

# SYSTEMY MONITOROWANIA ZUŻYCIA MEDIÓW W BUDYNKACH

Autorzy: Zygmunt Kubiak, Andrzej Urbaniak

(„Rynek Energii” – październik 2009)

**Słowa kluczowe:** inteligentne pomiary, interfejsy liczników mediów, standardy komunikacyjne

**Streszczenie.** Przedstawiono koncepcje rozwiązań nowoczesnych systemów monitorowania zużycia mediów w budynkach i wskazano na ich możliwe kierunki rozwoju. Dokonano reprezentatywnego przeglądu urządzeń do pomiaru zużycia energii elektrycznej, wody, gazu i ciepła ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań umożliwiających zdalny przekaz informacji. Przeanalizowano zalety i wady stosowanych interfejsów pomiarowych pod kątem tworzenia zintegrowanego systemu monitorowania wykorzystania wszystkich mediów w budynku. Omówiono różne koncepcje automatyzacji pomiarów i podano zasady opracowane przez międzynarodowe konsorcja i stanowiące propozycje standaryzacji zintegrowanych rozwiązań. Szczególny nacisk położono na rozwiązania bezprzewodowe zgodne z normami europejskimi.

## 1. WPROWADZENIE

Postać udostępnianej informacji o zużyciu medium jest różna. Aktualnie produkowane liczniki energii elektrycznej dostarczają pełnej informacji o zużyciu energii, natomiast przykładowo pomiar ciepła bezpośrednio w mieszkaniach w budynkach wielorodzinnych realizowany jest metodą bardzo uproszczoną za pomocą tzw. podzielników ciepła. Obecnie trwają intensywne prace badawcze i rozwojowe w kierunku tzw. inteligentnych pomiarów (ang. *Smart Metering*) realizowanych automatycznie i zdalnie. Szczególna uwaga zwrócona jest na technologie bezprzewodowej transmisji małej mocy. Dostępne są już pierwsze elektroniczne urządzenia pomiarowe z dostępem radiowym. O znaczeniu poruszanych w artykule zagadnień świadczy ogromne zainteresowanie tą dziedziną zarówno w obszarze nauki jak i wśród producentów. Przykładem może być utworzenie konsorcjum ESMIG (ang. *European Smart Metering Industry Group*), którego jednym z zadań jest rozwój mierników nowej generacji dla potrzeb Unii Europejskiej [14]. Podstawowym celem ESMIG jest tworzenie i wprowadzanie zgodnych jednolitych standardów pomiarowych i komunikacyjnych oraz identyfikacja i promowanie najlepszych praktycznych rozwiązań dla inteligentnych wielofunkcyjnych pomiarów.

## 2. METODY AUTOMATYZACJI POMIARÓW

Wprowadzając nowe technologie w zakresie pozyskiwania pomiarów dotyczących zużycia drobnych i rozproszonych odbiorców energii elektrycznej i innych zasobów jak gaz, woda, ciepło itp. należy uwzględnić trzy główne metody rozwiązania tego problemu tzn.:

- metoda „inkasenta”,
- metoda AMR (ang. *Automatic Meter Reading*),
- metoda pośrednia.

**Metoda „inkasenta”** polega na odczycie danych w odstępach liczonych w wielokrotnościach miesiąca. W tym rozwiązaniu pozyskiwanie pomiarów z reguły realizowane jest przez dostawców poszczególnych mediów. Osoba zbierająca odczyty nie musi mieć bezpośredniego dostępu do urządzeń pomiarowych. Stanowi to niewątpliwą zaletę ponieważ odczyty mogą być prowadzone w dowolnych terminach bez wizyt w mieszkaniach. Ponadto dane zbierane są w postaci cyfrowej, co upraszcza ich dalsze przetwarzanie. Stosowane mogą być prostsze rozwiązania bezprzewodowych sieci sensorowych (WSN ang. *Wireless Sensor Networks*) typu „one hop”, tzn. takie gdzie węzły odbiorcze (cele

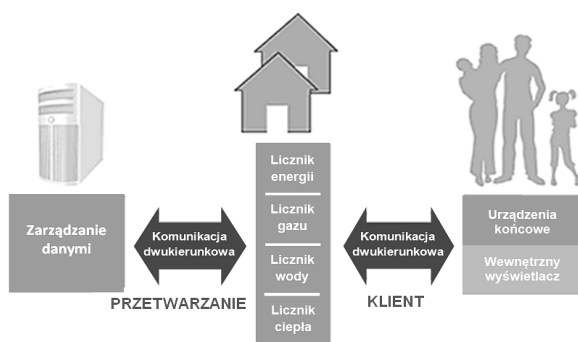
przekazywanych wiadomości) znajdują się w bezpośrednim zasięgu węzłów nadawczych (źródła wiadomości) – nie wykorzystywane są metody rutowania (wyznaczania i utrzymania trasy pakietów). Takie zadania mogą być realizowane przy pomocy prostych protokołów transmisyjnych a to oznacza tańszą konstrukcję węzła oraz krótszy czas przetwarzania, przygotowania i transmisji pakietów. Stwarza to również możliwości oszczędności energii, co jest istotne dla węzłów zasilanych bateryjnie.

Pełna **metoda AMR** jest tutaj rozumiana jako w pełni automatyczne zbieranie danych dotyczących zużycia przez rozproszonych odbiorców różnego rodzaju zasobów i energii, które gromadzone są we wspólnej bazie danych z okresem licznym w godzinach. Zaletami takich rozwiązań są niskie koszty instalacji i eksploatacji. Wynikają one z jednolitego rozwiązania sprzętowego i programowego w miejscach pozyskiwania danych, dalej ze wspólnego systemu archiwizacji danych. Poszczególni dostawcy mediów komunalnych uzyskują dostęp do szczegółowych danych (ale tylko własnych), które pozwalają na precyzyjną, racjonalną gospodarkę sprzedawanymi dobrami. Selektywny dostęp do bazy danych mogłyby mieć też przykładowo państwowe organizacje zajmujące się statystyką w gospodarce, policja czy instytucje opieki społecznej np. w celu potwierdzenia aktywności podopiecznych. Trzeba również wspomnieć, że AMR podobnie jak inne atrybuty nowoczesności typu telefon komórkowy, karta kredytowa wprowadzają ograniczenie prywatności, ale jest to odrębne zagadnienie.

Rozszerzeniem idei AMR jest *Smart Metering* [14] – do systemu pomiarów rozproszonych wprowadzona zostaje dwukierunkowa wymiana danych co znacznie rozszerza jego możliwości, np. pozwala na zdalną modyfikację oprogramowania urządzeń pomiarowych, przekazywanie klientom dodatkowych informacji eksploatacyjnych i handlowych itp.

