

## **SYSTEM AKWIZYCJI, REJESTRACJI I WSPOMAGANIA ANALIZY ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ**

**Grzegorz HAYDUK, Marcin JACHIMSKI, Paweł KWASNOWSKI, Zbigniew MIKOŚ, Grzegorz WRÓBEL**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
tel.: 12-617-2883 e-mail: [hayduk,jachim,kwasn,mikos,wrobel]@agh.edu.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono koncepcję i implementację systemu akwizycji i rejestracji zużycia energii elektrycznej. System został opracowany w ramach zadania badawczego pt. „Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach”<sup>1</sup> i użyty do monitorowania 87 liczników w trzech budynkach biurowych. Umożliwia również wspomaganie analizy zebranych danych wg różnych kryteriów, a co równie istotne, umożliwia integrację danych pochodzących z liczników z innymi danymi, np. pogodowymi czy z automatyki budynku. System z powodzeniem może być użyty do przetwarzania danych nie tylko z liczników energii elektrycznej, ale również liczników innych mediów występujących w budynku, jak woda, gaz oraz ciepło i chłód. W dalszej części przedstawiono również przykładowe analizy zebranych danych.

**Słowa kluczowe:** zbieranie danych, bazy danych, SCADA, analiza zużycia energii, SmartGrid, AMI.

### **1. WPROWADZENIE**

W niniejszej pracy przedstawione zostały wyniki badań prowadzonych nad opracowaniem i weryfikacją praktyczną systemu umożliwiającego zbieranie danych dot. zużycia mediów w budynkach i analizę tych danych.

#### **1.1. Cele opomiarowania**

Wprowadzanie opomiarowania zużycia energii – w przypadku dostawców energii elektrycznej realizowanego jako instalacja AMI (ang. Automated Meter Infrastructure) – ma podstawowe zadanie wyeliminowanie konieczności odczytu liczników przez inkasentów i zastąpienie tej czynności automatycznym odczytem, który ma odbywać się kontrolnie ze znacznie krótszym okresem. Pozwala to tworzyć charakterystyki zużycia w danym punkcie poboru (profil konsumenta), a w dalszym etapie daje możliwość przewidywania obciążenia w określonych porach doby, co jest to niezwykle istotne z punktu widzenia sieci przesyłowej i strat lub nawet awarii powodowanych przeciążeniami. Kolejnym krokiem, jaki realizuje się w koncepcji Smart Grid, to zapewnienie możliwości komunikacji również w drugą stronę – od dostawcy energii do odbiorcy końcowego, w celu zapewnienia możliwości oddziaływania na odbiorcę i wyrównywania w ten sposób obciążenia sieci przesyłowej energii elektrycznej (komunikacja dystrybutor-

odbiorca). Znane są mechanizmy udzielania bonusów za możliwość przesunięcia w czasie pracy pewnych urządzeń elektrycznych, które swoją pracę mogą wykonać w porze nocnej, gdy obciążenie sieci jest mniejsze.

Cel opomiarowania wykorzystania energii budynku wynika z tematyki zrealizowanego zadania badawczego i jest ściśle związany z budynkami wyposażonymi w automatykę. Ma umożliwiać kontrolę zużycia energii, identyfikację miejsc mających potencjał minimalizacji jej zużycia, a wreszcie dać możliwość porównania energochłonności różnych budynków i oceny efektów energetycznych zastosowanych algorytmów sterowania automatyką budynku. W rezultacie, może dać wskazówki dla opracowywania nowych algorytmów.

#### **1.2. Opomiarowanie w budynkach inteligentnych**

Współczesne budynki, w szczególności użyteczności publicznej i komercyjne wielko-powierzchniowe, takie jak biurowe, dydaktyczne, usługowe lub handlowe, wyposażane są w automatykę budynku. Coraz częstszą praktyką jest wyposażanie tych budynków w opomiarowanie zużycia mediów (nie tylko energii elektrycznej, ale również wody, gazu, ciepła technologicznego i chłodu technologicznego, zarówno z miejskiej sieci zasilania jak i wytwarzanego lokalnie). Opomiarowanie to realizowane jest nie tylko w punktach zasilania budynku (gdzie znajduje się licznik dostawcy danego medium), ale również dla podobszarów budynku: terytorialnych (np. kondygnacje) i technologicznych (np. zasilanie central wentylacji) w postaci podliczników. Często są one traktowane jako liczniki lokalne, a nie do celów rozliczeniowych z dostawcą energii.

Opomiarowanie zużycia mediów obejmuje wiele elementów: od samego licznika, poprzez transmisję danych do systemu nadrzędnego gdzie są rejestrowane, udostępniane i poddawane analizie. Wydaje się, że system powinien działać „bezobsługowo”, tj. nie wymaga bieżącego nadzoru operatora. System taki swoje korzyści ujawnia po miesiącach nieprzerwanej pracy. W praktyce okazuje się, że w takim horyzoncie czasowym pojawia się wiele usterek, które muszą być monitorowane na bieżąco. Są to usterki związane zarówno z podłączeniem samego licznika do mierzonego medium, związane z łączem komunikacyjnym (pojedynczego licznika lub całej grupy liczników) oraz (najrzadziej) systemem informatycznym zbierania i rejestracji danych. Z doświadczeń wynika, że czynnik ludzki ma istotny wpływ na ciągłość zbierania danych.

