zostaną, jeśli zrealizowane zostanie zintegrowanie procesu projektowania budynku z uwzględnieniem jego docelowej efektywności energetycznej. W procesie tym należy uwzględnić nie tylko wysokiej jakości system automatyzacji i sterowania, ale również właściwe zaprojektowanie instalacji technologicznych, którymi w odpowiedni sposób sterować będzie system automatyki. Najbardziej efektywnie energetycznie będzie takie rozwiązanie i organizacja poszczególnych instalacji technologicznych budynku, które pozwolą sterować dostawą każdej formy energii indywidualnie do każdego pomieszczenia, w zależności od zapotrzebowania. Instalacje technologiczne powinny mieć zatem zapewnioną możliwość współdziałania w zakresie oszczędnego zużycia energii. W tym celu elementy automatyki poszczególnych instalacji technologicznych powinny zostać zintegrowane na poziomie obiektowym z instalacjami systemów bezpieczeństwa i kontroli dostępu, które dostarczą informacji o obecności użytkowników w pomieszczeniach, a tym samym o bieżącym, aktualnym zapotrzebowaniu na dostawę energii do konkretnych pomieszczeń [26][28].

Podejście to również wymusza kształt koncepcyjny organizacji sprawnych systemów zarządzania energią EMS i różnymi mediami energetycznymi w budynkach, które w pierwszej kolejności odpowiedzialne są za zmierzenie odpowiednich parametrów eksploatacyjnych, a następnie ich przetworzenie oraz podjęcie odpowiednich decyzji ukierunkowanych na minimalizację zużycia energii. Należy podkreślić, że proces projektowania systemów automatyki budynkowej jest ściśle podporządkowany uzyskaniu zadanej formy organizacyjnej systemów EMS, którą może być określona sprawność energetyczna budynku. Wybór określonej formy wpływa w szczególności na: technologię wykonania budynku, projekty i konstrukcje oraz funkcjonalności instalacji technologicznych, a także funkcje systemu automatyzacji i sterowania oraz technicznego zarządzania budynkiem. Jedną z ról projektantów i integratorów systemów automatyzacji i sterowania budynkiem jest określenie kształtu, funkcjonalności i sposobu działania instalacji inteligentnych. W tym celu zalecane jest wykorzystanie naturalnych właściwości jakie oferują poszczególne standardy/technologie automatyki – np. ujednolicone zmienne sieciowe określonych typów danych, dedykowane do rozwiązania danego zadania bloki funkcjonalne i profile funkcjonalne.

## Profile, bloki funkcjonalne i zmienne sieciowe w organizacji systemów EMS na poziomie obiektowym

Moduły automatyki budynkowej pracują zgodnie ze skonfigurowaną aplikacją sterowania, która realizuje swoje zadania poprzez odczytanie danych z wejść, przetworzenie informacji oraz odpowiednie wysterowanie wyjść. Punkty danych reprezentowane są w urządzeniach przez odpowiednie zmienne sieciowe, które mogą przyjmować różny format – wiele typów zmiennych sieciowych. Zmienne sieciowe zaimplementowane w danym urządzeniu przeznaczone są do realizacji określonych funkcjonalności. W celu ułatwienia implementacji aplikacji oraz procesu integracji i zarządzania, zmienne przeznaczone do realizacji danych czynności grupowane są w bloki funkcjonalne. Blok funkcjonalny, który jest częścią aplikacji, pobiera dane wejściowe z sieci, z wejść modułu oraz z innych bloków funkcjonalnych w urządzeniu. Dane wyjściowe bloku funkcjonalnego mogą być z kolei wysyłane do sieci, do wyjść urządzenia oraz do innych bloków funkcjonalnych w module. W urządzeniu blok funkcjonalny powinien być zaimplementowany dla każdej funkcji urządzenia, z którą powinny komunikować się inne węzły sieci oraz dla funkcji, które wymagają konfiguracji zadanego zachowania. Każdy blok funkcjonalny powinien być definiowany przez profil funkcjonalny, który jest szablonem dla bloków funkcjonalnych. Profile powinny szczegółowo definiować ilości i typy zmiennych sieciowych, określać wymagania dotyczące sposobu przetwarzania danych, reakcji na określone zdarzenia lub dopuszczalne wartości zmiennych. Celem definicji profili funkcjonalnych jest ujednolicenie typów zmiennych sieciowych oraz algorytmów bloków funkcjonalnych czujników i elementów wykonawczych obsługujących dany rodzaj sygnału fizycznego [34][35][36].

Istotną kwestią w przypadku standardów automatyki jest określenie jak najlepszych powiązań pomiędzy zmiennymi sieciowymi zorganizowanymi w bloki funkcjonalne. Analiza popularnych technologii automatyki budynkowej wskazuje, że powiązania te pomiędzy profilami funkcjonalnymi o ile występują są bardzo uproszczone. Zarówno organizacje opiekujące się danymi standardami lub producenci urządzeń automatyki, nie wskazują różnych możliwości konfiguracji instalacji. Zadania te zostały przeniesione na projektantów i integratorów systemów automatyki, których rolą jest dobór jak najlepszych scenariuszy i strategii sterowania. Tymczasem okazuje się, że przy wielu typach aplikacji na obiektach wzajemne powiązania funkcjonalne, zwłaszcza te niezbędne do realizacji podstawowych funkcjonalności ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej, powtarzają się. Stąd idea zaproponowania ujednoczonych wytycznych i wskazówek, bazujących na tzw. dobrych praktykach, które ułatwiłyby i w pewien sposób ustandaryzowały podejście integratorów do organizacji systemów EMS, jednocześnie ułatwiając szacowanie spodziewanych efektów eksploatacyjnych.

Powodzenie w opracowaniu udanych scenariuszy i strategii sterowania w dużej mierze zależy od dostępności odpowiednich elementów w danym standardzie automatyki budynkowej. W niniejszym raporcie analizie pod kątem możliwości realizacji systemów zarządzania energią poddano dwie popularne technologie automatyki KNX i LonWorks. Oba standardy posiadają zdefiniowane odpowiednie zmienne sieciowe, dzięki którym możliwa jest reprezentacja wielkości fizycznych oraz wykonanie funkcji sterowania. Dla obu technologii opracowane zostały też zestawy profili funkcjonalnych, umożliwiające implementację bloków funkcjonalnych. Pierwszą z funkcjonalności systemów EMS, którą poddano wspomnianej analizie, to możliwość organizacji instalacji pomiarowo-rozliczeniowych [37].

#### STANDARD LONWORKS

W przypadku standardu LonWorks dla systemu opomiarowania zużycia energii dostępne są następujące klasy urządzeń:

- 20.00: Zarządzanie Energią (Energy Management)
- o 21.10: Rejestr Logera Danych Dostawcy (Utility Data Logger Register)
- o 21.50: Wielofazowy Licznik Energii (Multi-Phase Energy Meter)
  - 21.51 Wielofazowy Licznik Mocy Maksymalnej (Multi-Phase Demand Power Meter)
  - 21.52 Wielofazowy Miernik Prądu Maksymalnego (Multi-Phase Demand Ammeter)
  - 21.53 Wielofazowy Licznik Mocy (Multi-Phase Power Meter)
  - 21.54 Wielofazowy Amperomierz (Multi-Phase Ammeter)
  - 21.55 Wielofazowy Woltomierz (Multi-Phase Voltmeter)
- 22.00 Automatyczny Czytnik Liczników (Automated Meter Reader – AMR)
- o 22.01 Licznik Dostawcy (Utility Meter)

Spośród wymienionych klas urządzeń, dwa posiadają zdefiniowane profile funkcjonalne: Rejestr Logera Danych Dostawcy i Licznik Dostawcy (mediów) [34].