**Metoda pośrednia** zawiera rozwiązania zawarte pomiędzy pełną AMR a metodą „inkasenta”. Stanowi najbardziej prawdopodobną drogę rozwoju systemów zdalnego pozyskiwania danych głównie ze względu na rozbieżności interesów poszczególnych dostawców mediów komunalnych. Wyjściem mogłaby być niezależna instytucja zajmująca się zbieraniem, wstępnym przetwarzaniem i udostępnianiem danych pomiarowych.

Technologie *Smart Metering* mają tworzyć dwukierunkowy kanał informacji między licznikami a końcowymi odbiorcami energii oraz systemami zarządzania (rys. 1).



**Rys. 1.** Komunikacja w Smart Metering [14]

Systemy pomiarowe powinny umożliwiać automatyczny odczyt danych pomiarowych i ich archiwizację łącznie z opisem; powinny automatyzować proces przetwarzania, zarządzania oraz korzystania z danych pomiarowych; powinny dostarczać pełnych informacji na temat zużycia energii, łącznie z kosztami emisji dwutlenku węgla, zdalnie (dane historyczne) lub lokalnie dla klientów (dane w czasie rzeczywistym); powinny sprzyjać wzrostowi efektywności wytwarzania energii oraz zachęcać do bardziej racjonalnego użytkowania zasobów energetycznych.

Smart Metering powinny zapewniać:

- dokładny pomiar zużycia energii elektrycznej, gazu, wody lub ciepła,
- infrastrukturę transmisji danych,
- środowisko informatyczne dostosowane do ilości danych,
- system fakturowania zorientowany na konsumenta,
- lokalne wyświetlanie danych o zużyciu energii.

Podstawowym wymogiem jest standaryzacja nowych technologii i systemów w celu umożliwienia skutecznej integracji poszczególnych elementów i dlatego członkowie ESMIG biorą udział w międzynarodowych komitetach normalizacyjnych takich jak:

- IEC (ang. *International Electrotechnical Commission*),
- CENELEC (ang. *European Committee for Electrotechnical Standardization*),
- CEN (ang. *European Committee for Standardization*),
- WELMEC (ang. *Western European Legal Metrology Cooperation*)
- ETSI (ang. *European Telecommunications Standards Institute*).

Inteligentne systemy pomiarowe będą działać jak katalizator dla innych rozwiązań technologicznych, takich jak inteligentne domy i mieszkania.

### **3. LICZNIKI MEDIÓW I ICH INTERFEJSY**

Firmy produkujące liczniki zużycia mediów wyposażają swoje urządzenia w różne możliwości komunikacyjne. Ma to na celu umożliwienie coraz powszechniej stosowanego zdalnego odczytu liczników oraz poznanie bardziej szczegółowych danych na temat zużycia mediów [10].

Rozwiązania stosowane w warunkach przemysłowych powinny spełniać nie tylko wymagania czasu rzeczywistego ale również ostre warunki dotyczące bezpieczeństwa transmisji danych. Odbiorca musi mieć pewność, że dane, które do niego docierają są identyczne z danymi, które wysłał nadawca (integralność danych). Cel ten jest osiągalny za pomocą zabezpieczeń nadmiarowych treści pakietu (słowo kontrolne). W przypadku sieci radiowych bardzo istotna jest również poufność transmisji. Transmitowane dane powinny być nieczytelne dla nieupoważnionych stron (osób lub procesów). Realizacja tej kwestii wymaga użycia metod szyfrowania.

#### **2.1. Liczniki mediów**

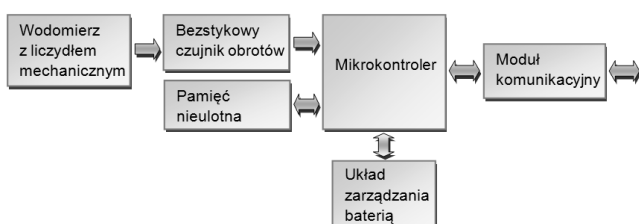
##### **2.1.1. Liczniki wody**

Liczniki wody z reguły są układami mechanicznymi. W domach jednorodzinnych i wielorodzinnych stosuje się wodomierze wirnikowe (skrzydełkowe, turbinkowe), śrubowe (dla większych przepływów) i rzadziej objętościowe (tłokowo obrotowe). Pierwsze z nich montowane są w domach jednorodzinnych i w mieszkaniach jako wodomierze główne. Natomiast wodomierze śrubowe używane są w budynkach wielorodzinnych do pomiarów zbiorczych. W tych rozwiązaniach ruch wody napędza wirnik, śrubę lub tłok obrotowy. Obroty części pomiarowej przenoszone są na kółka zębate połączone z licznikiem mechanicznym wyskalowanym w jednostkach przepływu. Wodomierze instalowane w mieszkaniach dzielą się na mokrobieżne, w których mechanizm liczydła zanurzony jest w wodzie lub cieczy separują-

cej (glicerynie) oraz suchobieżne, w których licznik mechaniczny oddzielony jest od mierzonego medium a napęd od wirnika (turbinki) przekazywany jest do licznika zazwyczaj za pomocą sprzęgła magnetycznego. Wodomierze wirnikowe wytwarzane są jako jednostrumieniowe (JS) i wielostrumieniowe (WS). W typie JS woda dopływa do wodomierza jednym zwartym strumieniem, a w przypadku WS kilka strumieniami rozmieszczonymi symetrycznie wokół wirnika. Wodomierze WS są dokładniejsze.

