

## WYBRANE ZAGADNIENIA SYSTEMU OPOMIAROWANIA SPECJALISTYCZNEGO W BUDYNKU MAŁOPOLSKIEGO LABORATORIUM BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Grzegorz HAYDUK<sup>1</sup>, Paweł KWASNOWSKI<sup>2</sup>, Małgorzata FEDORCZAK-CISAK<sup>3</sup>, Marcin FURTAK<sup>4</sup>

1. AGH w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
tel.: 12 617 28 83, e-mail: hayduk@agh.edu.pl
2. AGH w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
tel.: 12 617 28 83, e-mail: kwasn@agh.edu.pl
3. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej  
tel.: 12 628 23 84, e-mail: mporanna@wp.pl
4. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędne  
tel.: 608 177 419, e-mail: mfurtak@pk.edu.pl

**Streszczenie:** Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędne Politechniki Krakowskiej jest jednostką naukowo-badawczą, która powstała w celu prowadzenia badań technologii energooszczędnych, rozwiązań materiałowych, konstrukcyjnych i instalacyjnych oraz komfortu użytkownika budynków niskoenergetycznych. Planowane badania obejmują także weryfikację metodologii sporządzania charakterystyk energetycznych budynków oraz weryfikację modeli termicznych przepływu ciepła w strukturach budowlanych. W tym celu budynek MLBE został wyposażony w system opomiarowania specjalistycznego elementów konstrukcyjnych budynku. Dzięki temu sam budynek MLBE jest obiektem badawczym i przedmiotem badań. W artykule przedstawione są założenia dla systemu opomiarowania specjalistycznego konstrukcji budynku oraz struktura i sposób realizacji tego systemu. System umożliwi badania rozkładów temperatur i przepływu ciepła w wybranych elementach konstrukcyjnych budynku, takich jak stropy, ściany zewnętrzne, gzymsy, fundament oraz grunt pod i w otoczeniu budynku. W artykule jest także przedstawiona organizacja informatyczna i metodyka projektowania systemu opomiarowania, który umożliwi rejestrację on-line, wizualizację i analizę danych z prawie 3000 punktów pomiarowych zainstalowanych w strukturze budynku. W części końcowej artykułu zaprezentowano przykładowe, rzeczywiste wyniki pomiarowe z wybranych elementów konstrukcyjnych. Przedstawiono także perspektywy badań „in-situ” z wykorzystaniem specjalistycznego systemu opomiarowania budynku MLBE.

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, pomiar temperatury w elementach konstrukcyjnych budynku, modelowanie przepływów termicznych, metodologia sporządzania charakterystyk energetycznych budynków, badania „in-situ”.

### 1. WPROWADZENIE

W świetle dyrektywy EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) [1], [2] Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej problem energochłonności budynków nabrał nowego znaczenia praktycznego w dwóch pierwszych dekadach XXI w. Politechnika Krakowska wychodząc naprzeciw wynikającym stąd wyzwaniom podjęła realizację projektu budowy

Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędne, budynku – laboratorium, w którym możliwym jest prowadzenie badań energooszczędnych technologii budowlanych, rozwiązań materiałowych, konstrukcyjnych i instalacyjnych oraz komfortu użytkownika budynków niskoenergetycznych. Jednocześnie, poprzez wyposażenie budynku w wiele różnorodnych źródeł i odbiorników energii oraz bardzo szerokie opomiarowanie zarówno elementów technologicznych systemów grzewczych i chłodniczych, jak i elementów konstrukcyjnych budynku, sam budynek MLBE jest narzędziem badawczym i przedmiotem badań. Budynek MLBE po ok. 2 latach projektowania i budowy został oddany do użytku w październiku 2014 r. W budynku zainstalowane zostały dwa rozproszone systemy elektroniczne: System automatyki, sterowania i akwizycji danych obsługujący instalacje technologiczne budynku (źródła, dystrybucję i odbiorniki ciepła i chłodu, wentylację, klimatyzację i oświetlenie) oraz System opomiarowania specjalistycznego przegród zewnętrznych i pomiarów gruntowych. Pierwszy z systemów jest rozbudowanym systemem BMS (Building Management System), który spełnia rolę nie tylko „klasycznego” systemu automatyki komfortu i zarządzania infrastrukturą techniczną budynku, ale umożliwia także prowadzenie badań funkcjonowania tej infrastruktury w różnych układach technologicznych, możliwych do skonfigurowania w budynku. Przedmiotem niniejszego artykułu jest drugi z systemów - System opomiarowania specjalistycznego przegród zewnętrznych i pomiarów w gruncie. System ten jest unikatowym systemem opomiarowania elementów konstrukcyjnych budynku, umożliwiającym badanie rzeczywistego rozkładu temperatur i przepływu ciepła w takich elementach konstrukcyjnych jak ściany zewnętrzne, stropy, gzymsy, słupy, fundament oraz grunt pod budynkiem.

Pośród badań możliwych do prowadzenia z wykorzystaniem systemu opomiarowania specjalistycznego przegród zewnętrznych i pomiarów gruntowych MLBE można wymienić: weryfikację metodologii sporządzania charakterystyk energetycznych budynków poprzez porównanie

metody obliczeniowej z metodą opartą na pomiarach, a także weryfikację metod symulacyjnych przepływu ciepła i rozkładu temperatur w przegrodach zewnętrznych w porównaniu z rzeczywistymi danymi pomiarowymi pochodzącymi z matryc czujników temperatury rozmieszczonych w elementach konstrukcyjnych.

W artykule skoncentrowano się na szczegółowym przedstawieniu rozwiązań dla pomiarów temperatury w elementach konstrukcyjnych budynku oraz na strukturze całego systemu pomiarowego, metodyce projektowania i właściwościach systemu akwizycji, rejestracji, wizualizacji i przetwarzania danych pomiarowych.

## 2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Założenia i wymagania dla Systemu opomiarowania specjalistycznego przegród zewnętrznych i pomiarów gruntowych budynku MLBE zostały sformułowane przez zespół Politechniki Krakowskiej [3]. System opomiarowania specjalistycznego obejmuje następujące rodzaje pomiarów:

- pomiary temperatur w przegrodach zewnętrznych,
- pomiary temperatur w gruncie pod budynkiem oraz w otoczeniu budynku,
- opomiarowanie gruntowych wymienników ciepła.