Profil Logera Danych Dostawcy (SFTPutilityDataLoggerRegister) przeznaczony jest do rejestracji danych pomiarowych różnego typu. Pojedyncze urządzenie Logera może zawierać kilka rejestrów, zbierających dane o różnych typach pomiarowych. Obiekt rejestru może zbierać dane nt. zużycia energii, maksymalnym jej poborze i przepływie. Producent urządzenia Logera określa jakiego rodzaju dane mogą być przechowywane w rejestrach (czy jest to licznik ciepła, energii elektrycznej, gazu, czy uniwersalny koncentrator dla różnych mediów). Dane pomiarowe mogą pochodzić np. z wyjść impulsowych liczników mediów lub trafiać do urządzenia Logera przy pomocy transmisji cyfrowej. Konfigurowalność i ewentualny sposób konfiguracji Logera określa jego producent, jednak funkcją Logera oprócz rejestracji jest też konwersja informacji spływających do niego do spójnej postaci. Urządzenie Logera obowiązkowo musi mieć możliwość aktywacji rejestru (pomiaru) i opcjonalnie może udostępniać rejestrację historyczną wartości rejestrów, możliwość nadawania nazw rejestrom, określania parametrów komunikacyjnych, inicjalizacji rejestru na określonej wartości. Obrazowo pokazano to przy pomocy schematu bloku funkcjonalnego na rysunku 2.



Rys. 2 – Schemat bloku funkcjonalnego Logera [34].

Punkt danych, prezentujący prawidłowy przykład monitoringu pomiarów mediów, w przypadku Logera nazwany jest zmienną sieciową nvoRegVal typu SNVT\_reg\_val\_ts. Zawiera ona nie tylko samą wartość pomiaru, ale również rzeczywisty czas odczytu (ang. timestamp) oraz pola statusu określające prawidłowość pomiaru. Typ SNVT\_reg\_val\_ts przedstawia się następująco:

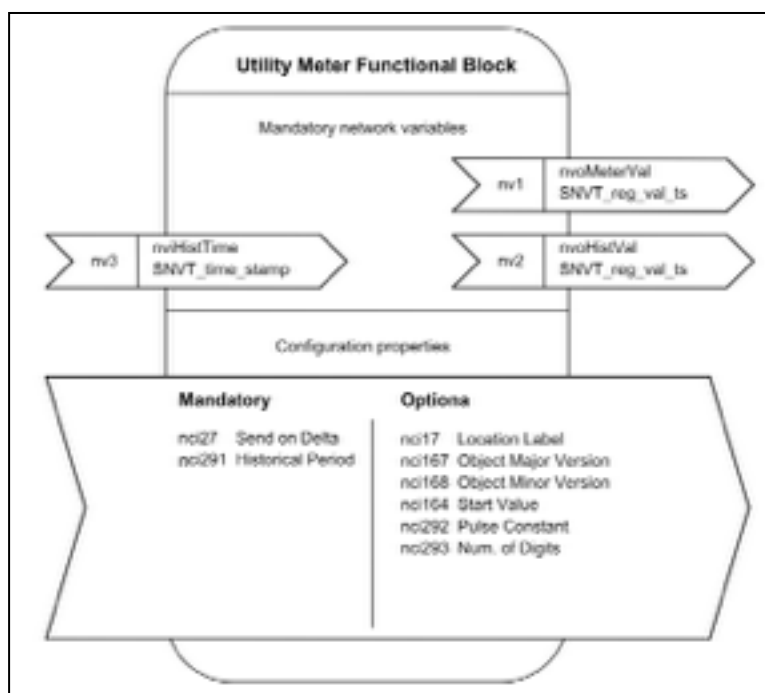
```
struct {
signed intraw; // surowa wartość 32-bitowa ze znakiem
reg_val_unit_tunit; // jednostka pomiaru, np. W, GW, kJ, GJ
unsigned charnr_decimals:3; // ilość cyfr po przecinku
unsigned charstatus:4; // status błędu podczas pomiaru
unsigned charreg_state:1; // aktywność rejestru
unsigned intyear; // rok; -1=NULL, 0=nie określony.
unsigned charmonth; // miesiąc; 0=nie określony
unsigned charday; // dzień; 0=nie określony
unsigned charhour; // godzina
unsigned charminute; // minuta
unsigned charsecond; // sekunda
} SNVT_reg_val_ts;
```

Pozostałe, opcjonalne zmienne sieciowe służą do:

- aktywacji rejestru (zmienną nviRegState)
- wstępnego ustawienia wartości rejestru (zmienną nviRegVal lub parametrem konfiguracyjnym nciBaseValue)
- ustawienia bądź odczytu nazwy rejestru,

- odczytu wartości historycznych: nviHistChoice umożliwia wybór próbki wartości historycznej, która jest zwracana w zmiennej nvoHistVal, a jej stempel czasowy w zmiennej nvoHistTime, natomiast nviHistTime umożliwia zadanie wartości historycznej do odczytu w postaci stempla czasowego
- odczytu okresu zarejestrowanego poprzez zmienną nvoMeasPeriod
- ustawienia wartości przyrostu pomiaru, który powinien spowodować automatyczne wysłanie wartości pomiaru (zmienna nciSendOnDelta typu SNVT\_reg\_val) lub wysokiego progu wartości pomiaru powodującego wysłanie (zmienna nciHLimit)

Drugi profil funkcjonalny dostępny w klasie urządzeń zbierania danych pomiarowych z liczników to Licznik Dostawcy (mediów) – SFPTutilityMeter. Jest on modyfikacją poprzedniego profilu Logera. Jego zastosowanie to zdalny odczyt liczników impulsowych (AMR), głównie przez dostawców mediów (energii elektrycznej, ciepła, wody, gazu). Głównym założeniem tego profilu jest jak największa interoperacyjność, dająca możliwość stworzenia systemu informatycznego u dostawców mediów, który opierałby się na jednym profilu funkcjonalnym, ale dającym możliwość odczytu liczników różnych producentów. Dlatego profil ma ograniczoną elastyczność i możliwości konfiguracyjne. Odczyty będą dotyczyły skumulowanego zużycia w różnych okresach czasowych (np. godzinnych, dobowych czy miesięcznych). Blok funkcjonalny urządzenia w tym profilu jest przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3 – Blok funkcjonalny Licznika Dostawcy [34].

Zauważalne jest, że wybór zmiennych sieciowych jest znacznie mniejszy w stosunku do profilu Logera, dodano jednak parametry umożliwiające podanie lokalizacji zamontowania licznika oraz stałej impulsowej i liczby cyfr licznika.