Systemy zdalnych odczytów wymagają sygnału elektrycznego na wyjściu urządzeń pomiarowych. Nowe rozwiązania wodomierzy przystosowane są do montażu przystawek elektronicznych. W niektórych wykonaniach przystawka stanowi moduł konstrukcyjny wodomierza. Ruch obrotowy wybranych elementów licznika, proporcjonalny do przepływu, zamieniany jest na ciąg impulsów za pomocą układów magnetycznych (kontaktrony - w starszych wersjach), indukcyjnych albo optoelektronicznych. Producenci wycofują się z impulsatorów kontaktronowych ze względu na dużą zawodność i łatwość zakłóceń przy pomocy zewnętrznych magnesów. W nowszych rozwiązaniach rozpoznawany jest kierunek przepływu co umożliwi kompensowanie przepływu wstecznego i w rezultacie zapewnia zgodność pomiaru elektronicznego z licznikiem mechanicznym. Moduły elektroniczne wyposażone są zazwyczaj w jeden z czterech typów wyjść: impulsowe, RS232/RS485, M-BUS i radiowe. Najprostszym i jednocześnie najbardziej uniwersalnym rozwiązaniem jest wyjście impulsowe – łatwo można je dostosować do każdego systemu pomiarowego. Wymaga zewnętrznego układu przetwarzania, pamiętania i konwersji wyników pomiarów do postaci wymaganej przez system zbierania pomiarów. Rozwiązania z interfejsem szeregowym RS232 lub RS485 stanowią z reguły niestandardowe rozwiązania producentów. Większość wodomierzy może być wyposażona w moduły komunikacyjne z magistralą asynchroniczną M-BUS (ang. *Meter Bus*), pozwalające na wymianę danych zorganizowanych w pakiety. Moduły tego typu przetwarzają i mogą archiwizować wyniki pomiarów. Moduł zarządzający transmisją (Master) ma dostęp do danych pomiarowych bieżących jak i archiwizowanych zaopatrzonych w „pieczęć” czasową oraz serwisowych, takich jak numer urządzenia pomiarowego, alarmy, stan baterii [11].

Aktualnie zdecydowana większość rozwiązań wodomierzy z funkcją zdalnego odczytu polega na uzupełnieniu tradycyjnego mechanicznego urządzenia pomiarowego w zewnętrzną przystawkę elektroniczną, rejestrującą obroty jednego z elementów liczydła, wykonującą niezbędne przetwarzanie danych pomiarowych i obsługującą moduł komunikacyjny (rys. 2).



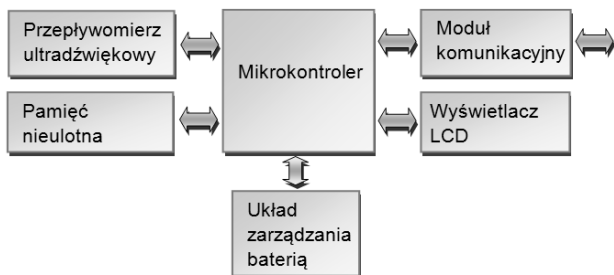
**Rys. 2.** Schemat blokowy wodomierza przystosowanego do zdalnych pomiarów

Rozwój w kierunku inteligentnych pomiarów spowoduje uproszczenie układu mechanicznego wodomierza do postaci pierwotnego elementu pomiarowego, tzn. wirnika, śruby lub tłoka obrotowego i przetwarzaniu jego obrotów (rys. 3). Obniży to koszt całego urządzenia. W takiej konstrukcji wyświetlacz LCD pozwala na przekazanie użytkownikowi pełniejszej informacji, np. podanie ceny zużytej wody.



**Rys. 3.** Schemat wodomierza z licznikiem elektronicznym

Na rynku pojawiły się również pierwsze wodomierze dla pomiarów domowych, w pełni elektroniczne, wykorzystujące ultradźwiękową metodę pomiaru prędkości cieczy (rys. 4). Urządzenie pomiarowe o zwiększonej niezawodności, zintegrowane z modułem komunikacyjnym, zapewniające na jednym komplecie baterii kilkunastoletni okres pracy stanowi idealne rozwiązanie dla systemów *Smart Metering* [3].



**Rys. 4.** Schemat wodomierza w pełni elektronicznego

### 2.1.2. Liczniki gazu

Pomiar ilości gazu można wykonać różnymi metodami:

- przez pomiar objętości (gazomierz miechowy, rotorowy, bębnowy),
- przez pomiar prędkości (gazomierz turbinowy, zwężkowy, ultradźwiękowy, wirowy),
- przez pomiar masy (gazomierz Coriolisa).

Metody wykorzystujące pomiar objętości i prędkości nie dają dokładnej informacji o ilości gazu ponieważ ten parametr silnie zależy od wartości ciśnienia i temperatury. Dla celów domowych stosowane są powszechnie gazomierze miechowe (komorowe). Tego typu urządzenia zawierają dwie komory pomiarowe, z których każda wyposażona jest w elastyczną, nieprzepuszczalną dla gazu membranę. Membrany połączone są układem dźwigniowym z zaworami sterującymi przepływem gazu.

W rezultacie gaz wlotowy jest włączany (pod wpływem różnicy ciśnienia gazu wlotowego i wylotowego) z jednej strony membrany i jednocześnie z drugiej wytlaczany do części wylotowej gazomierza. Natomiast po przełączeniu zaworów gaz wlotowy włączany jest z przeciwnej strony membrany. Ruch dźwigni przekazywany jest na liczydło mechaniczne gazomierza. W domowych miernikach gazu nie uwzględnia się wpływu ciśnienia i temperatury.

W systemach zdalnego odczytu stosuje się analogiczne rozwiązania jak w wodomierzach (rys. 2).

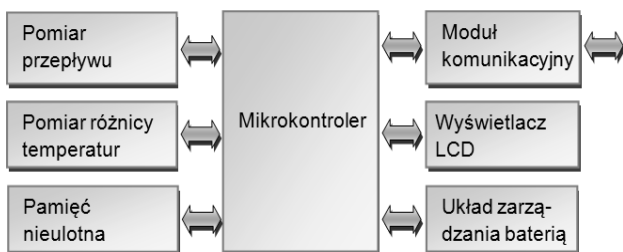
### 2.1.3. Liczniki ciepła

Aby określić ilość oddanego ciepła, np. przez kaloryfer, niezbędna jest znajomość następujących parametrów: temperatura wody na wejściu, temperatura wody na wyjściu oraz przepływ masowy wody. Energię oddaną można określić następującym równaniem:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad (1)$$

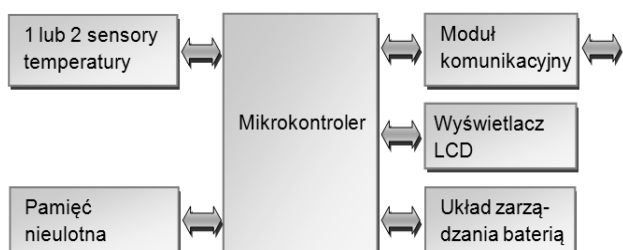
gdzie  $Q$  - transfer ciepła, J/s,  $m$  - przepływ masowy, kg/s,  $c_p$  - ciepło właściwe, J/g°C,  $\Delta T$  - różnica temperatur, °C.