### 2.1. Pomiary temperatur w przegrodach zewnętrznych

Ze względu na planowane badania porównawcze rozkładu pola temperatur w przegrodach zewnętrznych polegające na porównaniu wyników symulacji komputerowych z rzeczywistym rozkładem temperatury w przegrodach oraz instalację czujników podczas wylewania betonowych elementów konstrukcyjnych budynku postawiono duże wymagania co do dokładności i stabilności pomiarów temperatury w przegrodach zewnętrznych. Założono konieczność zastosowania cyfrowych, elektronicznych czujników temperatury o wysokiej dokładności i długoterminowej stabilności, nie wymagających okresowych kalibracji w okresie eksploatacji.

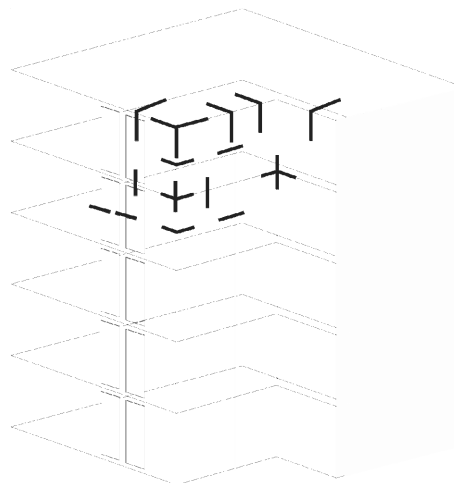
Dla czujników instalowanych w przegrodach zewnętrznych postawiono następujące wymagania:

- Pomiary od strony zewnętrznej przegród budowlanych:
  - zakres pomiarowy od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$
  - dokładność pomiaru  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$
  - tzw. czujniki „zimne”.
- Pomiary od strony wewnętrznej przegród budowlanych:
  - zakres pomiarowy od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$
  - dokładność pomiaru  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
  - tzw. czujniki „ciepłe”.

Miejsca instalacji czujników do pomiaru temperatur w przegrodach zewnętrznych zostały szczegółowo zdefiniowane w dokumencie [3] na podstawie normy PN EN 14863, w której określone są typowe miejsca występowania mostków cieplnych. Jako punkty odniesienia założono pomiary ze środkowego obszaru ścian, z dala od mostków cieplnych.

Planowaną lokalizację obszarów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1.

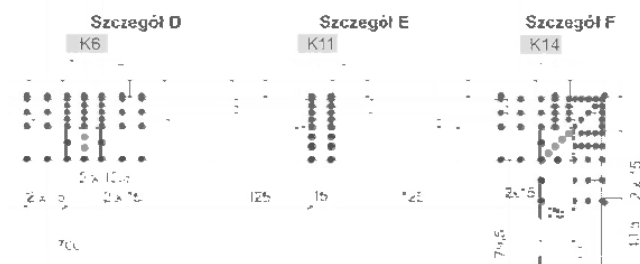
W niektórych obszarach opomiarowania założono rozmieszczenie poziome pojedynczej warstwy czujników, w innych obszarach – w szczególności dla stropów, gzymsów, narożników i dachu założono rozmieszczenie przestrzenne czujników w matrycy zawierającej wiele warstw, rzędów i kolumn czujników.



Rys. 1. Planowana lokalizacja obszarów pomiarowych przegród zewnętrznych

W celu usystematyzowania rozmieszczenia czujników i jednoznacznej ich identyfikacji ustalono oznaczenia tzw. *Szczegółów* rozmieszczenia czujników oraz zdefiniowano poziomy czujników w skali całego budynku. Biorąc pod uwagę ilość instalowanych czujników, ich jednoznaczna identyfikacja jest kluczowym zagadnieniem podczas interpretacji wyników pomiarów.

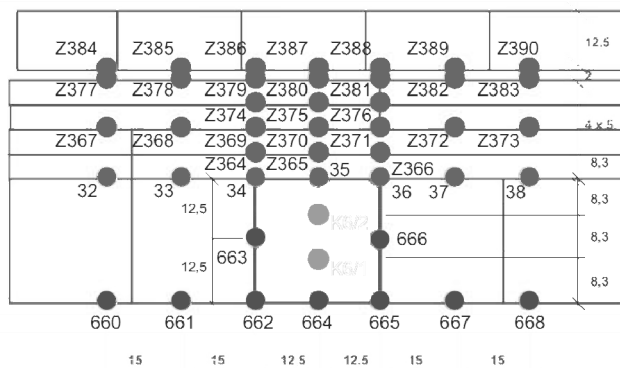
Przykład definiowania *Szczegółów* obszarów pomiarowych na rzucie wybranej kondygnacji budynku przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład definiowania *Szczegółów* na rzucie budynku

### Szczegół D

K6

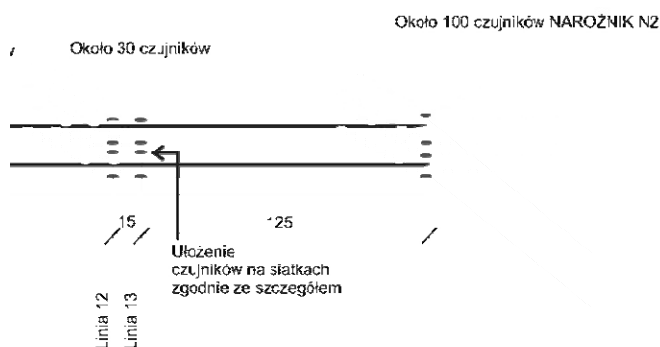


Rys. 3. Dokumentacja rozmieszczenia czujników temperatury w ramach *Szczegółu*

Na rysunku 3 przedstawiono rozmieszczenie poszczególnych czujników w ramach określonego *Szczegółu*. Kolory czujników oznaczają czujniki zimne (niebieski) i ciepłe (czerwony). Przedstawiony przykład dotyczy *Szczegółu* umieszczonego w ścianie 2 piętra na wysokości 160 cm od płyty stropu na *Poziomie a*.

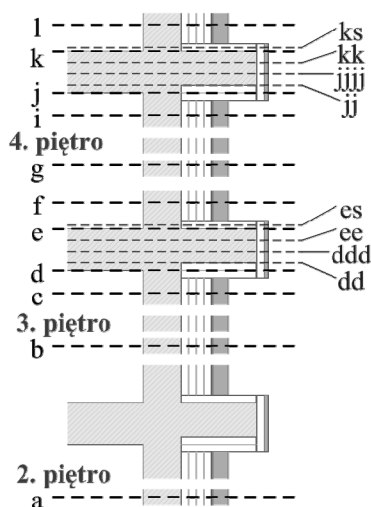
W niektórych *Szczegółach* czujniki rozmieszone są przestrzennie, tak jak pokazano to na rysunku 4. W celu jednoznacznej identyfikacji czujników w ramach poszczególnych *Szczegółów*, a także w ramach całego systemu zdefiniowane zostały tzw. *Poziomy* (warstwy) czujników w skali całego budynku. Zdefiniowanie *Poziomów* ułatwia także nawigację pomiędzy poszczególnymi grupami czujników.