#### Dobór typów zmiennych sieciowych SNVT

Jak wcześniej zaznaczono, przytoczony profil funkcjonalny używa typu SNVT\_reg\_val, który umożliwia przesłanie stałoprzecinkowej wartości pomiaru razem z ilością miejsc po przecinku i jednostką. Taki sposób kodowania z jednej strony wymaga zdekodowania pomiaru w systemie

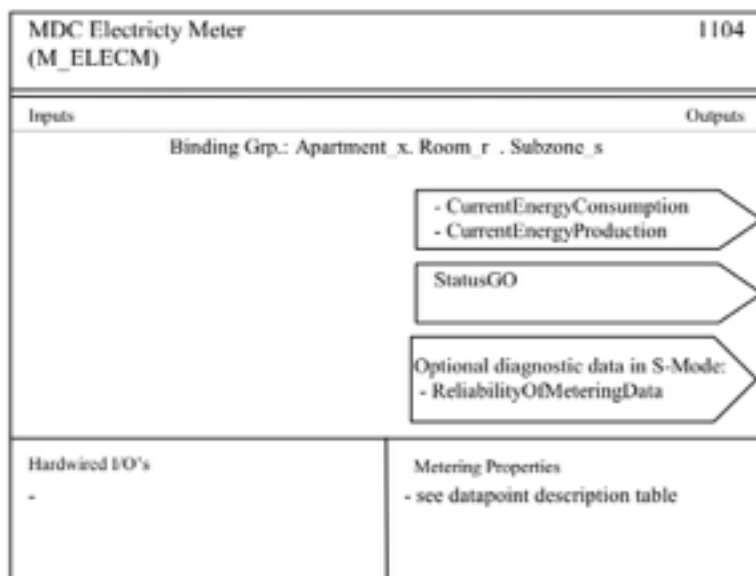
monitoringu (rejestrującym je), z drugiej jednak strony niesie ze sobą większą porcję informacji nt. pomiaru niż w przypadku, gdy pomiar przesyłany byłby przy pomocy 4-bajtowej wartości zmiennoprzecinkowej.

#### STANDARD KNX

W przypadku standardu KNX możliwe są dwa tryby realizacji systemu opomiarowania. Pierwszy tryb wykorzystujący jako podstawę systemu pomiarowego standard M-Bus i jego specyficzne profile funkcjonalne, które następnie są mapowane na zmienne sieciowe wykorzystywane w technologii KNX. Drugi tryb, dedykowany tylko do pomiarów energii elektrycznej, oparty o natywne moduły pomiarowe KNX wraz z odpowiednio zaimplementowanymi blokami funkcjonalnymi i ich zmiennymi sieciowymi. Standard KNX dla systemu opomiarowania zużycia energii zapewnia następujące bloki funkcjonalne:

- MDC Heat Meter
- MDC Heat Cost Allocator
- MDC Water Meter
- MDC Generic Meter
- MDC Gas Meter
- MDC Electricity Meter
- MDC Breaker
- MDC Valve
- Electrical Energy Tariff Sensor
- Electrical Energy Tariff Display
- Tariff Sensor
- Tariff Display

Główną rolą bloków funkcjonalnych przeznaczonych do obsługi standardu M-Bus jest mapowanie i przetworzenie punktów danych na odpowiednie zmienne sieciowe KNX, a następnie ich wizualizacja i/lub zarządzanie energią. Przykładowy blok funkcjonalny MDC Electricity Meter przedstawiono na rysunku nr 4 [38][39].



Rys. 4 – Blok funkcjonalny MDC Electricity Meter[39].

Znaczenie zmiennych zawartych w ramach przedstawionego bloku jest następujące:



- Zmienna CurrentEnergyConsumption typu DPT\_MeteringValue lub DPT\_ActiveEnergy przechowuje informacje dotyczące pobranej energii czynnej,
- Zmienna CurrentEnergyProduction typu DPT\_MeteringValue lub DPT\_ActiveEnergy przechowuje informacje dotyczące oddanej energii czynnej,
- Zmienna BreakerState typu DPT\_MBus\_BreakerValve dostarcza informacji dotyczących statusu źródła zasilającego,
- Zmienna ReliabilityOfMeteringData typu DPT\_Bool wskazuje status przechowywanych w pamięci danych pomiarowych.

Innym przykładem bloku funkcjonalnego przewidzianego do pomiarów związanych z energią elektryczną jest blok Electrical Energy Tariff Sensor (EETS). Jego podstawową rolą jest pomiar mocy i energii obwodu elektrycznego, a następnie przetworzenie i dostarczenie tych informacji do systemu KNX. Może on zostać wykorzystany zarówno w przypadku pomiarów zużycia jak i produkcji, eksportowania energii. Reprezentacja graficzna wspomnianego bloku została przedstawiona na rysunku nr 5 [40].

FB Electrical Energy Tariff Sensor (EETS)		1120	
<b>Inputs</b>		<b>Outputs</b>	
Tariff (T)	(P)	Power	
Timed Dynamic Mode (TDM)	(TAET)	Tariff Active Energy Total	
Reset Partial Energy (RPE)	(TAEP)	Tariff Active Energy Partial	
<b>additional I/Os</b>		<b>Parameters</b>	
		(COVP)	Change Of Value Power
		(COVDP)	Change Of Value Dynamic Power
		(COVET)	Change Of Value Energy Total
		(COVEP)	Change Of Value Energy Partial
		(RTP)	Repetition Time Power
		(RTE)	Repetition Time Energy
		(TD)	Timed Duration

Rys. 5 – Blok funkcjonalny Electrical Energy Tariff Sensor [40].

Znaczenie zmiennych zawartych w ramach przedstawionego bloku jest następujące:

- Zmienna Power typu DPT\_Value\_Power przechowuje informacje dotyczące zmierzonej mocy,
- Zmienna Tariff Active Energy Total typu DPT\_Tariff\_ActiveEnergy przechowuje informacje dotyczące całkowitej wartości energii czynnej oraz jej taryfy,
- Zmienna Tariff Active Energy Partial typu DPT\_Tariff\_ActiveEnergy przechowuje informacje dotyczące częściowej wartości energii czynnej oraz jej taryfy,
- Zmienna Tariff typu DPT\_Tariff umożliwia ustawienie aktualnej taryfy,
- Zmienna Timed Dynamic Mode typu DPT\_Start odpowiada za rozpoczęcie lub zakończenie trybu umożliwiającego zwiększenie częstotliwości odczytu wartości mierzonej – stosowany w celu poprawy dokładności wartości mierzonej np. podczas wizualizacji zmiennej,
- Zmienna Reset Partial Energy typu DPT\_Reset umożliwia wyczyszczenie wszystkich częściowych wartości energii czynnej dla wszystkich taryf,
- Zmienna konfiguracyjna Change Of Value Power typu DPT\_Value\_Power umożliwia określenie zmiany wartości mocy, która powinna spowodować aktualizację zmiennej Power,
- Zmienna konfiguracyjna Change Of Value Dynamic Power typu DPT\_Value\_Power umożliwia określenie zmiany wartości mocy, która powinna spowodować aktualizację zmiennej Power podczas pracy przy włączonym trybie TDM,

- Zmienna konfiguracyjna Change Of Value Energy Total typu DPT\_ActiveEnergy umożliwia określenie zmiany wartości energii, która powinna spowodować aktualizację zmiennej Tariff Active Energy Total,
- Zmienna konfiguracyjna Change Of Value Energy Partial typu DPT\_ActiveEnergy umożliwia określenie zmiany wartości energii, która powinna spowodować aktualizację zmiennej Tariff Active Energy Partial,
- Zmienna konfiguracyjna Repetition Time Power typu DPT\_TimePeriodSec określa przedział czasu niezbędny do aktualizacji zmiennej Power,
- Zmienna konfiguracyjna Repetition Time Energy typu DPT\_TimePeriodSec określa przedział czasu niezbędny do aktualizacji zmiennych pomiaru energii dla każdej z taryf,
- Zmienna konfiguracyjna Time Duration typu DPT\_TimePeriodSec określa czasu trwania trybu TDM.