Przepływ wody może być realizowany metodami omówionymi przy licznikach wody. Do pomiaru temperatury najczęściej stosowane są termorezystory platynowe lub termopary. Schemat blokowy ciepłomierza, przystosowanego do zdalnych pomiarów przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy ciepłomierza do zdalnego odczytu

Liczniki ciepła stosowane są w domach jednorodzinnych oraz jako urządzenia pomiarowe zbiorcze w domach wielorodzinnych. Jest to rozwiązanie aktualnie zbyt drogie do zastosowań w mieszkaniach, w budynkach wielorodzinnych, gdzie wodne instalacje grzewcze prowadzone są pionami. Ze względów oszczędnościowych w mieszkaniach stosowane są tzw. podzielniki kosztów ogrzewania (ciepła) [8]. Pierwotnie stosowane podzielniki ampułkowe (kapilarne) nie nadają się do rozwiązań elektronicznych. Dla realizacji pomiarów bezprzewodowych, zastępowane są przez podzielniki elektroniczne jednoczujnikowe lub dwuczujnikowe (rys. 6). Podzielnik wyposażony w pojedynczy czujnik mierzy temperaturę w określonym punkcie grzejnika, co jest jednym z czynników do szacowania emisji ciepła przez grzejnik. Problemem jest oczywiście stwierdzenie kiedy grzejnik oddaje ciepło, a kiedy ogrzewany jest przez warunki otoczenia. Prowadzić to może do znaczących błędów rozliczeń kosztów ogrzewania. Zdecydowanie lepsze są podzielniki dwuczujnikowe, w których jeden sensor mierzy temperaturę grzejnika a drugi temperaturę powietrza w pomieszczeniu. W tym przypadku dokładniej można oszacować ilość ciepła dostarczonego do ogrzania mieszkania. Należy dodać, że aktualnie nie ma jednolitych algorytmów działania podzielników, a transmisja radiowa realizowana jest według przypadkowych protokołów (producenta).



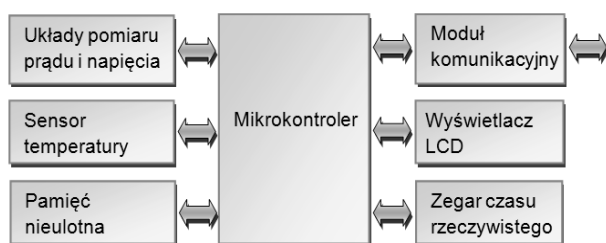
Rys. 6. Schemat blokowy elektronicznego podzielnika ciepła

Podzielniki są z reguły jednolite w ramach jednej firmy dokonującej rozliczeń kosztów grzewczych. Norma europejska EN834 dotycząca podzielników elektronicznych została wprowadzona w życie w 1994 roku i obecnie w dużym stopniu jest nieaktualna i niepełna [5].

#### 2.1.4. Liczniki energii elektrycznej

Liczniki energii elektrycznej są coraz częściej wykonywane jako bardziej rozbudowane urządzenia. Przejściowo liczniki mechaniczno-elektryczne wyposażane były w przystawki komunikacyjne, przetwarzające na impulsy ruch tarczy licznika. W nowych opracowaniach pomiar energii jest dokonywany całkowicie metodami elektronicznymi (rys. 7). Liczniki wyposażane są również w funkcje zegara czasu rzeczywistego, co umożliwia realizację złożonych schematów taryfikacyjnych.

Liczniki takie wyposażone są również w różne porty komunikacyjne. Zazwyczaj są to porty RS232, RS485. Standardem jest obecnie montowanie portu optycznego wg normy IEC62056 (dawniej IEC61107). Jako protokoły stosowane są IEC62056, Modbus, DLMS. Oprócz tego montowane są także wyjścia impulsowe.



Rys. 7. Schemat blokowy elektronicznego licznika energii elektrycznej

Opracowano specjalizowane układy, np. MCP3905/06 (firma Microchip) wspierające pomiar energii zgodnie z międzynarodową specyfikacją IEC 62053. Układy tego typu stanowią bazę konstrukcji współczesnych liczników energii zapewniając poprawną według zaleceń normalizacyjnych metodę przetwarzania sygnałów wejściowych na końcowy wynik pomiaru. Urządzenia zapewniają nie tylko dostęp bieżącej wartości pobranej energii, ale pozwalają na odczyt innych parametrów związanych z realizowanymi pomiarami jak wartość napięcia, prądu, temperatury, czasu, taryfy, koszty energii itp.

#### 2.2. Interfejsy liczników mediów

Jak wspomniano wyżej liczniki mediów przystosowane do zdalnego odczytu aktualnie wyposażane są w różne typy wyjść: impulsowe, różne protokoły producentów sprzętu bazujące na interfejsie RS232/RS485, protokół M-BUS [11] opracowany specjalnie dla potrzeb omawianej dziedziny, umożliwiający tworzenie sieci miejscowej (ang. *Fieldbus*) z urządzeń pomiarowych oraz różnych protokołów transmisji radiowej. W dalszej części przedstawiona zostanie magistrala M-BUS jako standaryzowane rozwiązanie dla liczników mediów. Dla potrzeb transmisji bezprzewodowej autorzy M-BUS proponują Wireless M-BUS [9].

Prace normalizacyjne dotyczące M-BUS zostały ujęte w normie europejskiej EN 13757 pt. „System komunikacji dla liczników oraz zdalny odczyt liczników”.

Norma składa się obecnie z następujących części:

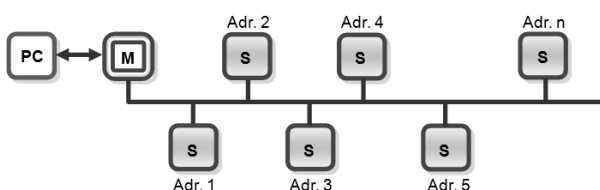
- EN 13757-1 z 2002 r. – Wymiana danych,
- EN 13757-2 z 2004 r. – Warstwa fizyczna i warstwa łącza danych,
- EN 13757-3 z 2004 r. – Dedykowana warstwa aplikacyjna,
- EN 13757-4 z 2005 r. – Bezprzewodowy odczyt-zapis licznika (radiowy odczyt licznika w paśmie SRD od 868 MHz do 870 MHz),
- prEN 13757-5 z 2007 r. (wstępna) – Propozycje dotyczące transmisji bezprzewodowej przy większych odległościach między koncentratorem danych a licznikami z uwzględnieniem rutingu (EN 13757-5: 2008),
- prEN 13757-6 z 2007 r. (wstępna) – Ta część dotyczy lokalnych magistral do odczytu pojedynczych liczników lub małych grup (max 5) przez zasilany bateryjnie węzeł master, który może być podłączony czasowo lub na stałe (EN 13757-6: 2008).