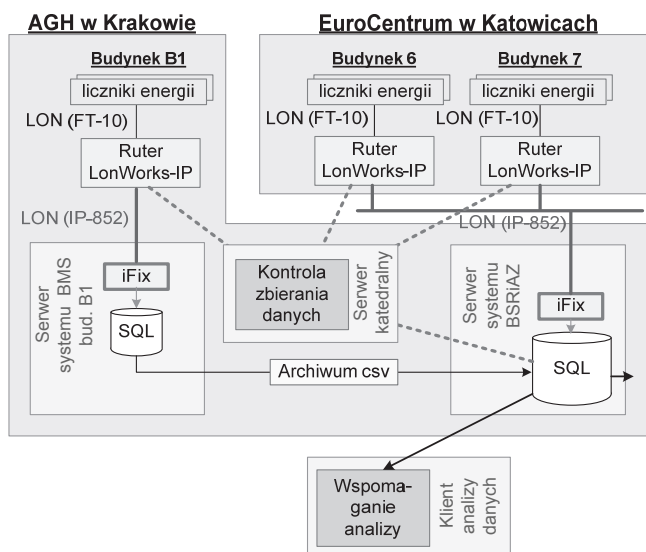
<sup>1</sup> Zadanie badawcze w ramach projektu strategicznego pt. „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków”, nr. SP/B/5/68017/10

Konieczne jest zaimplementowanie mechanizmów automatycznej weryfikacji poprawności zarówno procesu zbierania danych jak również wartości zarejestrowanych danych oraz powiadamiania (np. email, SMS) o stwierdzonych awariach. Reakcja na awarie musi być podejmowana przez różne służby, odpowiedzialne za dany budynek czy sieć komunikacyjną (np. administrator sieci IT nie jest odpowiedzialny za podłączenie licznika energii).

Korzystne z punktu widzenia architektury jak i ekonomicznego, jest włączanie systemu opomiarowania budynku w system nadrzędny BMS (ang. Building Management System) budynku. Pozwala to na korelację zużycia energii z trybem pracy urządzeń technologicznych (np. centrali wentylacji, agregatu chłodu, pompy ciepła, itd.), wykryciem obecności użytkowników, określonym trybem utrzymania komfortu czy wystąpieniem awarii w samym systemie automatyki (np. uszkodzenie wyjścia sterownika) oraz w infrastrukturze budynku (np. rozszczelnienie kanału wentylacyjnego).

## 2. ARCHITEKTURA BUDYNKOWEGO SYSTEMU REJESTRACJI I ANALIZY ZUŻYCIA

Poniżej zaprezentowano architekturę systemu BSRiAZ – Budynkowy System Rejestracji i Analizy Zużycia oraz budynki biorące udział w modelowej instalacji. Rysunek 1 przedstawia schematycznie strukturę systemu.



Rys. 1. Struktura BSRiAZ (Budynkowy System Rejestracji i Analizy Zużycia mediów)

Infrastruktura transmisji danych wykorzystywana jest do zdalnego odczytu liczników różnych typów (z użyciem tego samego protokołu), ze wszystkich trzech budynków do jednego centralnego repozytorium danych. W systemie wykorzystano protokół zgodny ze standardem PN-EN ISO/IEC 14908 [1] (pot. LonWorks, LON) do komunikacji z licznikami energii. Zastosowano dwa media transmisji: sieci lokalne oparte na skręconej parze przewodów w topologii swobodnej (TP/FT-10) oraz sieć IP (standard 14908-4, pot. LonWorks/IP lub IP-852). Połączono je ruterami, dzięki którym możliwa jest zdalna komunikacja oprogramowania LNS, serwera NLocpTE i klienta OPC systemu SCADA na komputerze zbierającym dane. Pozwoliło to zachować strukturę wymiany danych spójną z wdrożonym już systemem automatyki budynku, jego

systemem nadrzędnym BMS i jednocześnie obniżyć koszty implementacji.

Algorytmy wstępnego przetwarzania i unifikacji danych z liczników energii zostały zaimplementowane w tym samym środowisku co system BMS – programowalnym systemie SCADA/HMI – Proficy iFix. W kolejnym kroku dane trafiają do relacyjnej bazy danych (PostgreSQL), której struktura została specjalnie przygotowana dla celów niniejszego systemu. Natomiast dalsze przetwarzanie danych i wspomaganie ich analizy odbywa się z użyciem własnego oprogramowania, wspomaganego aplikacją gnuplot [2] użytą do generowania różnego rodzaju wykresów.

### 2.1. Opomiarowane budynki

System obsługuje liczniki energii w budynkach:

- B1 AGH w Krakowie – 10 liczników,
- B6 PNT EuroCentrum w Katowicach – 14 liczników,
- B7 PNT EuroCentrum w Katowicach – 63 liczniki.

W budynku B1, z uwagi na istniejącą sieć zasilania, liczniki mierzą zużycie lewej i prawej strony każdej kondygnacji (5 kondygnacji po 2 liczniki). Pozwalają na pomiar napięć i prądów fazowych oraz chwilowej mocy czynnej. Podłączone są do istniejącej sieci LON automatyki budynku B1 i zintegrowane są w jego systemie BMS. W dalszej kolejności, według harmonogramu raz na dobę, zarejestrowane dane są kopiowane do głównej bazy systemu BSRiAZ.