#### Dobór typów zmiennych sieciowych DPT

Jak wspomniano już wcześniej, w ramach profili funkcjonalnych standardu KNX zostały opracowane zmienne sieciowe, których zadaniem jest jak najlepsza reprezentacja wielkości fizycznych, zdarzeń lub funkcji systemu. Przykładem mogą być 4 bajtowe punkty danych typu signed value serii 13.01x (takie jak DPT\_ActiveEnergy, DPT\_ApparantEnergy, DPT\_ReactiveEnergy, DPT\_ActiveEnergy\_kWh, DPT\_ApparantEnergy\_kVAh, DPT\_ReactiveEnergy\_kVARh) lub ich wersje 8 bajtowe serii 29.01x (takie jak DPT\_ActiveEnergy\_V64, DPT\_ApparantEnergy\_V64, DPT\_ReactiveEnergy\_V64) [41].

#### OTWARTE STANDARDY AUTOMATYKI BUDYNKOWEJ – WSPARCIE REALIZACJI ZAAWANSOWANYCH FUNKCJONALNIE, ZINTYGROWANYCH SYSTEMÓW BMS I EMS

Jak można wnioskować z przeprowadzonych analiz technicznych, popularne, otwarte standardy automatyki budynkowej, poprzez swoją konstrukcję i odpowiednie narzędzia, w wysokim stopniu wspierają i ułatwiają organizację instalacji pomiarowych, stanowiących podstawę lokalnych systemów zarządzania energią.

Kolejną z funkcjonalności systemów EMS, którą poddano niniejszej analizie, jest możliwość realizacji komponentów i usług doradczych, decyzyjnych oraz zarządzających pracą poszczególnych części instalacji, mających wpływ na zużycie energii i innych mediów w obiektach. W przypadku analizowanych otwartych, międzynarodowych standardów KNX i LonWorks, jednym z ich podstawowych zadań jest umożliwienie zarządzania odbiorami zlokalizowanymi w budynku lub jego otoczeniu. Wykorzystując rozproszenie logiki sterującej i dedykowane aplikacje urządzeń, służące rozwiązaniu konkretnych zadań, wraz z możliwością implementacji specyficznych, zaawansowanych algorytmów przetwarzających dane dostępne w systemie, możliwe jest realizowanie praktycznie dowolnych funkcji zarządzających. Omawiane technologie posiadają szereg narzędzi ułatwiających przetwarzanie różnego rodzaju informacji i danych. Wśród nich należy wymienić: możliwość wizualizacji stanu pracy urządzeń, realizacji harmonogramów, alarmowanie o zaistniałych warunkach, rejestrację i archiwizację danych (np. w plikach CSV lub bazach danych SQL) oraz zdalny dostęp. Na podstawie obserwacji i analizy danych historycznych oraz posiadanych informacji dostarczanych w czasie rzeczywistym, a dotyczących stanu pracy odbiorów, można opracować dodatkowy podsystem doradczo-decyzyjny wspierający użytkownika w zarządzaniu energią w obiekcie. W obecnym kształcie omawianych standardów możliwe jest zrealizowanie funkcji „strażnika mocy”, który na podstawie odpowiednich pomiarów zużycia energii, będzie w stanie odpowiednio zarządzać pracą odbiorów.

Kolejną z funkcjonalności nowoczesnych systemów automatyki budynkowej, przydatną z punktu widzenia organizacji systemu zarządzania energią, jest możliwość obliczania czasu pracy poszczególnych odbiorów i na jego podstawie szacowanie zużycia energii. Rozwiązanie to może być przydatne w przypadku ograniczonych nakładów inwestycyjnych na dodatkowe urządzenia pomiarowe lub wykorzystywane podczas trudności w rozbudowie instalacji automatyki o jej kolejne elementy (np. brak miejsca w rozdzielni, utrudniony dostęp itp.). Zalecane jest, aby podejście takie dotyczyło obwodów mniej istotnych z punktu widzenia bilansu energetycznego lub których obciążenie jest stosunkowo jednorodne i niezmiennie w czasie pracy. Wprowadzenie takiego

rozwiązania może też mieć znaczenie dla służb odpowiedzialnych za utrzymanie instalacji i ciągłość pracy urządzeń. Ponadto daje możliwość odtworzenia danych o zużyciu energii podczas drobnych awarii systemu pomiarowego.

Należy nadmienić, że analizowane technologie automatyki budynkowej wspierają obsługę funkcjonalności zarządzania energią w obiektach, również poprzez odpowiednio przygotowane zmienne sieciowe i bloki funkcjonalne poszczególnych grup urządzeń, nie dedykowanych „z definicji” do realizacji systemów EMS. Przykładowo w standardzie LonWorks, profil funkcjonalny oświetlenia zewnętrznego (OLC) zawiera zmienną EnergyCnt odpowiedzialną za wstępny pomiar zużytej energii elektrycznej przez daną oprawę oświetleniową, której pracą zarządza moduł. Dodatkowo w profilu tym zaimplementowano zmienne sieciowe informujące o parametrach pracy instalacji jak np. pomiar dostarczanego napięcia zasilającego. W przypadku standardu KNX, w ramach profili funkcjonalnych odpowiadających za pracę instalacji HVAC, zaimplementowano zmienne EngDem lub StatusEco, dostarczające informacji dotyczących zapotrzebowania na energię lub wybór trybu oszczędnej pracy urządzeń. Przykładowo dzięki takim rozwiązaniom system jest w stanie podjąć decyzję dotyczącą załączenia odbioru w najbardziej optymalnym momencie, gdy cena energii jest najniższa. Wpisuje się to doskonale w perspektywę wdrożenia w systemach zasilania budynków funkcjonalności zarządzania popytem – wspomnianego już wcześniej rozwiązania Demand-Response.