Na kolejnym rysunku zilustrowano przykładowy rozkład przestrzenny matrycy czujników w stropie i gzymsie wybranych *Szczegółów*.



Rys. 4. Przestrzenna matryca czujników w stropie i gzymsie

Oznaczenia *Poziomów* czujników w skali całego budynku zilustrowano na rysunku 5. Na rysunku widoczne są pojedyncze *Poziomy* czujników rozmieszczanych w środku wysokości ścian, np. poziomy a, b i g oraz wiele *Poziomów* czujników w stropach, np. *Poziomy* d, dd, ddd, ee, e i es w stropie 3 piętra i poziomy i, j, jj, kk, k, ks, i i l w stropodachu.



Rys. 5. Definicja *Poziomów* czujników w skali całego budynku

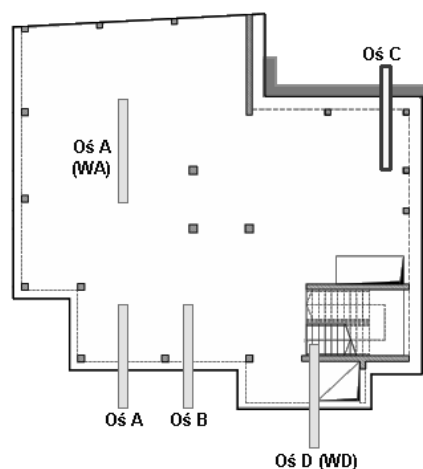
Dodatkowym elementem ułatwiającym identyfikację poszczególnych obszarów opomiarowania konstrukcji budynku i nawigację pomiędzy tymi obszarami jest pojęcie *Kolumny Szczegółów*. *Kolumnę Szczegółów* tworzą

*Szczegóły* zlokalizowane w tym samym miejscu na rzucie poziomym budynku na różnych kondygnacjach. Łącznie wyznaczono 14 *Kolumn Szczegółów* oznaczonych od KS1 do KS14 (przykład zaprezentowano na rysunku 9).

## 2.2. Pomiary temperatur w gruncie pod budynkiem oraz w otoczeniu budynku

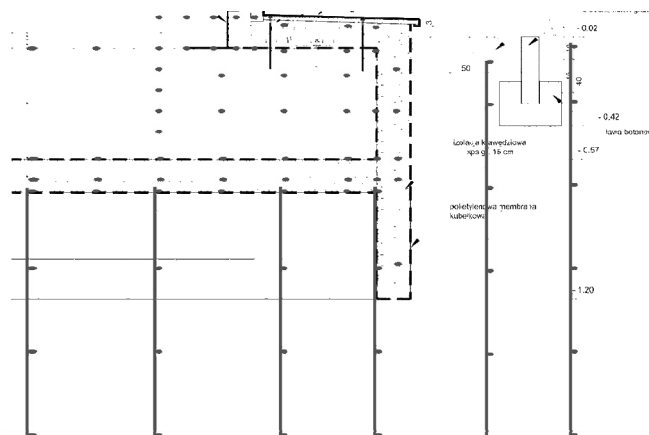
Do pomiarów temperatury w gruncie założono zastosowanie czujników temperatury o wysokiej dokładności i stabilności, które nie wymagają kalibracji. Pomiary gruntowe są realizowane za pomocą sond pionowych z zainstalowanymi w odpowiedniej odległości czujnikami temperatury. Przyjęto zastosowanie czujników o charakterystykach identycznych z czujnikami w przegrodach zewnętrznych.

Sondy gruntowe zaplanowano w kilku osiach rozmieszczonych na rzucie budynku. Na rysunku 6 przedstawiono lokalizację osi pomiarów gruntowych.



Rys. 6. Osie pomiarów gruntowych

Przykład rozmieszczenia czujników dla jednej z osi pomiarów gruntowych zilustrowano na rysunku 7.



Rys. 7. Rozmieszczenie czujników gruntowych w jednej z osi pomiarów gruntowych

## 2.3. Opomiarowanie gruntowych wymienników ciepła

W budynku zaprojektowano dwa rodzaje wymienników gruntowych ciepła: dwa wymienniki poziome powietrze-grunt oraz trzy wymienniki pionowe woda-grunt. Wymienniki pionowe stanowią dolne źródło pompy ciepła. Dla każdego z typów wymienników określono wymagania dotyczące opomiarowania [3].

Dla poziomych wymienników gruntowych założono pomiary temperatury i wilgotności powietrza co 5 m na długości każdego wymiennika, a także pomiar prędkości przepływu powietrza przez wymiennik. Opomiarowanie wymienników poziomych obejmuje także pomiary temperatury w gruncie w sąsiedztwie wymienników poziomych, realizowane w ramach pomiarów gruntowych. Dla pomiarów w wymiennikach postawiono następujące wymagania:

- zakres pomiaru temperatury w kanałach wymienników od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $0^{\circ}\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  i od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $40^{\circ}\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ,
- zakres pomiaru wilgotności względnej w kanałach wymienników 10%-90%, z dokładność pomiaru  $\pm 2\%$ ,
- zakres pomiaru temperatury w gruncie w sąsiedztwie kanałów wymienników od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $30^{\circ}\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ,
- zakres pomiaru prędkości powietrza przepływającego przez wymienniki poziome to 0,2-20 m/s, z dokładnością 0,2 m/s.

### 3. STRUKTURA I ELEMENTY SYSTEMU OPOMIAROWANIA SPECJALISTYCZNEGO

System opomiarowania specjalistycznego składa się z następujących elementów:

- Czujników:
  - Czujników temperatury zabudowanych w strukturze konstrukcyjnej budynku i w gruncie pod budynkiem w czasie prac budowlanych.
  - Czujników temperatury i wilgotności w kanałach gruntowych, poziomych wymienników ciepła.
  - Czujników temperatury na gruntowych, pionowych wymiennikach ciepła.
  - Czujników opomiarowania ścian akumulacyjnych.
- Koncentratorów sygnałów z czujników
- Infrastruktury sieci zbierania i konwersji danych, w tym serwerów automatyki
- Systemu komputerowego (sprzęt i oprogramowanie) do zbierania, rejestracji, wizualizacji i przetwarzania danych pomiarowych.