W budynkach EuroCentrum obwody zasilania pomieszczeń są rozdzielone (oświetlenie, gniazda komputerowe, gniazda zwykłe) i opomiarowane licznikami impulsowymi. Oprócz pomieszczeń, prawie wszystkie odbiory technologiczne (centrala wentylacyjna, pompa ciepła, itd.), opomiarowane są licznikami udostępniającymi napięcia i prądy fazowe, a niektóre liczniki również chwilową moc czynną, bierną i pozorną.

### 2.2. Liczniki energii

W systemie można wyróżnić dwa typy liczników, ze względu na ich możliwości komunikacyjne (a więc i zestaw dostępnych pomiarów):

- liczniki z wbudowanym interfejsem LON, które umożliwiają odczyt energii oraz napięć i prądów fazowych, mocy chwilowej czynnej (MGDIZ), a niektóre dodatkowo mocy biernej i pozornej (U1389),
- liczniki z wyjściem impulsowym, które generują impuls co określony przyrost energii (najczęściej co 0,1 kWh). Ich wyjścia impulsowe podłączone są do koncentratorów typu MMC, które zliczają liczbę impulsów z czterech liczników impulsowych.

Koncentratory te są wyposażone w interfejs LON, jednak ich zakres liczydła jest ograniczony do 32 bitów (dodatkowo liczby ze znakiem), co powoduje że okresowo liczydło się „przekręca” (ang. wraps), a system zbierania danych musi wykryć ten fakt i rejestrować w archiwum skorygowaną wartość zamiast tej odczytanej z koncentratora.

### 2.3. Infrastruktura komunikacyjna IP

Aby umożliwić zdalny dostęp do sieci LON w każdym z budynków, zostały użyte routery LINX-101. Pozwalają one na zdalny dostęp do wszystkich urządzeń w lokalnej sieci LON, zarówno w celu konfiguracji, diagnostyki jak i zbierania danych pomiarowych poprzez sieć IP.

## 2.4. Oprogramowanie systemu BSRiAZ

Na serwerze systemu BSRiAZ pracuje oprogramowanie (w Proficy iFix), które co 5 minut odczytuje, kondycjonuje i rejestruje dane z wszystkich liczników. Na podstawie bieżącej wartości energii (czynnej lub biernej) wyliczane są 5-minutowe oraz godzinowe przyrosty zużycia tej energii i zapisywane do relacyjnej bazy danych SQL. Łatwo policzyć, że samych rekordów 5-minutowych, przez okres jednego roku zostanie zgromadzonych 3 810 600.

Aby ograniczyć niebezpieczeństwo zakłócenia pracy komputera systemu BSRiAZ, udostępnianie zebranych danych do użytkownika (EuroCentrum), odbywa się dwoma torami: 1. poprzez eksport dobowych archiwów z zebranymi danymi na katedralny serwer www, skąd np. dyplomanci realizujący prace dyplomowe w EuroCentrum, mogą uzyskać do nich dostęp (łatwość np. importu do Excela poszczególnych dni), 2. poprzez bieżącą synchronizację z drugą bazą SQL na zapasowym serwerze, skąd można bezpiecznie wykonać zapytania nawet bardzo obciążające zapasowy serwer SQL, bez obawy o wydajność i bezpieczeństwo podstawowego serwera systemu BSRiAZ.

Oprogramowanie i struktura bazy danych uwzględnia różne zestawy danych dostarczanych przez poszczególne liczniki energii i koncentratory. W przypadku wdrożenia innych typów liczników, może być konieczne rozszerzenie oprogramowania o ich specyficzne cechy.

Monitoring pracy zbierania danych zrealizowany jest na osobnym serwerze uczelnianym, aby w przypadku awarii komputera systemu BSRiAZ nadal możliwe było powiadomienie o awarii systemu.

## 2.5. Baza danych i przetwarzanie danych pomiarowych

W bazie danych zdefiniowane zostały dwa rodzaje tabel:

- tabele danych pomiarowych,
- tabele wspomagające analizę.

Na potrzeby danych pomiarowych z liczników zostały zdefiniowane trzy tabele:

- tabela (meter\_defs) definicji liczników,
- tabela (meter\_time\_values) wartości odczytów 5-minutowych,
- tabela (meter\_time\_values\_1h) wartości godzinowych pomiarów.

Tabela definicji liczników służy do wyspecyfikowania liczników energii wykorzystywanych do zbierania danych. Definiuje ona liczbowy identyfikator licznika, budynek gdzie jest zainstalowany, symbol i numer licznika, opis oraz powierzchnię i kubaturę pomieszczeń zasilanych z obwodu, z którym licznik jest skojarzony. Kolumna symbolu licznika określa również typ licznika (czy jest to licznik impulsowy za wskazanym koncentratorem, czy licznik z własnym interfejsem). Kolumna opisu charakteryzuje licznik, tzn. określa czy jest on licznikiem głównym czy podlicznikiem innego licznika, gdzie jest zamontowany, które pomieszczenia lub kondygnację obsługuje, jaki jest to typ obwodu (oświetlenie, gniazda komputerowe, itd.). Doskonałym formatem do zapisu tego typu informacji o płynnej strukturze jest format JSON.