## 4. Uniwersalne wytyczne w zakresie organizacji i ewaluacji zintegrowanych systemów EMS w budynkach

Projektowanie i organizacja funkcjonalna systemów EMS dla budynków to proces wieloetapowy, który wymaga zaangażowania różnych podmiotów uczestniczących i specjalistów wielu branż, związanych z budową nowego obiektu lub modernizacją już istniejącego. Jak już podkreślano w niniejszym raporcie mogą być one bardzo zróżnicowane, od całkowicie autonomicznych (w postaci osobnych, dedykowanych instalacji), po w pełni zintegrowane z platformami automatyki i zarządzania BMS, wspierające automatyczne działanie wybranych funkcjonalności automatyki na poziomie obiektowym. Warto podkreślić, że takie zaawansowane technicznie i funkcjonalnie systemy EMS, współpracujące z elementami systemów BMS obsługującymi urządzenia i podsystemy infrastruktury budynkowej, mogą w znaczącym stopniu przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej budynków.

### **Wytyczne i wskazówki dotyczące organizacji systemów EMS**

Pomimo tej różnorodności można jednak ustalić pewien kanon uniwersalnych wytycznych w zakresie organizacji przede wszystkim funkcjonalnej dla tego typu systemów, które to wytyczne zagwarantują wysoki poziom użyteczności systemu EMS.

#### **POMIAR I MONITORING – INSTALACJE**

Wszyscy eksperci branży systemów EMS podkreślają, że pierwszą i najważniejszą funkcjonalnością systemu zarządzania energią, nawet w najprostszej wersji, powinno być dokładne opomiarowanie budynku, zapewniające możliwość monitorowania zużycia energii i mediów. Jest to podstawowy czynnik warunkujący energooszczędną eksploatację budynku. Aby uzyskać pełny obraz zużycia mediów energetycznych, przynajmniej niektóre urządzenia pomiarowe planowane do montażu w budynku, powinny pozwalać nie tylko na odczyt ich zużycia: dla energii elektrycznej – kWh (lub MWh), ale także innych, pomocniczych parametrów określających własności medium i charakter odbiorników oraz przyłączonych do sieci zasilania urządzeń wykonawczych itp. W przypadku energii elektrycznej wynika to z faktu, że jej zużycie jest mocno uzależnione od jej jakości. Niedotrzymanie właściwego poziomu jakości energii elektrycznej przez dostawcę, może fałszować przyczyny zwiększonego zużycia energii wynikającego z eksploatacji urządzeń poza optymalnym obszarem

pracy i prowadzić w rezultacie do poszukiwań przez użytkownika błędnych dróg prowadzących do zmniejszenia zużycia. W związku z tym, przynajmniej główne liczniki zużycia energii elektrycznej powinny pozwalać na monitoring jak największej liczby parametrów tego medium.

Główne liczniki energii elektrycznej powinny umożliwiać pomiar następujących wielkości:

- energii czynnej całkowitej i poszczególnych fazach,
- energii biernej całkowitej i poszczególnych fazach,
- napięć fazowych,
- prądów fazowych,
- mocy czynnej i biernej,
- współczynnika mocy,
- dodatkowo – harmonicznym napięcia (wskaźniki THD).

Dlatego też na głównych przyłączach dużych budynków użyteczności publicznej, komercyjnych, przemysłowych, zaleca się we współczesnych instalacjach montaż tzw. analizatorów sieci zasilającej, czyli mierników energii wraz z pełnym zestawem dodatkowych parametrów jakościowych.

W instalacjach bardziej wymagających, gdzie niezbędne są pomiary zużycia energii lub mediów i/lub ich wybranych parametrów jakościowych również w wybranych obszarach budynków, poszczególnych pomieszczeniach, zaleca się montaż liczników i modułów pomiarowych na zasilających je liniach lub kanałach dostawczych mediów energetycznych. W przypadku instalacji elektrycznych możliwa jest instalacja liczników energii 3- lub 1-fazowych, z interfejsami komunikacji do sieci poziomego obiektowego lub z wyjściami impulsowymi. Te ostatnie wymagają dodatkowo instalacji odpowiednich koncentratorów danych, z wejściami cyfrowymi zliczającymi impulsy z liczników i przetwarzającymi je na komunikaty danych do systemu poziomego obiektowego lub nadrzędnego.

Potrzeby infrastruktury pomiarowej mogą być zdefiniowane przez przypisanie zużycia cząstkowego energii do poszczególnych obszarów zużycia: fizycznych (pomieszczenia, powierzchnie budynku) i funkcjonalnych. Powinno umożliwić to pomiary i późniejszą analizę zebranych danych zarówno na poziomie pojedynczych pomieszczeń, grup pomieszczeń i całych obszarów jak również dla pojedynczych urządzeń, grup urządzeń i całych podsystemów technicznych. Obszary fizyczne, będące jednorodnymi z punktu widzenia sposobu użytkowania powierzchniami, które zużywają znaczące ilości energii. Przykładowy podział może wyglądać następująco:

- otoczenie budynku (np. oświetlenie elewacji, skweru itp.),
- parkingi,
- obszary wspólne (np. korytarze, klatki schodowe, toalety itp.),
- pomieszczenia zajmowane przez użytkowników (wynajmowane, sale lekcyjne, sale szpitalne itp.),
- obszary wspólne o szczególnym charakterze (np. szatnia, pokój do odpoczynku itp.).

Dodatkowym kryterium podziału powyższych elementów, zwłaszcza w przypadku dużych powierzchni może być również podział na kondygnacje, niezależne części budynków itp.

Obszary funkcjonalne – związane z podsystemami technicznymi budynku i mające bezpośredni wpływ na efektywność energetyczną budynków:

- instalacje ogrzewania
- instalacje chłodzenia
- wentylacja i klimatyzacja
- oświetlenie i inne odbiorniki energii elektrycznej
- instalacje ciepłej wody użytkowej
- osłony przeciwsłoneczne

Punkty pomiarowe, zwłaszcza w przypadku pomiarów bezpośrednich (konieczność użycia licznika) powinny być zdefiniowane już na etapie projektu, a możliwość ich instalacji (podłączenia) zapewniona na etapie realizacji systemu, natomiast ich fizyczna instalacja może być zrealizowana w trakcie uruchamiania systemu pomiarowo-zarządzającego, ale też może się to odbyć już w trakcie eksploatacji budynku.

## INFRASTRUKTURA SYSTEMU POMIAROWEGO I ZARZĄDZANIA

Obszarami stosowania systemu EMS powinny być:

- Cała energia zużywana i ewentualnie produkowana
- Wszystkie obszary zużycia energii: ogrzewanie, wentylacja, ogrzewanie wody użytkowej, oświetlenie, urządzenia biurowe, itp.
- Wszystkie obszary budynku (części wynajmowane, części wspólne itp.)
- Wszystkie urządzenia, które zużywają lub ewentualnie wytwarzają energię
- Ewentualne zmiany w trakcie użytkowania budynku.

Obszary te determinują metodologię podejścia do projektowania systemów EMS oraz dobór dedykowanej do nich infrastruktury. Ich odpowiednia organizacja i zarządzanie energią mają również wpływ na wskaźniki efektywności energetycznej budynków. Jednym z czynników związanych z elementami infrastruktury energetycznej budynku, mającym bezpośredni wpływ na sposób organizacji i efektywność działania systemów EMS, jest sposób wykonania instalacji elektrycznej. Instalacja elektryczna powinna być podzielona na wiele, niezależnie sterowanych obwodów, co pozwala na selektywne załączanie tylko potrzebnych odbiorów oraz umożliwia pomiar zużycia energii przez poszczególne odbiory bądź grupy odbiorów.