M-BUS (ang. *Meter Bus*) jest protokołem komunikacyjnym dedykowanym urządzeniom pomiarowym, szczególnie dla potrzeb gospodarki mieszkaniowej i przemysłu. Dzięki wprowadzeniu tego europejskiego standardu możliwe jest tworzenie przewodowych sieci liczników (różnych producentów) w celu zdalnego odczytu pomiarów. Podstawowe założenia, które przyjęto dla magistrali M-BUS to:

- możliwość podłączenia dużej liczby urządzeń pomiarowych (max. 250),
- możliwość rozbudowy sieci, duża rozpiętość (do kilku kilometrów),
- bezpieczeństwo sieci (galwaniczna izolacja węzłów od magistrali),
- możliwie małe koszty,
- minimalny pobór energii z urządzenia pomiarowego,
- ustalone prędkości transmisji (300 do 38400 Bd).

Sieć M-BUS o topologii magistrali tworzy organizację logiczną typu *Master – Slave* (rys. 8). Liczniki pomiarowe są węzłami typu *Slave*. Każdy z nich ma przypisany indywidualny numer (adres) od 1 do 250. Siecią zarządza węzeł *Master* co oznacza, że tylko on może zainicjować transmisję. Numer 255 stanowi adres rozgłoszeniowy; *Master* korzysta z tego adresu w celu przekazania jednakowego polecenia dla wszystkich węzłów *Slave*. Węzły *Slave* nie wysyłają odpowiedzi na to polecenie. Adres 0 jest zarezerwowany dla nieskonfigurowanych węzłów.

Węzeł *Master* realizuje również funkcje bramy do sieci nadrzędnej, np. Ethernet, sieci bezprzewodowej i za ich pośrednictwem zapewnia dostęp do urządzeń pomiarowych z systemu pozyskiwania zdalnych pomiarowych lub w najprostszym przypadku z komputera PC, laptopa czy palmtopa.



**Rys. 8.** Topologia sieci M-BUS

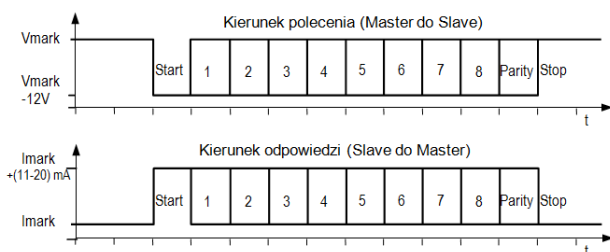
Model warstwowy sieci M-BUS jest zgodny z podstawową organizacją sieci miejscowych, tzn. zawiera warstwę fizyczną, warstwę łącza danych (zgodną ze standardem IEC 870-5), oraz warstwę aplikacyjną (zgodną z EN1434-3). Opcjonalnie może występować również warstwa sieciowa udostępniająca rozszerzone adresowanie.

Magistrala jest dwuprzewodowa. Transmisja bitowa od węzła *Master* do *Slave* realizowana jest napięciowo. Sygnał logiczny „1” (Mark) odpowiada nominalnej wartości napięcia +36V a sygnał „0” (Space) – nominalnej wartości napięcia +24V. Dla kierunku nadawania od węzła *Slave* do *Master* stosowana jest modulacja prądowa. Sygnał logiczny „1” reprezentowany jest przez wartość prądu poniżej 1,5 mA a sygnał „0” wartością prądu większą o 11-20 mA. W stanie spoczynkowym (brak transmisji) magistrala jest w stanie „1” (Mark), co odpowiada napięciu na wyjściu modułu *Master* +36V, a każdy z modułów *Slave* wymaga prądu spoczynkowego poniżej 1,5 mA. W danym przedziale czasu transmisja może być realizowana tylko w jednym kierunku. Tak zdefiniowane warunki przesyłania sygnałów gwarantują wysoką odporność na zewnętrzne zakłócenia.

Protokół warstwy łącza danych (EN 13757-2) oparty jest na normie IEC 870-5, ale nie wykorzystuje wszystkich zaleceń. Realizowana jest asynchroniczna transmisja znakowa, tzn. poszczególne telegramy (polecenia i odpowiedzi) dzielone są na porcje 8-bitowe (znaki), które przesyłane są start-stopowo (rys. 9).

Zdefiniowano cztery typy telegramów:

- pojedynczy znak E5h – potwierdzenie odbioru,
- ramka krótka (5 znaków),
- ramka długa (10..262 znaki),
- ramka sterująca (9 znaków).



**Rys. 9.** Znak polecenia (od węzła *Master*) i odpowiedzi (od węzła *Slave*)

Na rys. 10 przedstawiono formaty ramki krótkiej, długiej i sterującej protokołu M-BUS. Ramka krótka stosowana jest np. do inicjowania węzłów *Slave*. Ramka długa służy np. do transferu danych z węzła *Slave* w odpowiedzi na zapytanie węzła *Master*.

Ramka krótka

Start	Pole C	Pole A	Suma kontr	Stop
10h				16h

Ramka sterująca

Start	Pole L	Pole L	Start	Pole C	Pole A	Pole Cl	Suma kontr	Stop
68h	03h	03h	68h					16h

Ramka długa

Start	Pole L	Pole L	Start	Pole C	Pole A	Pole Cl	Dane użytkow. (0 – 252) bajty	Suma kontr	Stop
68h			68h						16h

**Rys. 10.** Typy telegramów w protokole M-BUS

Pole C jest polem funkcji telegramu, pole A zawiera adres docelowy, pole L – liczba znaczących bajtów ramki, pole CI – służy do rozróżnienia ramek długiej i sterującej oraz precyzuje zadania, np. wysyłanie danych czy ustawienie konkretnej prędkości transmisji. Pole danych maksymalnie może zawierać 252 bajty. Suma kontrolna jest tworzona jako zwykła suma arytmetyczna pól od C włącznie bez uwzględniania przeniesienia.

W warstwie aplikacyjnej protokołu M-BUS (EN 13757-3) wykorzystano zalecenia normy EN1434-3. Warstwa ta opisuje struktury i typy danych; definiuje kody poleceń i odpowiedzi wykorzystywane w sieci; określa konfiguracje danych wyjściowych; definiuje kody i typy błędów.