Kolumna symbolu i numeru licznika (np. EC-B7.RG-U1389-L56 – EuroCentrum, bud. B7, rozzd. główna, typ U1389, licznik 56) stanowi również podstawę do identyfikacji licznika w projekcie sieci LON (oprogramowanie LonMaker), serwerze danych NLOpcTE, jak i do określenia nazwy tagu w systemie SCADA, którego

wartość jest odczytem z licznika wstawianym do tabel meter\_time\_values oraz meter\_time\_values\_1h.

Tabela z odczytami i wyliczonymi wartościami godzinowymi, zawiera identyfikator licznika z tabeli meter\_defs i kolumny dla wszystkich możliwych odczytów (energia, prądy, napięcia i moce chwilowe).

Aproksymacja braków danych. Przy projektowaniu struktury bazy danych należy mieć na uwadze, że liczniki na pewno nie będą dostępne przez 100% czasu. Krótkie lub dłuższe przerwy w dostępności liczników lub nawet spowodowane restartami systemu BSRiAZ (aktualizacje Windows, inne prace konserwacyjne) spowodują braki danych w tabeli odczytów 5-minutowych lub nawet godzinowych. Należy zatem z góry zaplanować sposób odtwarzania lub aproksymacji tych danych (w najprostszym przypadku zakładając, że zużycie energii rosło liniowo od ostatniej znanej wartości przed brakiem komunikacji, do następnej znanej wartości po braku komunikacji). Bardziej zbliżone wyniki do rzeczywistych uzyska się uwzględniając profil obciążenia z tego samego okresu z poprzednich tygodni i dopasowując go do rzeczywistych wartości odczytanych z licznika przed brakiem komunikacji i po powrocie poprawnej komunikacji. Dodatkowo, warto przewidzieć w archiwum danych kolumnę przedstawiającą rodzaj danych: czy są to dane rzeczywiste czy aproksymowane. Kolejnym doświadczeniem z użytkowania systemu BSRiAZ jest przypadek złego skonfigurowania przekładników liczników. Wykrycie takiego faktu po kilku dniach spowodowało konieczność korekty konfiguracji licznika i przemnożenia danych w bazie danych zgodnie ze stosunkiem poprawna/niepoprawna przekładnia przekładnika prądowego.

Na podstawie odczytów 5-minutowych, wyliczane są wartości w tabeli godzinowego zużycia energii. Zdecydowano o utworzeniu takiej tabeli, gdyż większość przypadków analizy wymaga właśnie rozdzielczości godzinowej (lub jest ona wystarczająca), a dopiero przejście na poziom przekroczeń mocy 15-minutowej lub analizy 5-minutowej wymaga użycia tabeli, w której dane są wprost rejestrowane. Relacja pomiędzy mocami w tabeli 5-minutowej a 1-godzinnej jest następująca:

$$\begin{aligned} P_{5\min}(t) &= (E(t) - E(t - 5\min)) \cdot 12 \\ P_{1h}(t) &= (E(t) - E(t - 1h)) \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:  $E(t)$  – energia w chwili  $t$ ,

$P_{5\min}$  – moc 5-minutowa,  $P_{1h}$  – moc godzinowa

Na potrzeby analizy zużycia energii zostały zdefiniowane tabele:

- grup liczników (meter\_groups) oraz,
- grup grup liczników (meter\_gogs: group\_of\_groups).

Tabele te ułatwiają raportowanie zużycia energii w dowolnie predefiniowanych grupach pomieszczeń (np. zużycie na I piętrze, zużycie w pomieszczeniach laboratoryjnych budynku, itp.) lub zdefiniowanych rodzajach odbioru energii (np. zużycie na oświetlenie itp.).

Tabela grup liczników meter\_groups zawiera następujące definicje:

- grp\_name – nazwa grupy liczników,
- grp\_descr – opis grupy,
- met\_names – symbole liczników wchodzących w skład grupy odpowiadające symbolom w kolumnie nazwy tabeli definicji liczników meter\_defs.

- `met_ids` – identyfikatory liczników wyszczególnionych w kolumnie `met_names`, odpowiadające identyfikatorom liczników w tabeli definicji liczników.

Podobną, choć nieco prostszą strukturę ma tabela grup grup liczników `meter_gogs`. Znaczenie poszczególnych kolumn jest następujące:

- `gog_name` – nazwa grupy grup liczników
- `gog_descr` – opis grupy
- `grp_names` – nazwy grup liczników wchodzących w skład danej grupy odpowiadające symbolom w tabeli definicji grup liczników `meter_groups`.

W zależności od typu wybranej analizy, wartości z wszystkich liczników z grupy lub grupy grup są sumowane, przeliczane indywidualnie (raport rozkładu godzinowego) lub sumowane tylko w ramach grup z podanej grupy grup.

Dla przykładu, jeżeli analiza dotyczy pojedynczego licznika (np. EC-B6.L1) to w raporcie kolumnowym wysokość kolumny odzwierciedla zużycie energii wskazywane przez dany licznik w ciągu dnia, tygodnia, miesiąca.

Jeżeli analiza dotyczy grupy liczników (np. AGH-B1.Budynek) to w raporcie kolumnowym skumulowanym (tj. kolumna z podziałem na udziały) wysokość kolumny odzwierciedla zużycie energii wskazywanej łącznie przez wszystkie liczniki grupy, a części składowe kolumny (rys. 3) odzwierciedlają udział danego licznika w zużyciu łącznym.

Jeżeli analiza dotyczy grupy grup liczników (np. AGH-B1.Piętra) to w raporcie kolumnowym skumulowanym, wysokość kolumny odzwierciedla zużycie energii wskazywane łącznie przez wszystkie liczniki grupy, a każda składowa kolumny odzwierciedla udział danej podgrupy liczników (z całego piętra) w zużyciu łącznym (budynku).

Korelacja zużycia z danymi zewnętrznymi. W celu umożliwienia tworzenia analiz pokazujących zależności pomiędzy zużyciem energii a innymi danymi (np. temperaturą zewnętrzną, wewnętrzną, trybem pracy klimakonwektorów, obecnością, wschodem i zachodem słońca, itd.), zaprojektowane zostały tabele definiujące strukturę danych zewnętrznych. Dane są pochodzą z archiwum systemu BMS, jednak ich definicje umieszczono również w bazie systemu BSRiAZ. Zebrano je w tabeli `blk_defs` obejmującej następujące kolumny:

- `id` – liczbowy identyfikator zmiennej BMS,
- `blk_type` – typ zmiennej w systemie BMS: AI – analogowy, DI – dwustanowy,
- `blk_name` – nazwa zmiennej w archiwum historycznym systemu BMS,
- `blk_ioad` – adres w systemie BMS, skąd pochodzą dane,
- `dev_name` – nazwa urządzenia/sterownika w projekcie automatyki.

Tam gdzie jest to uzasadnione (np. stan obecności, tryb pracy klimakonwektora, temperatura wewnętrzna), dane z systemu BMS są agregowane dla podobszaru budynku objętego monitoringiem zużycia energii elektrycznej. Tzn. dla pomieszczeń opomiarowanych konkretnym licznikiem, wyliczono godzinowe wartości maksymalne, minimalne i średnie temperatury. Podobnie dla biegu wentylatora klimakonwektora. Natomiast dla stanu obecności zgłaszanego przez czujki ruchu systemu BMS, wyliczono procentowy udział czasu w którym obecność była wykryta, osobno dla każdej godziny (maksymalny, średni i minimalny z danej grupy pomieszczeń).

Dane agregowane powstają poprzez odczytywanie surowych danych z systemu BMS, wyliczenie ich i zapamiętanie w tabeli `blk_hist` systemu BSRiAZ. W poszczególnych kolumnach tabeli `blk_hist` znajdują się następujące dane:

- `blk_id` – liczbowy identyfikator bloku z tabeli `blk_defs`,
- `tstamp` – znacznik czasu (pełna godzina lub doba),
- `value` – zagregowana wartość zmiennej,
- `agr_type` – rodzaj wartości przedstawionej w kolumnie `value`. Możliwe są następujące wartości:
  - 1 – minimum godzinowe,
  - 2 – średnia godzinowa,
  - 3 – maksimum godzinowe,
  - 4 – minimum dobowe,
  - 5 – średnia dobowa,
  - 6 – maksimum dobowe.

### 3. RAPORTOWANIE ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Z wyników pomiarów zgromadzonych w bazie danych, można uzyskać surowe dane w postaci tabelarycznej. Aby móc je przeanalizować, należało te dane przetworzyć – zgrupować, zagregować, skorelować (np. z temperaturą zewnętrzną, z pomiarami z różnych kondygnacji lub wężów z różnych budynków). W tym celu opracowano oprogramowanie generujące raporty zużycia energii elektrycznej. Raporty są parametryzowane pod względem:

- raportowanego okresu czasu,
- rozdzielczości (granulacji) czasowej,
- sposobu przedstawiania danych na wykresie,
- wyboru liczników energii lub ich grup,
- znaczenia grup (jako suma liczników lub zestaw osobno przedstawianych liczników),
- zakresu osi Y.

Zostało utworzone oprogramowanie do generowania kilku typów raportów (od R01 do R05), przedstawiających dane w postaci wykresu oraz zestawienia tabelarycznego.

#### 3.1. Raport R01 bezwzględnego i względnego zużycia energii elektrycznej

Raport przedstawia bezwzględne zużycie energii elektrycznej (EE) z podanego licznika lub grupy liczników w postaci wykresu słupkowego, opcjonalnie zsumowane, dla różnych kroków czasowych (np. tydzień, miesiąc). Pod wykresem, w celu umożliwienia odczytu dokładnych wartości liczbowych, dane pomiarowe zostały przedstawione w formie tabelarycznej.

Raport występuje w dwóch podtypach: jako osobne zużycie energii elektrycznej niesumowane (rys. 2a - raport nieskumulowany) lub zsumowane (rys. 2b - raport skumulowany). W dobry sposób obrazuje on całkowitą ilość zużytej EE w przedstawionym okresie i ułatwia porównanie zużycia jednego licznika, w stosunku do ilości zmierzonej energii przez inne liczniki z podanej grupy liczników.

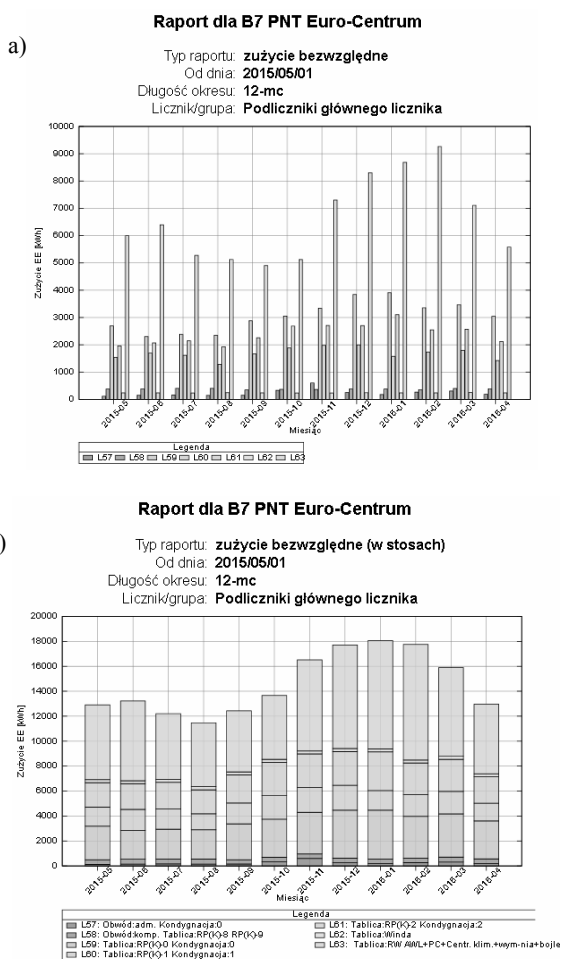
Rozpatrywanie zużycia EE każdego licznika zsumowanych z odpowiednim krokiem czasowym, dostarcza niezbędnych informacji istotnych z punktu widzenia rozliczeń energii elektrycznej. Zgromadzone dane pomiarowe można rozpatrywać i wykorzystywać do prowadzenia rozliczeń w kontekście całego budynku, poszczególnych pięter, czy danego najemcy. Analizowanie bezwzględnego zużycia EE z całego miesiąca, tj. przy kroku czasowym równym miesiąc, na przestrzeni roku lub kilku lat, pozwala na wyznaczenie i porównanie zużycia EE danego najemcy pomiędzy poszczególnymi miesiącami lub

rok do roku. Taka obserwacja w przyszłości może posłużyć do prognozowania zapotrzebowania EE dla konkretnych najemców lub całych kondygnacji, itd. Natomiast porównanie wartości bezwzględnej z krokiem 7 dniowym, daje informacje przydatne w odpowiednim doborze taryf w różnych okrasach czasu. Przedstawienie zużycia EE w kWh·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup> umożliwia łatwiejsze porównanie ilości zużytej energii pomiędzy odbiorcami, którzy użytkują pomieszczenia o różnej powierzchni. Porównując raporty grup liczników (np. podliczniki licznika głównego lub liczniki na piętrze) bezwzględnej wartości zużycia z wartością przeliczoną na m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>, trafniejsze jest analizowanie wykresów w formie stosu, a nie osobnych kolumn.

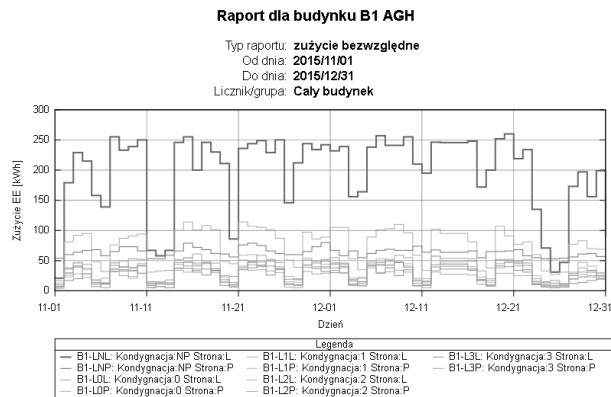
### 3.2. Raport R02 dobowego zużycia energii elektrycznej

Kolejny raport przedstawia dobowe zużycie w kWh każdego licznika z osobna w postaci linii schodkowej (przykład na rys. 3). Na osi pionowej reprezentowana jest ilość zużytej energii elektrycznej w kWh, a na osi poziomej doby zadanego okresu czasu. Raporty przedstawiają zużycie pewnych wybranych na podstawie analiz grup liczników jak np. podliczniki licznika głównego całego budynku lub liczniki danego piętra. Raporty te obrazują i umożliwiają analizę bezpośredniego zużycia energii w kroku dobowym w skali wybranej ilości miesięcy.

Podobnie jak dla raportu R01, opracowano również wykresy przedstawiające dobowe zużycie przeskalowane na kWh·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. Taka forma prezentacji daje informację o ilości energii elektrycznej przeliczonej na powierzchnię, przedstawionej w dobowych okresach czasu.