#### 3.1. Czujniki temperatury w konstrukcji budynku

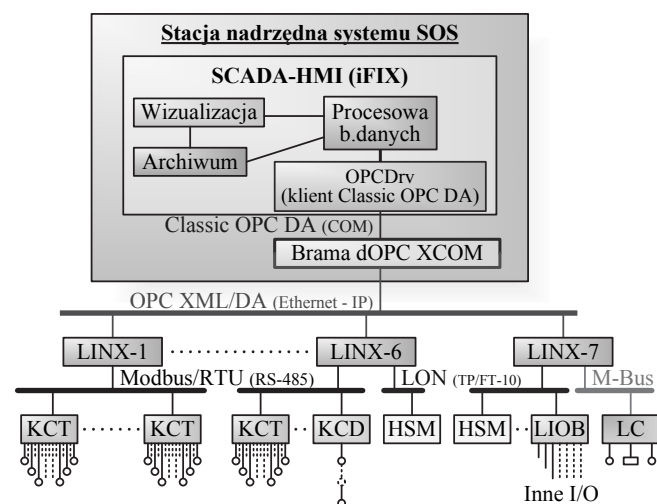
Po analizie rynku elektronicznych czujników temperatury w okresie realizacji projektu, zidentyfikowano rodzinę czujników TSic™ szwajcarskiego producenta Innovative Sensor Technology IST AG, które spełniały wymagania stawiane czujnikom systemu. W czujnikach TSic™, zastosowane jest precyzyjne źródło referencyjne na bazie pasma zabronionego (ang. bandgap reference) z wykorzystaniem kompensacji wpływu temperatury metodą generacji prądu proporcjonalnego do temperatury absolutnej (ang. Proportional to absolute temperature – PTAP) [6]. Rozwiązanie takie zapewnia wysoką precyzję oraz długoterminową stabilność czujnika bez potrzeby kalibracji w trakcie użytkowania. Dodatkowo, indywidualna kalibracja czujników oraz wewnętrzne przetwarzanie z wykorzystaniem procesora DSP i cyfrowa transmisja wartości mierzonej zgodnie ze standardem ZacWire, uniezależniają wynik pomiaru od długości przewodów łączących czujnik z koncentratorem danych. Na bazie elementów TSic™ 306 [4], które były kalibrowane fabrycznie na wymagany zakres temperatur (od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ), zostały opracowane i wykonane czujniki instalowane od strony zewnętrznej przegród budowlanych, tzw. czujniki „zimne” – CCT-1.. Na

bazie elementów TSic™ 506F [5], które również były kalibrowane fabrycznie na wymagany zakres temperatur (od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  z dokładnością  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ), zostały opracowane i wykonane czujniki instalowane we wnętrzu i od strony wewnętrznej przegród budowlanych, tzw. czujniki „ciepłe” – CCT-2. Czujniki temperatury CCT-1 oraz CCT-2 wykonane zostały w postaci jednostronnie zamkniętych rurek ze stali nierdzewnej o średnicy 6 mm i długości 40 mm. Elektroniczne elementy pomiarowe TSic™ umieszczono na kropki pasty termoprzewodzącej na dnie rurki, po czym wewnątrz rurki zalane zostało elastyczną żywicą uszczelniającą zalecaną przez producenta elementów TSic™. Dodatkowo, wyprowadzenie przewodu z czujnika zostało uszczelnione koszulką termokurczliwą obejmującą rurkę i przewód połączeniowy.

Czujniki CCT-1 oraz CCT-2 są podłączone do koncentratorów danych KCT, które obsługują odczyty z czujników oraz przekazują dane pomiarowe do systemu zbierania i rejestracji danych.

### 4. ARCHITEKTURA ZBIERANIA DANYCH

System Opomiarowania Specjalistycznego obejmuje kilka warstw akwizycji danych (rys. 8). Na najniższej warstwie znajdują się koncentratory stanowiące bezpośredni interfejs do odczytu cyfrowych czujników CCT-1, CCT-2 oraz Dallas DS18B20.



Rys. 8. Akwizycja danych i struktura systemu SOS

#### 4.1. Koncentratory KCT i KCD

Przy pomocy 157 koncentratorów KCT odczytywane są pomiary z 2274 czujników w konstrukcji budynku, a dalszych 36 koncentratorów KCT służy do odczytu 359 czujników w sondach gruntowych. 6 koncentratorów KCD służy do odczytu 156 czujników w pionowych gruntowych wymiennikach ciepła WGWC. W dalszej kolejności 7 serwerów LINX (protokołem Modbus/RTU, jako węzły Master) służy do odczytu podłączonych do ich magistral Modbus koncentratorów KCT. Odczyty odbywają się poprzez odpytywanie z okresem 30 lub 60 sekund wszystkich rejestrów z kolejnych koncentratorów (funkcja Read Input Registers).

Niepełne wykorzystanie portów KCT oraz ilości pomiarów w serwerach LINX wynika z opomiarowania różnych obszarów budynku i konieczności zlokalizowania urządzeń KCT oraz LINX w bezpośredniej bliskości zainstalowanych czujników. Kolejnym powodem takiej organizacji są względy niezawodności, tzn. wystąpienie

awarii KCT lub LINX spowoduje utratę pomiarów tylko w obszarze obsługiwanych przez te urządzenia.

#### 4.2. Serwery automatyki LINX

Na poziomie poniżej serwerów LINX, oprócz koncentratorów wykorzystujących magistrale Modbus/RTU, znajdują się również urządzenia i oprzyrządowanie wyposażone w interfejs LON TP/FT-10 (kanałowe czujniki temperatury i wilgotności HSM oraz moduły wejść/wyjść LIOB) oraz M-Bus (ciepłomierze LC). W wieloprotokołowych serwerach LINX zostały zdefiniowane punkty danych odpowiadające pomiarom i wysterowaniom także w tych urządzeniach. Dzięki temu, uzyskano ujednolicenie na poziomie serwerów LINX sposobu wymiany danych. Możliwe jest również uzyskanie dostępu do tych danych poprzez interfejs www serwerów LINX (w celach diagnostycznych, serwisowych, ale i użytkowych).