Czynniki związane z infrastrukturą sterującą i monitorowania wpływające na efektywność energetyczną i możliwość jej poprawy można pogrupować jak następuje:

- zastosowanie indywidualnych mierników (liczników) zużycia poszczególnych mediów energetycznych. Możliwość pomiaru zużycia energii w poszczególnych pomieszczeniach pozwala porównywać zużycie w różnych miejscach budynku, analizować przyczyny różnic oraz stosować indywidualne dla pomieszczeń strategie oszczędzania. Poza tym znajomość rzeczywistego zużycia daje możliwość świadomego gospodarowania mediami i motywuje do ich oszczędzania,
- zastosowanie czujników parametrów powietrza wewnątrz i na zewnątrz dla zapewnienia sterowania ogrzewaniem i/lub klimatyzacją pod kątem redukcji zużycia energii przy zachowaniu założonego poziomu komfortu w pomieszczeniach i całym budynku,
- wykorzystanie algorytmów sterowania zaimplementowanych w sterownikach instalacji,
- wyposażenie budynku w jednolitą sieć sterującą pozwalającą zintegrować ze sobą instalacje: elektryczną, grzewczą i klimatyzacji. Zintegrowane sterowanie wszystkimi systemami budynku pozwala na bardziej efektywne gospodarowanie mediami energetycznymi.

Przedstawione czynniki i podział strukturalny oraz funkcjonalny dostępnej w różnego typu budynkach infrastruktury systemowej, wskazuje na kilka uniwersalnych wytycznych dla procesu projektowania systemu pomiarowo-zarządzającego, który można podzielić na kilka etapów:

1. Podział budynku na obszary o podobnym przeznaczeniu. Wydzielenie części wspólnych wewnętrznych oraz zewnętrznych obszarów zasilanych z budynku (np. oświetlenie parkingu).
2. Zdefiniowanie niezbędnych funkcjonalności pomiarowych i raportujących.
3. Zdefiniowanie funkcji zarządzających i przydzielenie w odpowiednich miejscach systemu sterującego zgodnie z ich obszarem stosowania. Daje to możliwość określenia poszczególnych funkcjonalności budynku, w ramach których można:
  - Realizować odpowiednie algorytmy dotyczące utrzymania temperatury w przypisaniu do indywidualnych obszarów
  - Stosować podsystemy ogrzewanie, wentylację i klimatyzację zgodnie z zapotrzebowaniem
  - Realizować właściwy podział kosztów energii na poszczególnych użytkowników, jeśli jest to wymagane
  - Definiować i monitorować wydajność energetyczną indywidualnie dla poszczególnych najemców.
4. Zdefiniowanie związanych z wydajnością energetyczną interfejsów pomiędzy systemem pomiarowo-zarządzającym, a pozostałymi podsystemami technicznymi budynku.

## ZINTEGROWANY SYSTEM EMS I BMS – WSPARCIE ZARZĄDZANIA ENERGIĄ I POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW

Systemy zarządzania energią EMS mogą stać się istotnym elementem wsparcia realizacji idei poprawy efektywności energetycznej budynków. Najwyższy wzrost tej efektywności uzyskać można przy realizacji w pełni zintegrowanych systemów EMS, współpracujących z BMS i innymi podsystemami infrastruktury budynkowej. Dlatego też przy pracach modernizacyjnych budynków oraz projektowych dla nowych obiektów zmianom musi ulec podejście do samego procesu projektowania proponowanych zmian i rozwiązań technologicznych oraz systemowych. W odniesieniu do budynków wyposażanych w systemy automatyki, monitoringu i zarządzania, podstawowym dokumentem z wytycznymi dotyczącymi ich wpływu na efektywność energetyczną jest norma PN-EN15232, gdzie wprowadza się m.in. obiektywne narzędzia do oceny wpływu systemów automatyki i sterowania budynków (BACS, BMS) oraz systemów technicznego zarządzania budynkami (TBM) na efektywność energetyczną obiektów budowlanych [26]. Osiągnięcie wysokiej efektywności energetycznej zależy jednak nie tylko od samych systemów sterowania i zarządzania, ale również od technologii systemów technicznego wyposażenia budynku, ( np. wentylacja, klimatyzacja, ogrzewanie) które muszą być podatne na projektowane i implementowane algorytmy sterowania, pozwalające ograniczyć zużycie energii i mediów energetycznych. Stąd konieczność kompleksowego podejścia do procesów projektowania, konsultacji wielobranżowych już na jak najwcześniejszych etapach prac projektowych i organizacyjnych.

### **Ewaluacja systemów EMS – szacowanie wpływu funkcjonalności i integracji na efektywność energetyczną budynków**

W celu wsparcia projektantów i integratorów systemowych, opracowujących założenia techniczne i funkcjonalne dla systemów EMS w budynkach, opracowano arkusz weryfikacyjno-ewaluacyjny. Może on być wykorzystany na kilka sposobów, w tym m.in.:

- w procesie ustalania wymagań użytkowników i inwestorów w zakresie doboru funkcjonalności systemów EMS, poziomu ich zaawansowania i szczegółowości oraz zakresu integracji z elementami systemów automatyki i zarządzania budynkiem BMS,
- przy opracowywaniu założeń projektowych i funkcjonalnych systemów EMS autonomicznych i/ lub integrowanych z platformami BMS
- w procesach szacowania wpływu zastosowanych funkcjonalności i rozwiązań techniczno-organizacyjnych systemów EMS na efektywność energetyczną budynków.

Funkcje, którymi może cechować się system zarządzania energią zostały wymienione w Tabelicy 1. Jak już wspomniano ma ona formę arkusza-listy weryfikacyjnej. Określono tu trzy kategorie charakteryzujące systemy EMS różnych typów i zastosowań, w różnorodnym stopniu oddziałujące na efektywność energetyczną budynków:

- Kategoria C odpowiada standardowemu systemowi EMS
- Kategoria B odpowiada bardziej zaawansowanemu funkcjonalnie systemowi EMS i niektórym określonym funkcjom technicznego zarządzania EMS – częściowe wsparcie integracji z systemami automatyki i BMS
- Kategoria A odpowiada wysoko zaawansowanemu funkcjonalnie systemowi EMS, z pełną integracją poziomu obiektowego i nadrzędnych funkcjami technicznymi zarządzania EMS w ramach platform systemowych BMS

W Tabelicy 1 określono listę funkcji odpowiadającą każdej z wymienionych kategorii.

Do kategorii C zalicza się systemy nie spełniające wymagań dotyczących minimalnego zestawu funkcji przynależnych kategorii B. Systemy tej kategorii odpowiadają tradycyjnym instalacjom rozliczeniowym i w większości przypadków utrudniają, a nawet uniemożliwiają, zrealizowanie systemów zarządzania energią, ze zautomatyzowaną obsługą urządzeń pomiarowych i infrastruktury budynkowej.