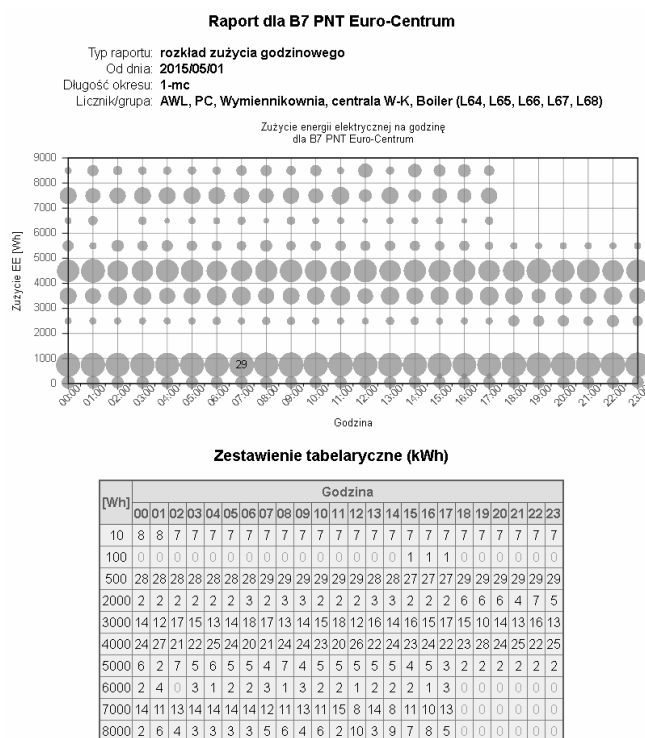
Rys. 2. Przykładowy raport bezwzględnego zużycia EE – a) nieskumulowany, b) skumulowany



Rys. 3. Przykładowy raport zużycia dobowego

### 3.3. Raport R03 rozkładu godzinowego zużycia energii elektrycznej

Raport prezentuje rozkład zużycia EE na przestrzeni doby (w kwantach godzinowych) dla zadanego okresu (będącego wielokrotnością doby). Formy graficzna i tabelaryczna przedstawiają te same dane (rys. 4). Tabela w kolumnach (oś X „wykresu”) zawiera wszystkie godziny doby (np. 01:00 oznacza zużycie pomiędzy 01:00 a 01:59), a w wierszach (oś Y „wykresu”) przedziały pobieranej energii (np. 1000 oznacza zużycie godzinowe od 1000 Wh do 1999 Wh, 2000 oznacza od 2000 Wh do 2999 Wh, itd.). Przedziały zużycia energii są predefiniowane i istnieje możliwość zadania ich jako parametru raportu. Ostatni przedział zawiera zużycie energii bez górnej granicy, np. 9000 Wh oznacza zużycie większe niż 9 kWh.



Rys. 4. Przykładowy raport rozkładu zużycia energii

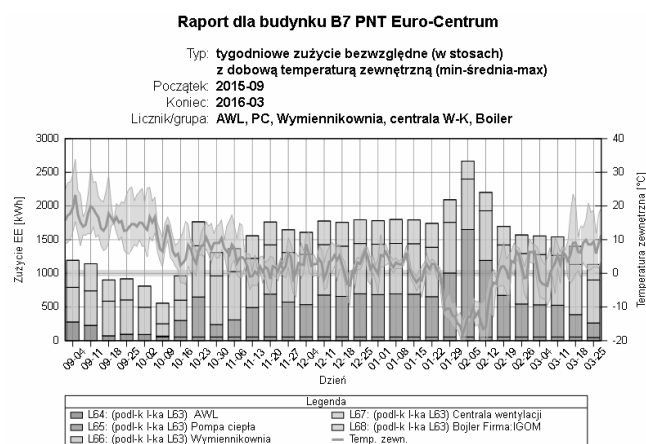
Podczas generowania raportu, dla każdej doby raportowanego okresu czasu, sprawdzane jest zużycie dla każdej godziny doby i na tej podstawie wyznaczana jest komórka tabeli, której wartość jest zwiększana o 1. Przykładowo, wartość w komórce (11:00 ; 1000 Wh) wynosząca 25 oznacza, że znaleziono 25 przypadków (nie

koniecznie pod rząd) gdzie godzinowe zużycie z godziny 11:00 mieściło się w przedziale 1000-2000 Wh.

Raport może być wygenerowany dla pojedynczego licznika lub grupy liczników, przy czym dla grupy liczników może zostać zastosowany tryb sumowania, w którym wyznaczana jest suma zużycia za daną godzinę wszystkich liczników grupy i zwiększona zostaje jedna komórka reprezentująca sumaryczne zużycie wybranej grupy liczników. Ten typ raportu również jest przeliczany na  $m^2 \cdot rok^{-1}$ .

### 3.4. Raport R04 bezwzględne zużycia z korelacją do danych zewnętrznych

Raport ten prezentuje bezwzględne zużycie w postaci wykresów słupkowych na tle temperatury zewnętrznej (prezentowanej jako obszar pomiędzy dobowym minimum i maksimum oraz linią reprezentującą średnią temperaturę dobową). Słupki obrazują tygodniowe zużycie EE (rys. 5).



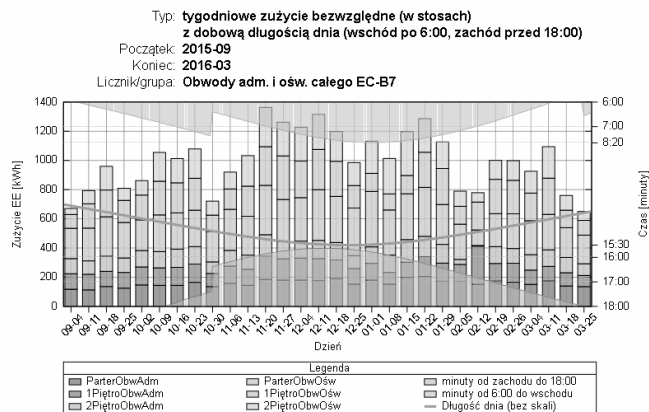
Rys. 5. Przykład raportu z danymi zewnętrznymi

Obserwacja wykresów w formie raportów typu R01 i R04 dostarcza tych samych informacji. Natomiast opisany raport przydatny jest przy analizie np. licznika zużycia energii elektrycznej przez centrale wentylacyjno-klimatyzacyjną czy pomieszczenia wyposażone w klimakonwektory. Uzasadnione jest też porównywanie takiego zużycia EE na tle temperatury zewnętrznej. Podobnie jak we wcześniejszych typach raportów przygotowano grupę wykresów przeliczoną na  $m^2 \cdot rok^{-1}$ . Ten typ raportów dobrze obrazuje jednostkowe zużycie w relacji do temperatury zewnętrznej. Z opisanych typów raportów można wyciągnąć szereg interesujących wniosków oraz założeń przydatnych do optymalizacji obiektu.

### 3.5. Raport R05 bezwzględne zużycia z korelacją do oświetlenia słonecznego

Ostatnim typem jest raport przedstawiający zużycie energii mierzonej przez pojedynczy licznik lub grupę liczników, z tygodniowym sumowaniem, na tle czasu wschodu i zachodu słońca oraz długości dnia (rys. 6). Ma on zastosowanie głównie dla analizy zużycia energii na cele oświetleniowe. Na wykresie zamieszczono poziome linie na godzinach: 7:00, 8:20, 16:00 i 17:00. Gruba brązowa linia obrazuje długość dnia (wartość nie odnosi się do żadnej osi Y), zamieszczona w celu pokazania minimalnej i maksymalnej długości dnia.

### Raport dla budynku B7 PNT Euro-Centrum



Rys. 6. Przykład raportu R05 z czasem wschodu i zachodu słońca oraz długością dnia

Podobnie jak w raporcie typu R01 lub R04, można prowadzić obserwację pojedynczych liczników lub grup liczników. Opisany typ raportu umożliwia analizę zużycia energii w korelacji do długości dnia, czasu między godziną 6 a wschodem słońca lub między zachodem, a godziną 18:00. Są to godziny użytkowania oświetlenia administracyjnego w budynkach użyteczności publicznej czy biurach.

## 4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono problemy akwizycji i długoterminowej rejestracji danych z liczników mediów stosowanych w połączeniu z systemami automatyki budynku i systemami nadrzędnymi BMS. Przedstawiono architekturę wdrożonego systemu rejestracji i analizy zużycia mediów. Pokazano, że dzięki zastosowaniu IP jako medium komunikacyjnego dla protokołu wymiany danych z licznikami (sam protokół IP nie zapewnia odpowiednich struktur danych), w jednym systemie mogą być zintegrowane budynki również odległe geograficznie. Daje to możliwość ich szczegółowego porównywania. Konieczne jest jednak zapewnienie monitoringu ciągłości rejestracji na wielu etapach, aby zapewnić kompletność zarejestrowanych danych. Stanowi to bardzo istotny czynnik dla zapewnienia możliwości analizy danych w dłuższym horyzoncie czasowym (miesiące, lata).

Problemem jaki należy rozwiązać przy budowie takiego systemu jest również wstępne przetwarzanie danych z liczników energii w celu zapewnienia poprawności danych („przekrecanie się” liczników lub rozbieżności pomiaru na dwie wartości - MWh i Wh) i unifikacji (np. jednostka kWh i rozdzielczość 0,1).

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Hayduk G., Kwasnowski P.: Wprowadzenie do technologii LonWorks, Zeszyt 29. INPE, Czerwiec 2010.
- gnuplot manual, [www.gnuplot.info/documentation.html](http://www.gnuplot.info/documentation.html)

## **ELECTRICITY CONSUMPTION ACQUISITION, RECORDING AND ANALYSIS GUIDANCE SYSTEM**

The paper presents a concept and implementation of electricity consumption acquisition and recording system. The system was built as a part of research work entitled "Optimization of electricity consumption in buildings" and used to monitor 87 electricity meters in three different buildings. It also supports the user in analysis of collected data using different criterion, and allows to integrate meters data with other types of data, e.g. recorded outside temperature and humidity, sunrise and sunset, operation modes of technological installations of the building (HVAC AHUs, VAVs, chillers, heat pumps) and room control (occupancy, lighting mode, room temperatures) and even failures in building construction, its installations or the automation.

The system relies on general assumptions which allow to apply not only electricity meters, but also other media meters, e.g. water, gas, technological heat and cold. Furthermore, the paper presents example analysis performed in the buildings mentioned earlier.

**Keywords:** data acquisition, databases, SCADA, energy consumption analysis, Smart Grid, AMI.