Dalsza droga danych to przesłanie ich z serwerów LINX do systemu SCADA. Odbywa się to z zastosowaniem protokołów OPC (Classic OPC DA i OPC XML/DA). Jest to komunikacja oparta na subskrypcji zmian wartości zmiennych, odbywająca się jednokrotnie przy nawiązaniu połączenia OPC. Następnie w protokole OPC XML/DA, periodycznie z okresem 30 sekund, serwery LINX są odpytywane o listę zmiennych (i ich wartości), których wartości uległy zmianie. Ogranicza się w ten sposób ilość danych do przesłania tylko do tych pomiarów, których wartości uległy zmianie (wystąpiły zdarzenia zmiany wartości). W przypadku awarii serwera LINX, odpowiedź na zapytanie nie zostanie wysłana, skutkując zgłoszeniem błędu komunikacji.

Z uwagi na miejsce zainstalowania czujników (w konstrukcji budynku lub w sondach gruntowych), zmiany rzeczywistej temperatury wykazują dużą inercję, co w połączeniu z dużą stabilnością pomiarów wskazywanych przez czujniki, skutkuje znaczną redukcją ilości danych przesyłanych z wykorzystaniem modelu komunikacji protokołu OPC XML/DA.

Z kolei aplikacja dOPC XCOM, pełniąc rolę bramy pomiędzy obiema odmianami protokołu OPC (zastosowana SCADA natywnie nie obsługuje protokołu OPC XML/DA), jest klientem OPC XML/DA dla serwerów w urządzeniach LINX i serwerem Classic OPC DA dla klienta OPCDrv z systemu SCADA. Komunikacja protokołem Classic OPC DA również polega na subskrypcji zmiennych podlegających monitoringowi, jednak bez zastosowania periodycznego odpytywania wysyłanego z klienta do serwera; zamiast tego serwer dOPC XCOM samodzielnie wysyła aktualizacje zmiennych do klienta OPCDrv (zmiany zmiennych sprawdzane są przez dOPC XCOM co 1 sekundę).

Po aktualizacji wartości pomiarów w kliencie OPCDrv, są one zdarzeniowo przekazywane do procesowej bazy danych czasu rzeczywistego systemu SCADA (PDB) oraz rejestrowane w archiwum wartości historycznych i wizualizowane.

Komunikacja z ustalonym okresem odbywa się w koncentratorach KCT i KCD oraz wszystkich serwerach LINX, odczytujących wszystkie koncentratory KCT i KCD. Od serwerów LINX wzwyż, przesyłane są tylko zmiany wartości pomiarów. Ma to swoje uzasadnienie w ilości danych, tj. pojedynczy koncentrator KCT obsługuje do 15 czujników, pojedynczy LINX maksymalnie 30 koncentratorów, a powyżej serwerów LINX, gdzie zbierane są wszystkie pomiary, przesyłane są tylko zmiany ich wartości.

Sumując wszystkie okresy wymiany danych, można uzyskać maksymalny czas opóźnienia rejestracji i wizualizacji danych z czujników:

$$T_{OP} = T_{KCT} + T_{LINX.Modbus} + T_{OPC.XML} + T_{Classic.OPC} = 5 + 60 + 30 + 1 = 96 [s]$$

gdzie:

$T_{OP}$  – maksymalny czas opóźnienia

$T_{KCT}$  – okres odpytywania czujników CCT-x przez KCT

$T_{LINX.Modbus}$  – okres odpytywania rejestrów Modbus KCT

$T_{OPC.XML}$  – okres sprawdzania zmian przez dOPC XCOM w serwerach LINX

$T_{Classic.OPC}$  – okres wysyłania zmian do OPCDrv

Czas  $T_{OP}$  jest czasem maksymalnym. Dodatkowo, nie zmienia się w trakcie zbierania danych, co w kontekście jakości zebranych danych dla celów ich dalszej analizy, powoduje że nie wprowadza on istotnych zaburzeń do mierzonych temperatur.

#### 4.3. Repozytorium specyfikacji warstwy obiektowej

Oprócz sprzętowej struktury zbierania danych, nie mniej istotnym elementem jest organizacja specyfikacji warstwy obiektowej, tj. czujników w konstrukcji budynku, sondach, wymiennikach czy ścianie akumulacyjnej. Założenia i Wymagania Inwestora oraz Projekty Wykonawczy i Powykonawczy zawierają jedynie przekroje w postaci rysunków z naniesionymi czujnikami (ich symbolami i lokalizacją). Rysunki przedstawiają *Szczegóły* w konstrukcji budynku z umiejscowieniem czujników. Nie stanowią one jednak repozytorium, do którego możliwe byłoby wysłanie elektronicznego zapytania filtrującego, grupującego czy sortującego względem wybranych kryteriów lokalizacji, typu czy sposobu odczytu czujnika. W ramach systemu SOS repozytorium takie zostało zaprojektowane (jako relacyjna baza danych SQL) i wypełnione na podstawie Założeń i Projektów. Specyfikuje ono zarówno lokalizację *Szczegóły* w budynku, czujnika w *Szczególe* i na *Poziomie*, jak i jego tor zbierania danych (KCT i LINX).

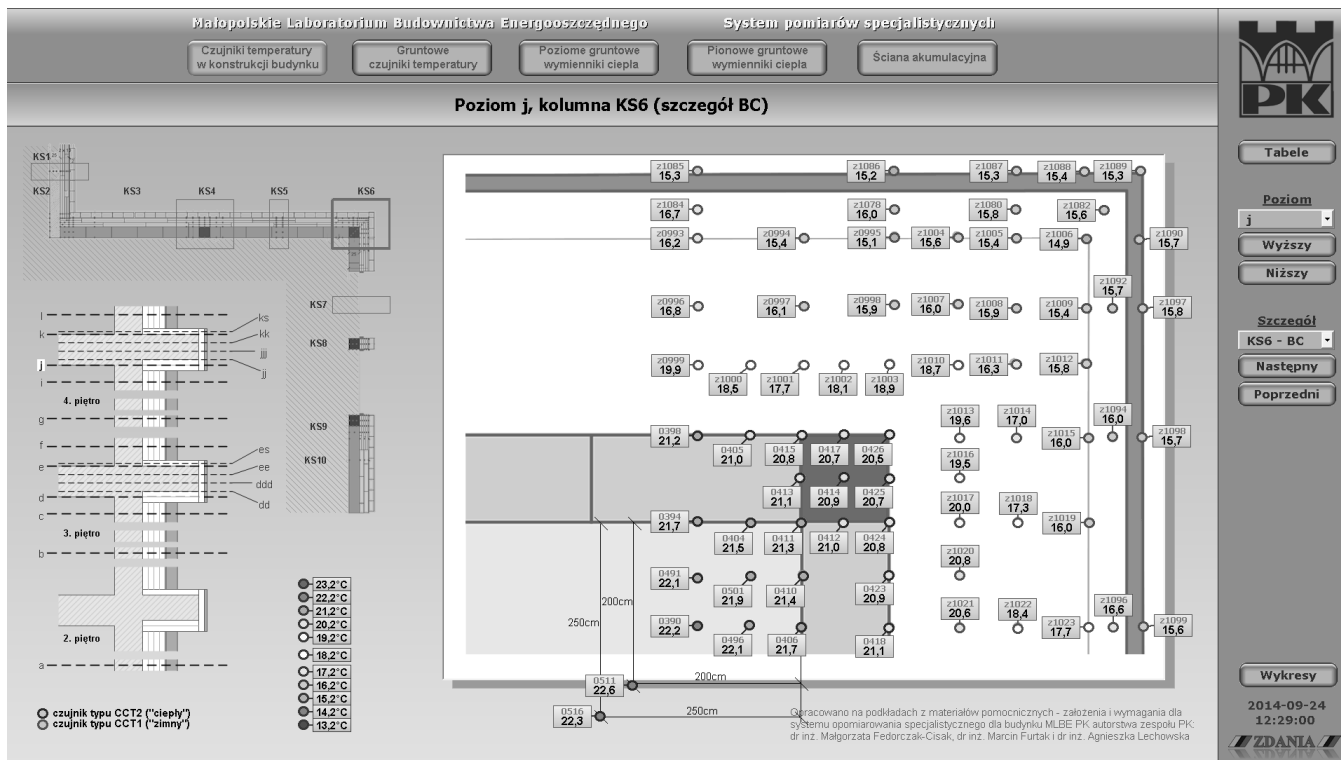
Obejmuje ono również pozostałe sygnały nie związane z opomiarowaniem konstrukcji budynku.

##### 4.3.1 Struktura opisu czujników w konstrukcji

Tabele wytycznych dla czujników w konstrukcji budynku obejmują:

- tabelę *DetLocation* lokalizacji *Szczegóły* w budynku (jako *Poziomu* a-n – wysokości w budynku i *Kolumny Szczegółów* – lokalizacji na poziomie),
- tabelę *SensLocation* lokalizacji czujników (określenie dla każdego czujnika *Poziomu* a-n, *Kolumny Szczegółów* oraz pozycję *Szczegóły* – rząd, wiersz które odnoszą się do przecinających się linii na rysunku *Szczegóły*).
- tabelę *Sensors* torów odczytu czujników (określenie dla każdego czujnika koncentratora KCT – nazwy, adresu Modbus – wraz z numerem rejestru oraz nazwy serwera),
- tabelę *SubdetPosition* współrzędnych (x,y) czujników w *Szczególe* na podstawie numeru rzędu i wiersza (dla celów efektywnego tworzenia wizualizacji).

Tabela *DetLocation* zapewnia mapowanie pomiędzy symbolem *Szczegóły* a jego umiejscowieniem (*poziom*, *Kolumna Szczegółów*) w budynku. Zapewnia możliwość poruszania się po *Poziomie* (w tym uzyskania informacji jakie *Szczegóły* znajdują się na danym *poziomie*).



Rys. 9. Przykład ekranu wizualizacji czujników w konstrukcji budynku MLBE

Z kolei tabela *SensLocation* umożliwia uzyskanie listy czujników w konkretnym *Szczególe* oraz czujników sąsiadujących w każdej osi – zarówno w ramach jednego poziomu jak również pomiędzy poziomami. Na jej podstawie możliwe jest np. zrealizowanie przestrzennego rozkładu temperatur.

Tabela *Sensors* umożliwia identyfikację koncentratora KCT i serwera LINX biorącego udział w odczycie. Na etapie uruchamiania systemu cenna okazała się możliwość prezentacji wszystkich czujników z wybranego koncentratora czy serwera LINX.

#### 4.3.2 Struktura opisu pozostałych obszarów

Dla pozostałych instalacji: sond gruntowych, trzech wymienników i ściany akumulacyjnej, zaprojektowano osobną tabelę *tagDefs*. Zawiera ona wszystkie sygnały z danej instalacji wraz z ich klasyfikacją na symbol instalacji, numer porządkowy (np. numer wymiennika) i nazwę zmiennej w systemie SCADA. Są to informacje wystarczające aby uzyskać zestaw danych (bieżących i historycznych) z danego typu instalacji.

### 5. METODYKA PROJEKTOWANIA SYSTEMU SOS

#### 5.1. Akwizycja z czujników w konstrukcji budynku

Poniżej przedstawiona zostanie metodyka projektowania systemu SOS, bazującego na przemysłowej klasy systemie SCADA-HMI, umożliwiającym zaimplementowanie własnych funkcji rozszerzających system SCADA w celu spełnienia wymagań i potrzeb realizowanego systemu.

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale, zaprojektowano zestaw tabel modelujących system opomiarowania. Tabela *Sensors* definiuje wszystkie czujniki wraz z identyfikacją koncentratora KCT i serwera LINX. Jednak w konfiguracji serwerów LINX, należało zdefiniować analogowe punkty danych (typu zmiennoprzecinkowego) związane z rejestrami Modbus koncentratorów

KCT (typu int16). W celu konwersji, stosowane jest wyrażenie:

$$T = A * 10^{B * (raw + C)}$$

gdzie T – zmiennoprzecinkowy pomiar temperatury,  
raw – wartość rejestru KCT

A, B, C – współczynniki 1, -2, 0

Skoro w konfiguracji serwerów LINX zdefiniowane są koncentratory KCT i rejestry odpowiadające wszystkim czujnikom, naturalnym rozwiązaniem jest tworzenie tabeli *Sensors* właśnie z konfiguracji serwerów LINX. Utworzono zatem w systemie SCADA podprogram odczytujący konfigurację serwerów LINX, tworzący rekordy tabeli *Sensors*, zmienne (itemy) dla klienta OPC Drv i zmienne (tagi) w procesowej bazie danych SCADA. Przyjęcie takiej metodyki zapewnia spójność konfiguracji serwerów LINX z tabelą *Sensors*, konfiguracją OPC i tagami SCADA, które również są automatycznie konfigurowane do rejestracji w archiwum.

#### 5.2. Akwizycja z pozostałych obszarów systemu

Dla czujników sond gruntowych, wymienników i ścian akumulacyjnych zdefiniowano tabelę z indywidualnymi definicjami sygnałów dwustanowych i analogowych oraz ich przypisania do instalacji oraz jej numeru porządkowego. Tabela ta zawiera również tekstowy opis zmiennej, adres w sterowniku LINX, typ oraz zakres. Zdefiniowanie takiej tabeli umożliwia np. przefiltrowanie zmiennych z danej instalacji czy posortowanie wg głębokości pomiaru w sondach gruntowych. Tabela ta używana jest również do programowego utworzenia zmiennych OPC oraz SCADA.

#### 5.3. Projektowanie systemu SOS

Po utworzeniu cyfrowej specyfikacji części obiektowej systemu, zawartej z tabelach bazy danych, a na ich podstawie – a programowy sposób – zmiennych klienta OPC oraz systemu SCADA, należy przygotować wizualizację, rejestrację historyczną oraz zestawienia umożliwiające

analizę wybranych fragmentów budynku (*Szczegółów, słupków, poziomów*).

W celu opracowania ergonomicznej wizualizacji, należy w pierwszej kolejności opracować podział obszarów systemu na ekrany, a następnie nawigację po tych ekranach (wskazane jest aby nawigacja była możliwa nie tylko przy użyciu myszki, ale również klawiatury). W omawianym systemie nawigacja jest dwupoziomowa: pierwszy poziom to wybór rodzaju opomiarowania (czujniki w konstrukcji budynku, gruntowe, wymienniki, ściana akumulacyjna). Drugi poziom to poruszanie się w ramach danego podsystemu, a więc np. dla czujników w konstrukcji jest to wybór prezentacji wszystkich odczytów w postaci listy lub na rzutach, z możliwością niezależnego wyboru *poziomu* i *Szczegółu*.

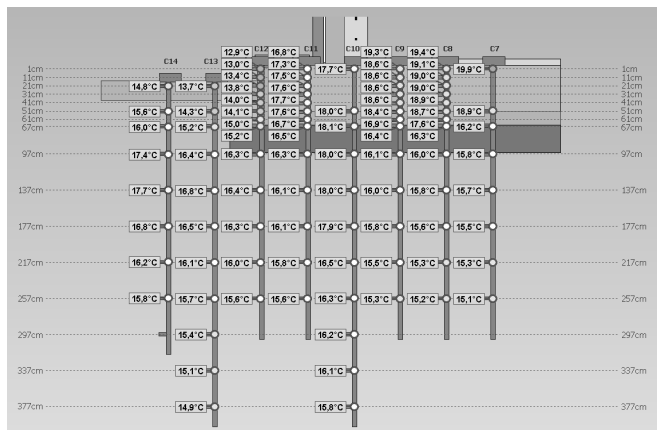
Ekran czujników w konstrukcji (rys. 9) obejmuje:

- fragment przekroju pionowego budynku z zaznaczonym *poziomem* prezentowanym na ekranie,
- fragment przekroju ścian zewnętrznych kondygnacji z zaznaczonym *Szczegółem* (*Kolumną Słupków*) prezentowanym na ekranie,
- legendę kolorów odpowiadających temperaturom (jest ona dynamicznie wyznaczana, poprzez wyliczenie środkowej wartości legendy jako średniej z wszystkich prezentowanych na danym ekranie pomiarów temperatur),
- symboli czujników i ich aktualne odczyty naniesione na podkładzie stanowiącym fragment architektoniczny budynku.

W zakresie samych tylko pomiarów w konstrukcji budynku, system obejmuje 128 ekranów. Aby efektywnie, a zarazem bezbłędnie móc zaprojektować ekrany wizualizacji, zdecydowano o utworzeniu odpowiednich podprogramów w środowisku SCADA, wspomagających ich tworzenie na podstawie specyfikacji czujników w bazie danych. Podprogramy te służą do programowego:

- wstawienia i skonfigurowania fragmentów przekrojów poziomego i pionowego,
- wstawienia podkładu (bitmapy)
- wstawienia czujników we właściwej pozycji (*x,y*) stosownie do podkładu.

Jak można zauważyć na przykładowym ekranie, oprócz samych czujników, również ich symbole muszą zostać właściwie umiejscowione (to również zostało zaimplementowane w podprogramach środowiska SCADA).



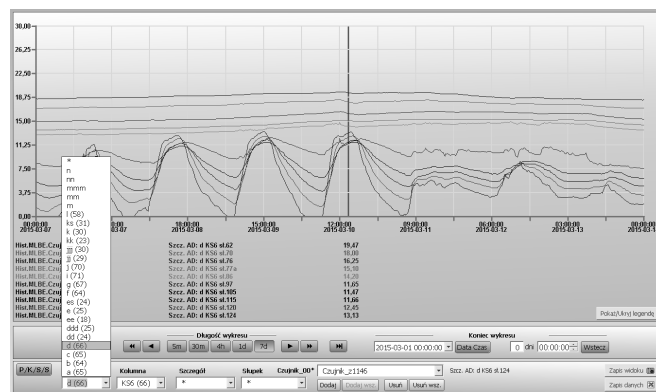
Rys. 10. Przykład wizualizacji pomiarów z czujników gruntowych

Na rysunku 10 przedstawiono przykład wizualizacji pomiarów z czujników gruntowych. Obowiązuje tu ta sama zasada co do legendy – środkowa wartość odpowiada

średniej temperaturze na prezentowanym ekranie, umożliwiając natychmiastowy pogląd na temperatury niższe i wyższe niż średnia.

W zakresie rejestracji historycznej, przygotowano podprogram konfigurujący w usłudze archiwizacji SCADA wszystkie zmienne SCADA. Ponieważ SOS ma rejestrować wszystkie sygnały, nie było potrzeby przygotowania kryteriów wyboru zmiennych do rejestracji.

W kolejnym etapie należało umożliwić przeprowadzanie analiz w wybranych obszarach budynku, a więc na zarejestrowanych wartościach grupy czujników, przefiltrowanych względem wybranych kryteriów ich lokalizacji (*poziomu, Szczegółu* czy lokalizacji w nim). Przygotowano stosowny interfejs użytkownika wykorzystujący specyfikacje z bazy danych umożliwiające wybór czujników ze stosownie przefiltrowanej listy, przedstawienie ich na elastycznie konfigurowalnym wykresie oraz zapis w formacie csv do analizy przez zewnętrzne oprogramowanie (np. Matlab, LabView, itd.).



Rys. 11. Przykład wykresu pomiarów temperatur z konstrukcji (z poziomu d) budynku MLBE wraz z ilościami czujników na innych poziomach kolumny KS6

Filtracja może odbywać się równolegle dla wszystkich kryteriów (*Poziom, Kolumna Słupków* lub *Szczegół, Słupek*) – w końcowym efekcie użytkownik otrzymuje listę czujników spełniającą jeden lub kilka wybranych kryteriów. Razem z wyborem lokalizacji, użytkownik otrzymuje informację o ilości dostępnych czujników po zastosowaniu wybranych kryteriów (rys. 11). Unika się w ten sposób wyboru kryteriów prowadzących do obszaru gdzie brak czujników. Przykładowo, wybierając kolumnę KS6, użytkownik widzi że obejmuje ona *poziomy* od a do l (z wyszczególnieniem ilości czujników na danym poziomie). Dodając do warunku filtracji *poziom* d z 66 czujnikami, system podaje ile czujników znajduje się w pozostałych kolumnach na *poziomie* d (mając nadal aktywne oba warunki – kolumny i *poziomu*).

Dla wszystkich sygnałów system umożliwia również podanie wzorca ich nazwy. Pozwala to na filtrację czujników w konstrukcji typu CCT-1 lub CCT-2, ale również czujników gruntowych, w wymiennikach czy ścianie akumulacyjnej.

Wykresy mogą być tworzone jako przebieg czasowy lub X-Y (zależność jednego pomiaru względem drugiego). Przebiegi czasowe mogą również prezentować pomiary tego samego czujnika w różnych okresach czasu, ułatwiając ich porównywanie (np. nałożone przebiegi z dni d-1 i d-2).

## 6. PERSPEKTYWA BADAŃ „IN-SITU”

Przedstawiony System Opomiarowania Specjalistycznego budynku MLBE wraz z narzędziami informatycznymi do zbierania i przetwarzania danych pomiarowych umożliwi prowadzenie badań in-situ szeregu zjawisk zachodzących w budynku w warunkach rzeczywistych. Badania obejmować mogą następujące obszary tematyczne:

- Metodyka prowadzenia badań z zakresu diagnostyki cieplnej budynków.
- Bilanse energetyczne budynku.
- Właściwości cieplne budynku i jego poszczególnych elementów konstrukcyjnych.
- Weryfikacja modeli przepływu ciepła przez przegrody budowlane.
- Weryfikacja metodologii sporządzania charakterystyk energetycznych budynków.
- Efektywność energetyczna instalacji technologicznych i różnych źródeł ciepła i chłodu.
- Wpływ sterowania, automatyki i zarządzania instalacjami technologicznymi na efektywność energetyczną budynku w zakresie zgodności z normą EN-PN 15232.

## 7. ZAKOŃCZENIE

W niniejszym artykule przedstawiono unikatowy System Opomiarowania Specjalistycznego dla przegród zewnętrznych (elementów konstrukcyjnych budynku) i pomiarów gruntowych budynku MLBE. Został on z powodzeniem zaprojektowany i zaimplementowany na podstawie dokumentu [3] formułującego jego założenia i wymagania systemu. Skoncentrowano się na szczegółowym przedstawieniu struktury opomiarowania obejmującej 2633 czujników temperatury w konstrukcji budynku i sondach gruntowych, jak również na przedstawieniu metodyki projektowania systemu nadrzędnego. System oprócz wspomnianych obszarów, obejmuje również opomiarowanie wymienników i ścian akumulacyjnych, nie

były one jednak przedmiotem szczegółowego przedstawienia w artykule.

Metodyka projektowania systemu nadrzędnego, oparta jest na specyfikacji czujników części obiektowej w bazie danych oraz podprogramach w środowisku SCADA. Podprogramy te nie tylko pozwoliły efektywnie i bezbłędnie zrealizować system zbierania i wizualizacji pomiarów, ale również wskazać błędy specyfikacji na etapie wdrażania systemu (powielone lub brakujące czujniki). W przypadku modyfikacji lub rozbudowy systemu w zakresie tej samej struktury, stworzone mechanizmy zostaną wykorzystane w swojej istniejącej formie. Opracowana baza danych specyfikacji czujników może również zostać wykorzystana przez zewnętrzne oprogramowanie do analizy. Zastosowanie standardowej bazy danych i możliwości uzyskania pomiarów w postaci pliku w formacie csv, umożliwia efektywne wykorzystanie danych z systemu.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Dyrektywa nr 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej, z 16 grudnia 2002 r. Energy Performance of Building Directive
- Dyrektywa nr 2010/30/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej, z 2 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków – wersja przekształcona, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, PL, L 153/13, 18.06.2010.
- Fedorczak-Cisak M., Furtak M., Lechowska A. Materiały pomocnicze – założenia i wymagania dla systemu opomiarowania specjalistycznego w budynku MLBE PK, materiały niepublikowane, Kraków, 2012
- TSic™ 206/203/201/306/303/301 – Low power, easy to integrate Temperature Sensor IC, IST AG – karta katalogowa
- TSic™ 506F/503F/501F – High precision, longterm stable temperature sensor IC, IST AG – karta katalogowa
- Brokaw, Paul (December 1974), "A simple three-terminal IC bandgap reference", IEEE Journal of Solid-State Circuits 9 (6): 388–393

## EXPERT MEASUREMENT SYSTEM FOR MLBE (LESSER POLAND LABORATORY FOR ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS) BUILDING AT THE CRACOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MLBE (Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego) at the Cracow University of Technology is a R&D institution which was founded for conducting research on energy-efficient technologies, material, construction and installation solutions and on comfort in low-energy buildings. Researches planned include also verification of methodology for building energy characteristics preparation and verification of thermal models of heat flow in building construction. For this purpose, the MLBE building was equipped with Expert Measurement System for construction elements of the building. Therefore the MLBE building itself is a facility under survey and subject of the research. The paper presents foundations for Expert Measurement System for building construction elements and its realization. System allows to study temperature distribution and heat flow in selected construction elements of the building, such as ceilings, outer wall, cornices, basement and ground under and around the building. The paper presents also an IT structure and design methodology of the Expert Measurement System, which allows on-line acquisition, recording, visualization and data analysis from over 3000 measurement points installed in building construction. Finally, an example but real measurements from chosen construction elements were presented, followed by perspectives for further “in situ” research tasks to be conducted using Expert Measurement System of MLBE.

**Keywords:** measurement system, temperature measurement in construction elements of the building, modeling of thermal flows, methodology of building characteristics elaboration.