Aby system EMS mógł być zaliczony do kategorii B, oprócz spełnienia wymagań dla kategorii C, powinny zostać zrealizowane dodatkowe funkcje umożliwiające zbudowanie bardziej zaawansowanego systemu zarządzania energią. Należy wśród nich wymienić:

- taką organizację infrastruktury pomiarowej, która umożliwia oprócz pomiarów głównego punktu zasilającego, również opomiarowanie wybranych, z reguły bardziej znaczące odbiorów,
- zastosowanie interfejsów umożliwiających zdalny dostęp do danych i komunikację z urządzeniami pomiarowymi np. sieć Ethernet,
- automatyczne przetwarzanie danych pomiarowych (np. obliczanie minimalnego, średniego i maksymalnego zużycia energii za dany okres),
- umożliwienie częściowej integracji systemu pomiarowego z systemem zarządzania pracą różnych instalacji i podsystemów infrastruktury budynkowej,
- wykrywanie uszkodzeń, usterek systemów zasilania i dystrybucji energii i mediów i zapewnienie wspomagania, pomocy przy diagnostyce tych usterek.

**W przypadku nowo organizowanych/instalowanych systemów EMS zaleca się aby ich konstrukcja i funkcjonalność była zgodna co najmniej z kategorią B.**

Dla zaliczenia projektowanego czy modernizowanego systemu EMS do kategorii A, niezależnie od funkcjonalności wymaganych dla kategorii B, powinny zostać zrealizowane funkcje umożliwiające zbudowanie wysoko zaawansowanego systemu zarządzania energią. Zaliczają się do nich przede wszystkim:

- taka organizacja infrastruktury pomiarowej, która umożliwia pomiar wszystkich istotnych obwodów zasilających oraz szczegółowy pomiar dodatkowych wybranych parametrów sieci zasilającej,
- możliwość wydzielenia i opomiarowania obwodów zasilania według wskazań użytkowników/ inwestora (pojedyncze, wybrane obwody – oświetlenie, gniazda w wybranych pomieszczeniach itp.), również w odniesieniu do innych mediów energetycznych (ciepło, wentylacja itd.),
- zastosowanie interfejsów komunikacyjnych umożliwiających podłączenie modułów systemu EMS jako pełnoprawnych elementów systemu automatyki zastosowanego w danym obiekcie (węzły sieci automatyki i BMS),
- możliwość ciągłego przetwarzania danych pomiarowych i natychmiastowego informowania użytkownika o zaistniałych warunkach dotyczących zużycia energii oraz samodzielnego podejmowania decyzji w przypadku określonych zdarzeń,
- umożliwienie pełnej integracji systemu pomiarowego z systemem zarządzania pracą różnych instalacji – pełna integracja na poziomie obiektowym z określonymi elementami instalacji BMS,
- przedstawianie informacji, raportowanie, dotyczących zużycia energii, warunków wewnętrzne oraz możliwości udoskonaleń – organizacja systemu doradczego.

Tab. 1 – Kategorie systemów EMS wraz z listą funkcjonalności.

		Oznaczenia kategorii		
		C	B	A
<b>SPOSÓB ORGANIZACJI INFRASTRUKTURY POMIARU</b>				
1	Pomiar głównego punktu zasilającego - licznik główny			
2	Pomiar wybranych obwodów (głównie charakteryzujących się znaczącym obciążeniem)			
3	Pomiar wszystkich istotnych obwodów zasilających			
4	Dodatkowy pomiar szczegółowych parametrów pracy sieci (np. w przypadku energii elektrycznej U, I, cos, THD)			
<b>SPOSÓB KOMUNIKACJI (INFRASTRUKTURA OBSŁUGI DANYCH)</b>				
1	Ręczna			
2	Sieć teleinformatyczna (np. okablowanie strukturalne umożliwiające zdalny dostęp do urządzeń i danych pomiarowych)			
3	Sieć poziomu obiektowego systemów automatyki - umożliwiająca podłączenie urządzenia wyposażone w dane interfejsy komunikacyjne			
<b>SPOSÓB PRZETWARZANIA DANYCH POMIAROWYCH</b>				
1	Ręczny			
2	Automatyczny			
3	Monitoring w trybie On-line – bieżące informowanie użytkownika o zaistniałych warunkach			
4	Informowanie przez system nadrzędny oraz samodzielne podejmowanie decyzji			
<b>POZIOM INTEGRACJI EMS Z BMS – REALIZACJA FUNKCJI ZARZĄDZANIA (poziom integracji instalacji pomiarowej z systemem zarządzającym pracą pozostałych instalacji i podsystemów)</b>				
1	Brak			



2	Częściowa integracja (wymagający zastosowania dedykowanego sprzętu lub specjalnych narzędzi informatycznych) - poziom nadrzędnym			
3	Pełna, bezproblemowa integrację - poziom automatyki lub obiektowy			
<b>TECHNICZNE ZARZĄDZANIE EMS</b>				
Wykrywanie uszkodzeń, usterek systemów zasilania i dystrybucji energii i mediów i zapewnienie wspomaganie, pomocy przy diagnostyce tych usterek				
1	Nie			
2	Tak			
Przedstawianie informacji, raportowanie, dotyczących zużycia energii, warunków wewnętrzne oraz możliwości udoskonaleń				
1	Nie			
1	Tak			
<b>OBSŁUGA FUNKCJI PROSUMENCKICH (OPCJONALNIE)</b>				
1	Pomiar energii (zużycie)			
2	Rozliczanie dwukierunkowego przesyłu energii (pomiar i obsługa sprzedawanej energii)			
3	Pomiar parametrów jakości energii (*szczególnie dotyczy większych instalacji)			
4	Automatyczne zarządzanie produkowaną energią			
5	Wspieranie funkcji rynku Smart Grid - DR i DSM			

Największe wsparcie użytkowników i zarządców budynku w zakresie poprawy efektywności energetycznej oferują systemy EMS realizowane zgodnie z zaleceniami dla kategorii A, prezentowanej w Tabelicy 1.

Jak wskazują zapisy wspomnianej wcześniej w opracowaniu normy PN-EN 15232, dotyczącej organizacji systemów automatyki i zarządzania budynkami BACS – BMS, systemy tego typu zrealizowane wg zapisów i wskazań dla określonej w normie klasy A systemów BACS, gwarantują maksymalne wsparcie poprawy efektywności energetycznej budynków. Autorzy niniejszego raportu

wskazują, iż dodatkowo systemy zarządzania energią EMS, zaprojektowane i zrealizowane wg ogólnych wytycznych dla zaproponowanej kategorii A (Tablica 1), zintegrowane w ramach jednolitej platformy systemowej BMS i BACS, dodatkowo wspierają funkcjonalnie i technicznie kompleksowe działanie systemu zarządzania budynkiem, zasilaniem i mediami energetycznymi, w celu podniesienia efektywności energetycznej budynków.