#### 4. PRZYKŁADOWE KONCEPCJE ROZWIĄZAŃ

W tegorocznych kwietniowych głosowaniach Parlament Europejski wyraził szerokie poparcie dla idei *Smart Metering*. Zatwierdzone dyrektywy nakładają na państwa członkowskie UE obowiązek wprowadzenia inteligentnych systemów pomiarowych [2]. Dyrektywa dotycząca energii elektrycznej przewiduje wyposażenie każdego gospodarstwa domowego w inteligentne liczniki do roku 2022. Nie ma na razie żadnych terminów związanych z dostawą gazu. Wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań pomiarowych ma się rozpocząć od nowych oraz remontowanych budynków. Z przytoczonej wyżej bardzo ważnej informacji wynika jednak, że rozwój inteligentnych systemów pomiarowych, przynajmniej w pierwszym etapie, będzie następował branżowo. Energetyka jako najsilniejszy gracz na tym rynku będzie zapewne przodowała i dominowała przy wprowadzaniu inteligentnych pomiarów.

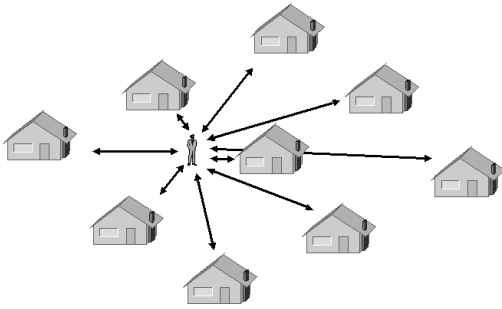
Poniżej przedstawione zostaną przykładowe koncepcje rozwiązań zdalnych pomiarów pozyskanych z liczników od prostych do kompleksowych [10].

##### 4.1. Proste systemy zbierania danych pomiarowych

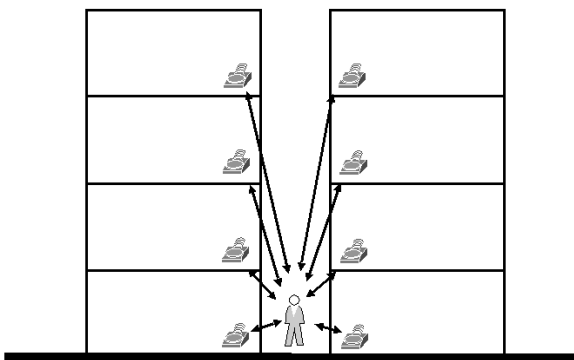
Pierwszy przykład dotyczy odczytu pomiarów w budynku wielorodzinnym (rys. 11). Operację odczytu można znacznie usprawnić poprzez automatyczne odpytywanie wszystkich modułów znajdujących się w danej klatce, piętrze lub części piętra (w zależności od rozmiarów budynku). Zakłada się, że w mieszkaniu znajduje się pojedynczy licznik lub grupa liczników. Jeżeli jest to pojedynczy licznik to musi on mieć możliwość gromadzenia danych pomiarowych między kolejnymi odczytami. W przypadku grupy liczników tańszym rozwiązaniem będzie wprowadzenie koncentratora, który będzie archiwizował dane z liczników. Należy mieć na uwadze fakt, że poza licznikami energii elektrycznej wszystkie inne będą wymagały zasilania z baterii elektrycznej i dlatego poszczególne węzły pomiarowe powinny pobierać jak najmniej prądu. Oznacza to, że powinny być aktywne komunikacyjnie możliwie najkrócej. Część komunikacyjna węzła z reguły pozostaje w uśpieniu a przechodzi do stanu aktywnego tylko na krótki czas wymiany telegramów. W związku z tym istnieją dwie koncepcje udostępniania danych pomiarowych:

- węzeł pomiarowy (licznik lub koncentrator) wybudza się cyklicznie, np. co 15 min generuje stan pomiarów lub zgłasza swoją gotowość do transmisji danych; węzeł mobilny (inkasent) musi czekać na inicjatywę węzła pomiarowego; węzeł pomiarowy może być wyłącznie nadajnikiem lub może realizować funkcje nadawczo-odbiorcze,
- organizacja *Master-Slave*, gdzie mobilny węzeł odczytujący dane pomiarowe (inkasent) jest układem *Master*, a węzły pomiarowe układami *Slave*; węzły *Slave* okresowo przechodzą na nasłuch; węzeł *Master* organizuje wymianę danych w sieci.

Analogiczne rozwiązanie stosowane może być w przypadku osiedla domków (rys. 12). Występuje tu zwiększenie odległości między węzłami. Biorąc jednak pod uwagę inne technologie stosowane z reguły w budownictwie jednorodzinny i wielorodzinnym problem odległości nie musi powodować problemu zasięgu. W ramach osiedla można określić położenia, w których inkasent powinien uruchamiać procedurę automatycznego odczytu liczników. W przypadkach braku zasięgu dla niektórych węzłów pomiarowych można stworzyć dla nich stałe ścieżki retransmisji pakietów.



**Rys. 11.** Sieć o topologii gwiazdy dla budynku wielorodzinnego

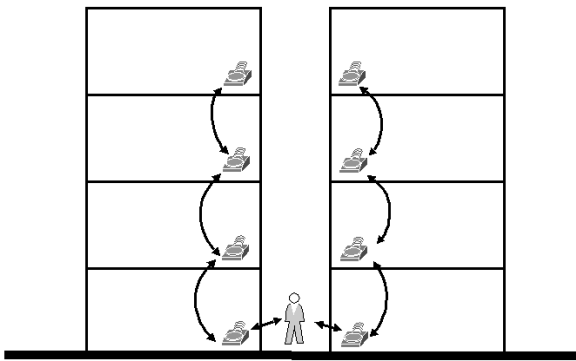


**Rys. 12.** Sieć o topologii gwiazdy dla osiedla domków jednorodzinnych

Prosty system AMR powstanie gdy w miejsce inkasenta wprowadzony zostanie koncentrator danych, który będzie zbierał pomiary z liczników i przekazywał je do stacji centralnej odpowiednim łączem (np. Internet, linia telefoniczna, GSM). Takie rozwiązanie umożliwia pozyskiwanie danych pomiarowych w znacznie krótszym cyklu, który może być uwarunkowany typem medium (np. energia elektryczna co 15 min).

W omawianym dotychczas przykładzie mamy sieci z komunikacją zasadniczo jednoskokową (ang. one-hop), tzn. węzeł mobilny/koncentrator znajduje się w zasięgu węzłów pomiarowych. Stąd też liczba węzłów takiej sieci (podsieci) jest dość mocno ograniczona. Zaletą takiego rozwiązania jest uproszczone oprogramowanie węzła, a to oznacza mniejsze wymagania dotyczące zasobów węzła, krótszy czas jego aktywności, a więc i mniejsze zapotrzebowanie na energię.

Większą elastyczność sieci można osiągnąć stosując topologię, w której komunikacja odbywa się na zasadzie wielokrotnych przeskoków (ang. *Multi-hop*). Inkasent/koncentrator nie musi mieć wtedy bezpośredniego połączenia ze wszystkimi modułami, które chce odczytać (rys. 13). Wskazuje tylko adres urządzenia, a pytanie dociera do modułu za pośrednictwem innych urządzeń. W ten sposób inkasent może odczytać w krótkim czasie nawet bardzo duży budynek/osiedle.



**Rys. 13.** Uproszczona sieć *multi-hop* w budynku wielorodzinnym

Przykładem takiej organizacji może być topologia siatki (ang. *mesh*) sieci ZigBee [4,5,6,12,13], w której występują dodatkowe, specjalne węzły retransmisyjne, tzw. rutery. Węzeł zarządzający siecią (koordynator) i rutery mogą wymieniać dane między sobą, a to umożliwia w razie potrzeby (np. uszkodzenie jakiegoś węzła) tworzenie alternatywnych ścieżek wymiany danych. W sieci ZigBee węzły końcowe (liczniki) są wyłącznie źródłami lub celami informacji nie biorą natomiast udziału w tworzeniu tras komunikacyjnych.

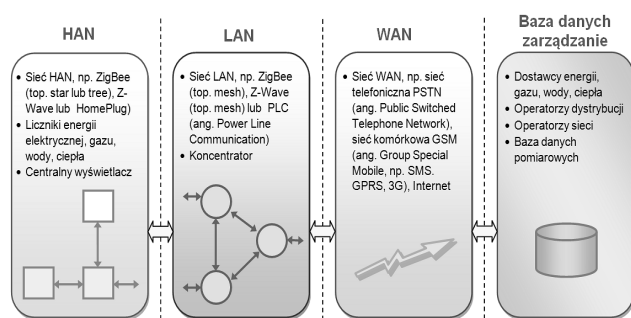
Biorąc pod uwagę cechy samoorganizujące sieci najbardziej uniwersalnym rozwiązaniem są sieci typu ad-hoc, gdzie każdy węzeł może być nie tylko źródłem i celem danych, ale może brać udział również w retransmisji telegramów.

Oprogramowanie w tego typu sieciach jest znacznie bardziej złożone. Wynikają stąd wyższe wymagania dotyczące zasobów pamięci węzłów oraz wyższe potrzeby energetyczne dla zapewnienia poprawnej komunikacji. Problemem jest zapewnienie w miarę równomiernego zużywania się baterii w poszczególnych węzłach.

#### **4.2. Złożone koncepcje pomiarowe**

Inteligentne systemy pomiarowe w obszarze gospodarstwa domowego mają dostarczyć dystrybutorowi energii (medium) pełnej informacji pomiarowej i serwisowej, a w drugą stronę użytkownikowi – pełnej informacji o zużytej energii, tzn. nie tylko jej wartość, ale również czasowy rozkład jej poboru, koszt, aktualne taryfy, ewentualne zaległości itp.

Przy okazji pojawiła się koncepcja sieci domowych HAN (ang. *Home Area Networks*) [16,17]. Coraz więcej urządzeń domowych wyposażonych jest w elektronikę. Cyfryzacja tych urządzeń będzie intensywnie rozwijana. Powstaną inteligentne pralki, lodówki, zmywarki, klimatyzatory itd. HAN stanowić ma rozszerzenie *Smart Metering* tworząc strukturę skutecznego zarządzania urządzeniami domowymi. Jest to szczególnie istotne w dobie wzrostu kosztów energii. HAN dostarczy użytkownikowi informacji o energii zużywanej przez poszczególne urządzenia, a także o ich efektywności i pozwoli nimi sterować również zdalnie, np. za pomocą telefonu komórkowego lub komputera. System HAN może również automatycznie sterować urządzeniami, według scenariusza zaakceptowanego przez użytkownika.



**Rys. 14.** Ogólna koncepcja systemu inteligentnych pomiarów

Protokół transmisji bezprzewodowej ZigBee [4,12,13] jest postrzegany jako najbardziej prawdopodobny kandydat dla sieci HAN. Spore wsparcie ma protokół Z-Wave, który znalazł już wiele aplikacji w automatyzacji domów szczególnie w Ameryce Północnej. Uzupełnieniem może być całkiem nowe opracowanie protokołu transmisji przewodowej wykorzystującej instalację elektryczną HPCC (ang. *HomePlug Command and Control*) [15]. HPCC zapewnia prędkość transmisji do 200 Mb/s.

Można tworzyć wiele modeli komunikacyjnych dla systemów inteligentnych pomiarów [1]. Określenie, który będzie najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest trudnym i bardzo złożonym zagadnieniem, zależnym od wielu czynników, przykładowo ekonomicznych jak koszty projektowania, montażu, eksploatacji, serwisowania systemu. Na rys. 14 przedstawiono ogólną koncepcję systemu inteligentnych pomiarów.

Na poziomie mieszkania lub domu jednorodzinnego liczniki połączone są siecią typu HAN. Te, które mają dostęp do instalacji elektrycznej, włączone są do sieci przewodowej HomePlug, natomiast pozostałe będą węzłami sieci ZigBee w topologii gwiazdy lub, gdy występują problemy z zasięgiem, w topologii drzewa. Do sieci HAN dołączony jest również centralny wyświetlacz udostępniający użytkownikowi między innymi szczegółowe informacje zużycia poszczególnych mediów. Mieszkania lub domy jednorodzinne połączone są siecią typu LAN (ang. *Local Access Network*), a ta sieć poprzez koncentrator dołączona jest do sieci WAN (ang. *Wide Area Network*). Jako sieć LAN może być stosowana np. ZigBee w topologii siatki (ang. *Mesh*) zapewniająca dużą pewność transmisji i znaczącą odporność na uszkodzenia węzłów. Tam gdzie dostępna jest odpowiednia infrastruktura istnieje możliwość stosowania rozwiązań przewodowych typu PLC (ang. *Power Link Communication*). Na poziomie WAN jest możliwość stosowania sieci telefonicznych komutowanych, technologii sieci komórkowych SMS/GPRS/3G i technologii internetowych. Informacje od wszystkich klientów trafiają do centralnej bazy danych pomiarowych skąd pobierane są selektywnie w celu dalszego przetwarzania przez poszczególnych dostawców, operatorów dystrybucji i inne uprawnione jednostki. Operatorzy sieci dbają o prawidłową komunikację w systemie.

## 5. PODSUMOWANIE

Nie wszystkie stosowane obecnie liczniki mediów są przystosowane do zdalnego odczytu danych o zużyciu mediów. W większości przypadków możliwe jest uzyskanie sygnału elektrycznego drogą niewielkich modyfikacji konstrukcji lub dołożenia elementu pozwalającego na wygenerowanie impulsów zliczających. Uzyskanie sygnału elektrycznego jednak jest warunkiem koniecznym lecz niewystarczającym do utworzenia zintegrowanego systemu monitorowania zużycia mediów w budynku. Wydaje się, że znacznie większą trudność stanowi przyjęcie jednolitej formy komunikacji między poszczególnymi urządzeniami pomiarowymi a miejscem zbierania danych. Stosowane przez producentów urządzeń pomiarowych różne protokoły komunikacyjne nie ułatwiają tego zadania.

Podejmowane próby standaryzacji stanowią jedynie zalecenia, których oddziaływanie zależy głównie od liczby i rynkowego znaczenia firm, które zdecydują się te standardy stosować.

Toczy się dyskusja, która z sieci bezprzewodowych małej mocy zostanie zaakceptowana dla Europy w ramach *Smart Metering*. Bardzo silnym kandydatem są protokoły IEEE 802.15.4/ZigBee, które stanowią rozwiązanie przemyślane, szeroko udokumentowane o dużym potencjale i to we wszystkich warstwach specyfikacji. Zapewniają dużą odporność na zakłócenia transmisji, zawierają silne mechanizmy bezpieczeństwa pracy, dają możliwości tworzenia dużych struktur sieciowych z uwzględnieniem zagadnień retransmisji i routingu. Podkreślić należy znaczące wsparcie od producentów (aktualnie bardzo wielu) układów radiowych ZigBee i układów bardziej zaawansowanych typu SoC (ang. System on Chip), zarówno od strony sprzętowej jak i programowej. Minusem może być brak opracowania warstwy aplikacyjnej dla zastosowań pomiarowych, ale nie jest to zbyt złożony i czasochłonny problem.

Protokół Wireless M-BUS ma wszystkie zalety prostych protokołów [7]. Ponadto zawiera warstwę aplikacyjną zgodną z EN1434-3, przygotowaną do obsługi liczników. Zaletą jest również łatwość współpracy z przewodową wersją M-BUS. Aktualna wersja Wireless M-BUS nie spełnia jednak wielu obecnych i przyszłościowych wymagań *Smart Metering*.

## LITERATURA

- [1] Appraisal of Costs & Benefits of Smart Meter Roll Out Options. Final Report, Mott MacDonald, BERR, London 2007.
- [2] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council on Energy end-use Efficiency and Energy Services and Repealing Council Directive 93/76/EEC. Official Journal of the European Union, 2006.
- [3] HYDRUS<sup>®</sup> Ultrasonic Water Meter. DIEHL Metering.
- [4] IEEE Std 802.15.4<sup>TM</sup>, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). New York, IEEE, 2003.
- [5] Kubiak Z., Urbaniak A.: Współczesne rozwiązania telemetryczne. Rynek Energii 2007, nr 2.
- [6] Kubiak Z., Urbaniak A.: Embedded Systems in Distributed Measuring Network. Proceedings Of ENVIROINFO'07, Warszawa 2007.
- [7] Kubiak Z., Urbaniak A.: Komunikacja w sieciach pomiarowych, BMP – Ochrona Środowiska, 2008.
- [8] Norma PN-EN834 (1999): Podzielniki kosztów ogrzewania do rejestrowania zużycia ciepłą przez grzejniki - Przejrzędy zasilane energią elektryczną.
- [9] prEN 13757-4. Communication Systems for Meters and Remote Reading of Meters - Part 4: Wireless

Meter Readout (Radio Meter Reading for Operation in the 868-870 MHz SRD Band). CEN, Brussels 2003.

- [10] Szulc Ł.: System monitorowania zużycia mediów w budynku. Praca magisterska. Wydział Informatyki i Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2008.
- [11] Ziegler H.: M-BUS WG4. Proposal for a Future 868 MHz Communication Standard. University of Paderborn, 1998.
- [12] ZigBee Specification. ZigBee Document 053474r13. ZgBee Standards Organization, 2006.
- [13] ZigBee®Wireless Networking Overview, Texas Instruments, 2008.
- [14] <http://www.esmig.eu>
- [15] <http://www.homeplug.org>
- [16] [http://www.silverspringnet.com/partners/home\\_area\\_networks\\_devices.html](http://www.silverspringnet.com/partners/home_area_networks_devices.html)
- [17] <http://www.sdge.com/smartmeter/homeAreaNetwork.shtml>

## **MONITORING SYSTEMS OF UTILITIES CONSUMPTION IN BUILDINGS**

**Key words:** smart metering, intelligent sensors, utilities meters' interfaces, communication standards

**Summary.** In the paper there are presented concepts of solutions for modern monitoring systems of utilities consumption in buildings together with their possible development directions in the future. Moreover, the paper shows the representative checkup results of electric power, water, gas and heat consumption meters, concerning especially solutions that use a remote message system. The analysis of good and bad points of applied measurement interfaces serves a purpose to create integrated monitoring system for use of all utilities in a building. There are described different concepts of measurements automation and therefore there are given the rules elaborated by international consortia showing the suggestions for integrated solutions' standards. Specially emphasized are wireless solutions based on European norms.

**Zygmunt Kubiak, dr inż. ,** adiunkt w Instytucie Informatyki Politechniki Poznańskiej.

Specjalność: problematyka przetwarzania i kodowania informacji pomiarowych, zastosowanie nowoczesnych tzw. inteligentnych czujników pomiarowych, programowanie sterowników PLC, systemy uruchomieniowe mikrokontrolerów, zagadnienia bezprzewodowych sieci pomiarowych.

e-mail: [zygmunt.kubiak@cs.put.poznan.pl](mailto:zygmunt.kubiak@cs.put.poznan.pl)

**Andrzej Urbaniak, dr hab. inż. ,** profesor w Instytucie Informatyki Politechniki Poznańskiej.

Specjalność: zastosowania automatyki i informatyki w ochronie i inżynierii środowiska, modelowanie i symulacja procesów i obiektów, monitorowanie i sterowanie procesami, synteza algorytmów sterowania wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji, systemy wbudowane i ich zastosowania.

e-mail: [andrzej.urbaniak@cs.put.poznan.pl](mailto:andrzej.urbaniak@cs.put.poznan.pl)