#### Bibliografia:

- [1] P. Palensky, S. Member, and D. Dietrich, "Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [2] F. I. Vazquez and W. Kastner, "Usage profiles for sustainable buildings," *2010 IEEE 15th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. (ETFA 2010)*, pp. 1–8, Sep. 2010.
- [3] M. NOGA, A. OŻADOWICZ, J. GRELA, and G. HAYDUK, "Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Rev.)*, no. 6, pp. 227–233, 2013.
- [4] M. V. Moreno, B. Úbeda, A. F. Skarmeta, and M. a Zamora, "How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings?," *Sensors (Basel)*, vol. 14, no. 6, pp. 9582–614, Jan. 2014.
- [5] D.-M. Han and J.-H. Lim, "Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1417–1425, Aug. 2010.
- [6] C. Xingwang, W. Shujing, and W. Renlong, "LonWorks based standby electric equipment energy saving management system," in *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 2011, pp. 1533–1536.
- [7] R. Missaoui, H. Joumaa, S. Ploix, and S. Bacha, "Managing energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System," *Energy Build.*, vol. 71, pp. 155–167, Mar. 2014.
- [8] A. Al-Mulla and A. ElSherbini, "Demand management through centralized control system using power line communication for existing buildings," *Energy Convers. Manag.*, vol. 79, pp. 477–486, Mar. 2014.
- [9] A. OŻADOWICZ, "Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii–odbiorcy," *Energetyka Ciepła i Zawodowa*, pp. 109–112, 2013.
- [10] D. Jung, D. Lee, and S. Park, "Energy operation management for Smart city using 3D building energy information modeling," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 15, no. 8, pp. 1717–1724, Aug. 2014.
- [11] G. Levemore, *Building Energy Management Systems: An Application to Heating, Natural Ventilation, Lighting and Occupant Satisfaction*, 2nd ed. Taylor & Francis, 2002, pp. 1–31.
- [12] J. Grela and A. OŻADOWICZ, "Instalacja oświetlenia przestrzeni publicznych Street Lighting w technologii LonWorks – przykład aplikacji systemów automatyki budynkowej ukierunkowanej na poprawę efektywności energetycznej," in *Inteligentne Budynki - Nowe możliwości działania*, no. ISBN: 978-83-64275-20-3, J. Mikulik, Ed. Wydawnictwo LIBRON, 2014, pp. 215–236.
- [13] N. Langhammer and R. Kays, "Performance Evaluation of Wireless Home Automation Networks in Indoor Scenarios," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2252–2261, Dec. 2012.
- [14] S. H. Hong and S. H. Kim, "Integrated BACnet-ZigBee communication for building energy management system," in *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2013, pp. 5723–5728.
- [15] M. Jung, J. Weidinger, W. Kastner, and A. Olivieri, "Building Automation and Smart Cities: An Integration Approach Based on a Service-Oriented Architecture," in *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 2013, pp. 1361–1367.
- [16] S. Ramakrishnan and S. Ramakrishnan, "WoT ( Web of Things ) for Energy Management in a Smart Grid-Connected Home," *Issues Informing Sci. Inf. Technol.*, vol. 10, 2013.

- [17] J. Byun and S. Park, "Development of a self-adapting intelligent system for building energy saving and context-aware smart services," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 1, pp. 90–98, Feb. 2011.
- [18] A. C. Oezluek, J. Ploennigs, and K. Kabitzsch, "Designing building automation systems using evolutionary algorithms with semi-directed variations," *2010 IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, pp. 2328–2335, Oct. 2010.
- [19] F. Bernier, J. Ploennigs, D. Pesch, S. Lesecq, T. Basten, M. Boubekur, D. Denteneer, F. Oltmanns, F. Bonnard, M. Lehmann, T. L. Mai, A. McGibney, S. Rea, F. Pacull, C. Guyon-Gardeux, L.-F. Ducreux, S. Thior, M. Hendriks, J. Verriet, and S. Fedor, "Architecture for self-organizing, co-operative and robust Building Automation Systems," *IECON 2013 - 39th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, no. 1, pp. 7708–7713, Nov. 2013.
- [20] J. Young, "BloT BUILDING Internet of Things," *AutomatedBuildings.com*. [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [21] Memoori, "Building Automation Prepares for the Building Internet of Things (BloT)," *Memoori.com*.
- [22] J. Grela and A. Ożadowicz, "PORTFOLIO: Opracowanie analizy możliwości technicznych i funkcjonalnych integracji technologii Internetu Rzeczy w systemach automatyki budynkowej," 2014.
- [23] H. Dibowski, J. Ploennigs, and K. Kabitzsch, "Automated Design of Building Automation Systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 11, pp. 3606–3613, Nov. 2010.
- [24] A. Ożadowicz, "Automatyka budynkowa w realizacji systemów smart grid – energooszczędność i integracja na poziomie odbiorcy energii," *Wiadomości Elektrotechniczne*, no. 11, pp. 40–44, 2013.
- [25] A. OŻADOWICZ, "Systemy automatyki budynkowej jako element inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Metering i aktywny odbiorca," *Napędy i Sterow.*, no. 12, pp. 32–35, 2013.
- [26] EN-15232 Standard, "Energy performance of buildings - Impact of Building Automation, Controls and Building Management," 2012.
- [27] M. G. Ippolito, E. Riva Sanseverino, and G. Zizzo, "Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study," *Energy Build.*, vol. 69, pp. 33–40, Feb. 2014.
- [28] P. Kwasnowski, "Ocena wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232 Cz. 1," *Intel. Budynkek - Nowocz. Technol. dla inżynierów*, vol. 1, pp. 34–37, 2013.
- [29] "EMS - System ECV-10," 2014. [Online]. Available: <http://www.ems.gda.pl/index.php/oferta/system-ecv-10#.VE6pnxbVv1W>.
- [30] "Systemy zarządzania energią S-Energy Manager," 2014. [Online]. Available: <https://www.sabur.com.pl/nasza-oferta/systemy-zarzadzania-energia/>.
- [31] "Monitoring Solutions," 2014. [Online]. Available: [http://www.ccontrols.com/w/Monitoring\\_Solutions](http://www.ccontrols.com/w/Monitoring_Solutions).
- [32] "Open Energy Monitor," 2014. [Online]. Available: <http://openenergymonitor.org/emon/>.
- [33] "SEGmeter," 2014. [Online]. Available: <https://smartenergygroups.com/>.
- [34] LonMark, "Standard Program Identifier (SPID) Master List," 2014. [Online]. Available: [https://www.lonmark.org/technical\\_resources/resource\\_files/spid\\_master\\_list#DeviceClasses](https://www.lonmark.org/technical_resources/resource_files/spid_master_list#DeviceClasses).
- [35] KNX Association, "Introduction to KNX and Konnex," vol. 32, no. 0, 2004.
- [36] M. Ruta, F. Scioscia, E. Di Sciascio, and G. Loseto, "Semantic-Based Enhancement of ISO/IEC 14543-3 EIB/KNX Standard for Building Automation," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 731–739, Nov. 2011.
- [37] K. Kabitzsch and G. Stain, "NETWORK PROFILES FOR LON," 2000.
- [38] KNX Association, "Smart Metering with KNX," *KNX flyer*, 2013.
- [39] KNX Association, "Metering M-Bus."
- [40] KNX Association, "Metering E-Mode," pp. 1–38.



[41] KNX\_Association, *System Specifications Datapoint Types*. pp. 1–187.

**Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
budynek C-2 pokój 426 tel: 12 617 44 53 [www.isi.agh.edu.pl](http://www.isi.agh.edu.pl) [isi@agh.edu.pl](mailto:isi@agh.edu.pl)



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego