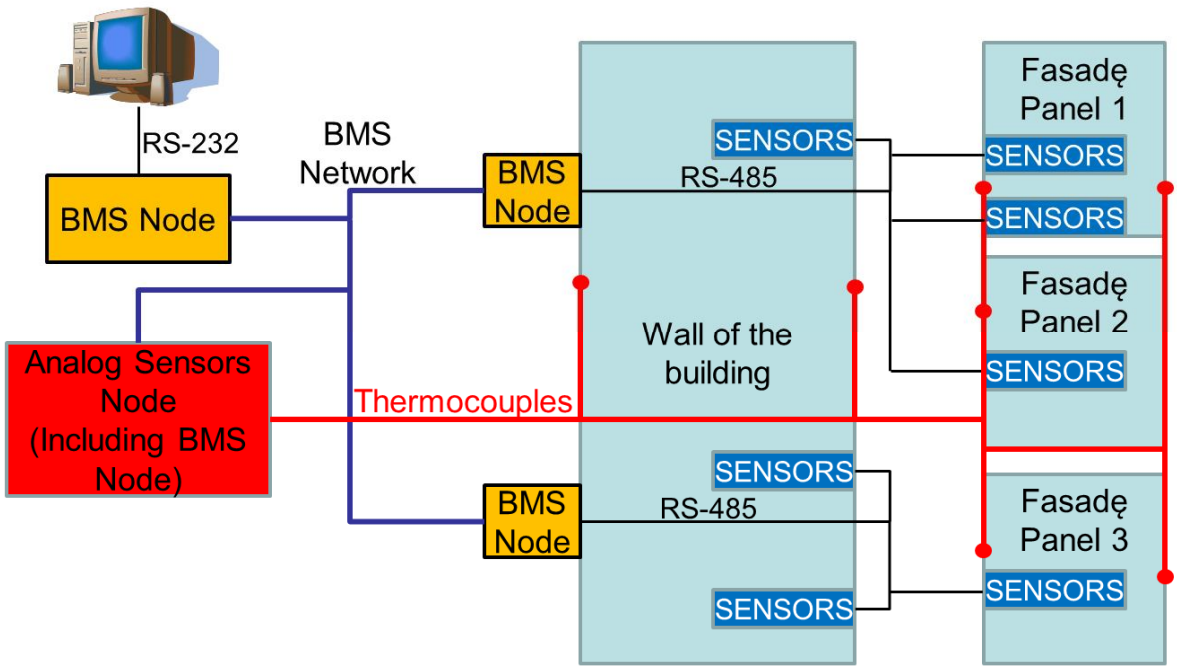
Sieć czujnikowa do monitorowania rozkładu temperatury i wilgotności w budynkach, zbudowana w oparciu o rozwiązania BMS

Celem projektu było opracowanie systemu monitorującego skuteczność izolacji termicznej oraz odporność na penetrację wilgoci nowatorskich paneli elewacyjnych służących do termomodernizacji budynków. Dodatkowym założeniem projektu była możliwość szerszego zastosowania opracowanego systemu w monitoringu rozkładu temperatury, oraz wilgotności w budynkach wyposażonych w sieć zarządzania budynkiem (BMS). System zbudowano w oparciu o standard LonWorks, co umożliwia zastosowanie zaprojektowanych elementów w każdym budynku w niego wyposażonym. Przygotowano elementy umożliwiające pomiar zadanych wartości zarówno wewnątrz elementów izolacyjnych (paneli ocieplających), jak i po obu stronach ściany zewnętrznej monitorowanego budynku. Przeprowadzono szereg testów niezawodnościowych w realistycznych warunkach eksperymentalnych, oraz przygotowano system do wdrożenia w makietach testowych.

1. Opis Osiągnięcia

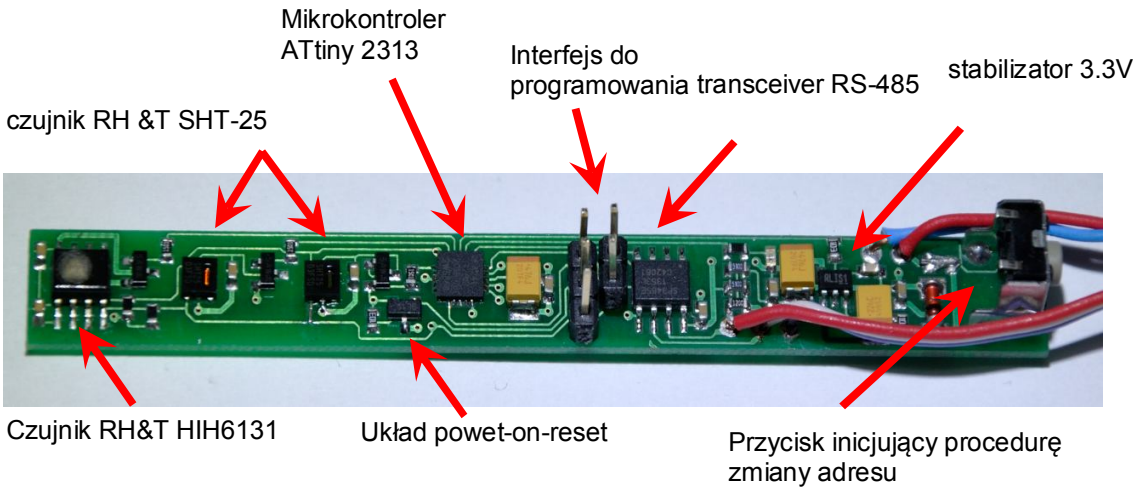
System zaprojektowano tak, aby był możliwie elastyczny i sprawdził się zarówno w monitoringu makiet (budynków eksperymentalnych) wykonanych w ramach projektu SESBE, jak i pozwalał na wdrożenie go w faktycznych budynkach mieszkalnych, biurowych, czy przemysłowych. Przyjęto następującą architekturę sieci umożliwiającą wprowadzenie danych z pomiarów (czujniki) do sieci zarządzania budynkiem oraz udostępnienia ich on-line (Rys. 1).



Rys. 1. Architektura sieci monitorującej

Sieć monitorująca, której architekturę przedstawia Rys. 1, składa się z następujących elementów:

- **Węzły pomiarowe (SENSORS)**

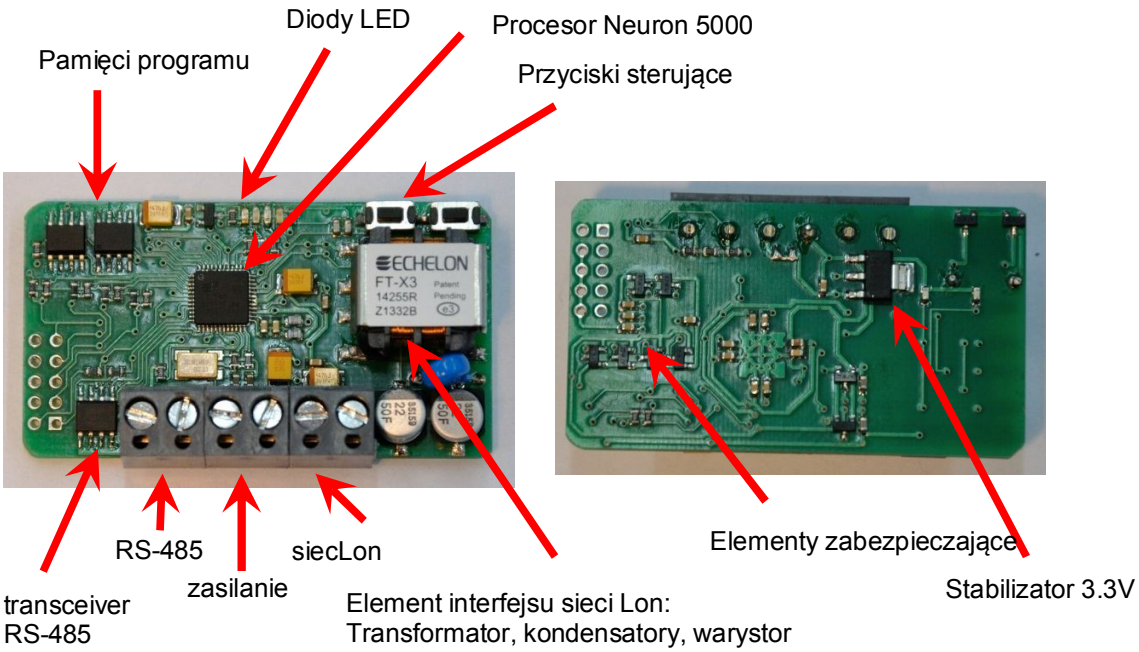


Rys. 2. Prototyp węzła pomiarowego

Zaprezentowany na Rys. 2 węzeł pomiarowy przeznaczony jest do montażu wewnątrz wywierconego (lub wcześniej przygotowanego) otworu w ścianie, lub panelu na niej montowanym. Oznacza to że, by uniknąć mostkowania termicznego przez wspomniany otwór, szerokość płytki drukowanej tego urządzenia musiała być ograniczona do minimum. W ostatecznej wersji osiągnięto szerokość 7 mm.

Prototyp wyposażono w dwa typy czujników wilgotności i temperatury: SHT-25 (Sensirion) i HIH6131 (Honeywell). Węzeł wyposażono w interfejs RS-485 oraz procedury adresacji identyfikujące go w sieci. Na żądanie, po odbiorze odpowiedniej ramki, urządzenie odpowiada wynikami pomiarów wilgotności i temperatury. Logikę działania całego węzła pomiarowego realizuje procesor ATiny2313 firmy Atmel.

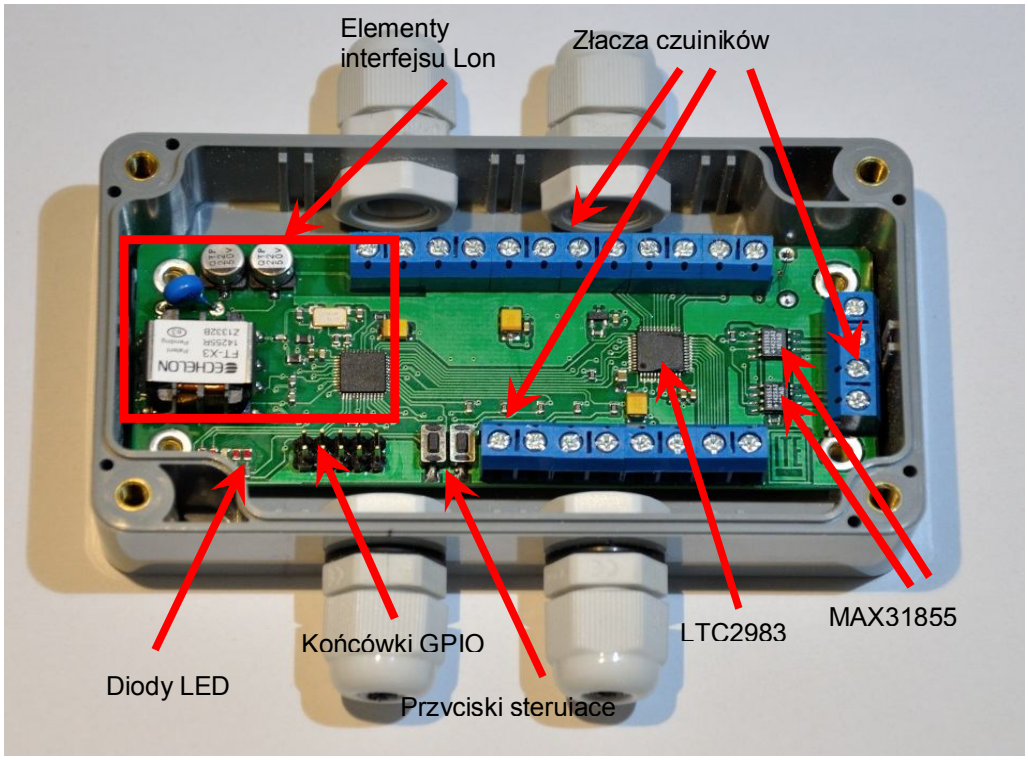
- **Węzeł BMS (BMS Node)**



Rys. 3. Węzeł BMS, widok z góry i z dołu

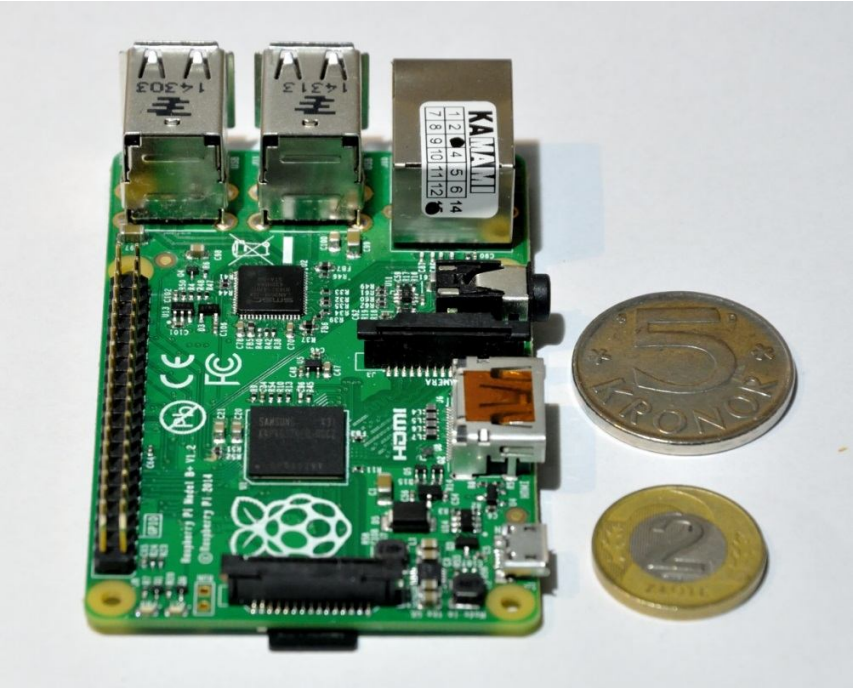
Ze względu na narzucone ograniczenia rozmiarów węzła pomiarowego, nie było możliwe wyposażenie go w interfejs zgodny ze standardem LonWorks. Wymiary samego transformatora znacznie przekraczają ustaloną maksymalną średnicę otworu montażowego. Mając ten fakt na uwadze konieczne było zaprojektowanie węzła BMS służącego jako konwerter między siecią LonWorks, a siecią RS-485. Dzięki temu możliwa jest komunikacja, z węzłami pomiarowymi, dowolnego urządzenia podłączonego do sieci LonWorks. Węzły BMS wyposażone zostały w procedury adresacji co pozwala, w razie awarii, odciąć selektywnie część sieci. Układ oparto na procesorze Neuron 5000 firmy Echelon.

- **Węzeł czujników analogowych (Analog Sensors Node)**



Rys. 4. Węzeł czujników analogowych

Dodatkowy węzeł sieci przeznaczony do obsługi czujników analogowych ma za zadanie umożliwienie pomiarów temperatury po obu stronach ścian, oraz w ich spoinach. Planowane jest tu wykorzystanie typowych elementów pomiarowych, jakimi są termopary. Węzeł czujników analogowych zbudowany został na bazie nowego produktu firmy Linear Technology – układu LTC2983. Układ ten zawiera 20 konfigurowalnych wejść analogowych pozwalających na podłączenie różnego rodzaju czujników (diody, czujniki termorezystancyjne, termistory i termopary). Implementuje on również procedurę kompensacji zimnych końców termopar. Komunikację z siecią BMS i nadzór nad pomiarami, oraz procedurami adresowania węzła, realizuje procesor Neuron 5000.



- **Kontroler sieci czujnikowej.**

Rys. 5. Mikrokomputer jednopłytowy Raspberry PI 2 B

Nadzór nad pomiarami w systemie, zgodnie z zaplanowanym harmonogramem, sprawuje mikrokomputer jednopłytowy Raspberry PI 2 model B. Jego rolą jest również zapisywanie pozyskanych wyników pomiarowych do bazy danych. Urządzenie to wyposażone jest w czterordzeniowy procesor ARM Cortex-A7, oraz system operacyjny Raspbian, będący klonem systemu Debian GNU Linux. Oferuje ono wiele narzędzi pozwalających wydajnie współpracować zarówno z urządzeniami zewnętrznymi, jak i z globalną siecią internetową. Pojedynczy mikrokomputer tego typu może nadzorować sieć monitorowania wszystkich węzłów w budynku.

- **Baza danych.**

Ostatnim kluczowym elementem sieci monitorującej jest baza danych. Zdefiniowana w MySQL zawiera dwie tablice agregujące wyniki pomiarów z dwóch różnych zestawów makiet na których system będzie testowany (w Polsce oraz w Hiszpanii).

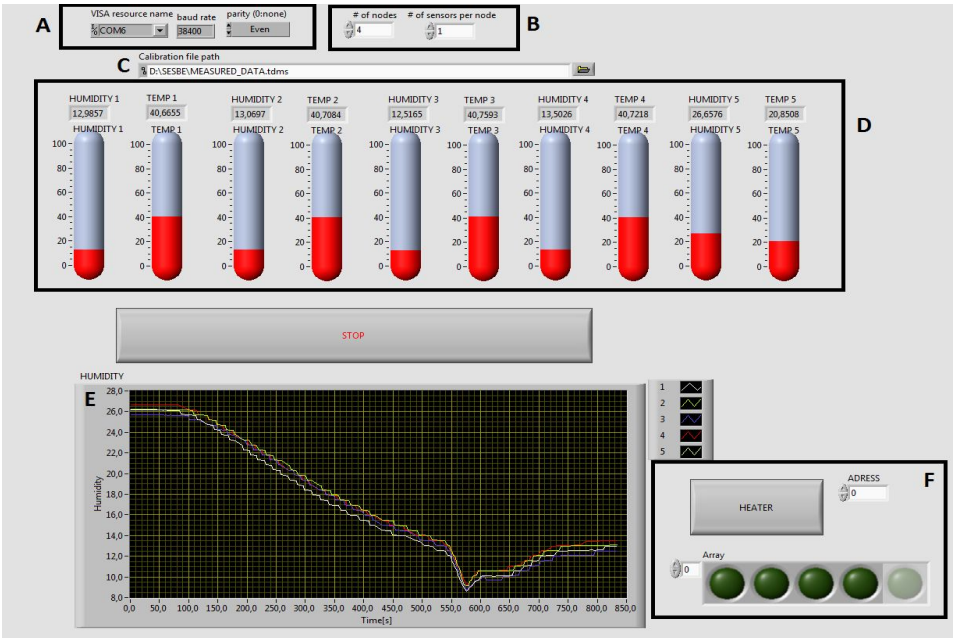
Przed przystąpieniem do pomiarów na dużą skalę (w makietach wytworzonych w ramach projektu SESBE) konieczne były testy niezawodnościowe każdego elementu systemu osobna. Zaprojektowane urządzenia powinny wykazywać się:

- wiarygodnością transmisji,
- wiarygodnością zmierzonych danych,
- odpornością na zakłócenia,
- długotrwałą wytrzymałością zastosowanych elementów.

W celu ewaluacji powyższych zagadnień zestawiono następujące środowiska pomiarowe:

- **Pomiary dokładności węzłów czujnikowych**

W celu przetestowania wiarygodności zmierzonych przez węzły pomiarowe wartości zaprojektowano dedykowaną aplikację pomiarową w środowisku LabVIEW. Jej panel czołowy widać na rysunku 6. Jej głównymi zadaniami są: wyzwalanie pomiarów, odbieranie wyników, oraz ich zapis i wizualizacja.



Rys. 6. Panel czołowy aplikacji pomiarowej węzłów czujnikowych

Za jej pomocą przeprowadzono następujące trzy testy:

I. Symulacja trudnych warunków środowiskowych w komorze klimatycznej

W celu przetestowania poprawności działania węzłów czujnikowych w skrajnych temperaturach, których się spodziewamy, przeprowadzono testy w komorze klimatycznej (widoczna na Rys. 7). Potwierdzono poprawne zachowanie w przedziałach temperaturowych od -20 do 50 stopni Celsjusza.

Rys. 7. **Komora klimatyczna**

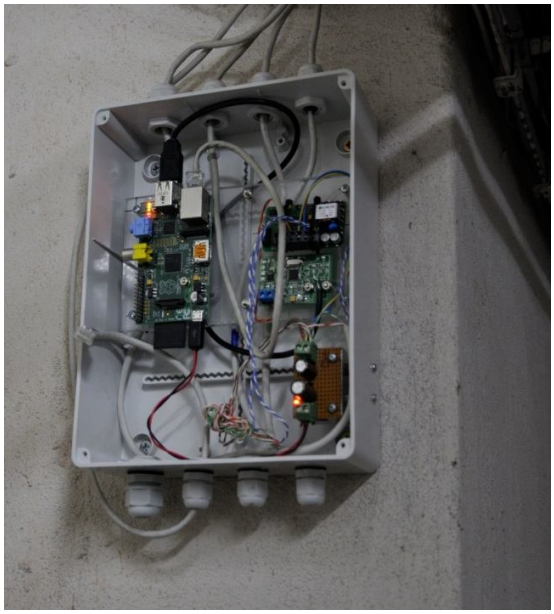
II. Testowanie pomiarów w stałym materiale.

Eksperyment przeprowadzono celem empirycznego przetestowania metody pomiarowej stosowanej przez węzły czujnikowe – pomiaru temperatury i wilgotności materiału o stałym stanie skupienia poprzez pomiar pośredni tych wartości w powietrzu będącym wewnątrz szczelnie izolowanego, od warunków zewnętrznych, otworu. Dwa węzły umieszczono wewnątrz wywierconych w bloku Ytongu otworach. Materiał następnie został doprowadzony do stanu silnej wilgotności, a efekty tego procesu, oraz dalszego suszenia, znalazły odzwierciedlenie w wynikach pomiarów. Omówiony test przedstawia Rys.8.

Rys. 8 blok Ytongu z dwoma węzłami pomiarowymi

III. Odporność na zakłócenia w przemysłowych warunkach i testy długich połączeń

W celu sprawdzenia poprawności komunikacji za pośrednictwem przewodów o znacznej długości, oraz odporności na zakłócenia transmisji między węzłami pomiarowymi i jednostką centralną, węzeł pomiarowy został zamontowany na zewnątrz jednego z budynków ITE. Jego przewody poprowadzono obok linii telefonicznych, oraz zasilania, używanych na co dzień przez pracowników instytutu. Po kilku miesiącach zbierania danych nie wykryto żadnych problemów z transmisją w takim środowisku. Omówione środowisko pomiarowe prezentują Rys.9 i Rys 10.

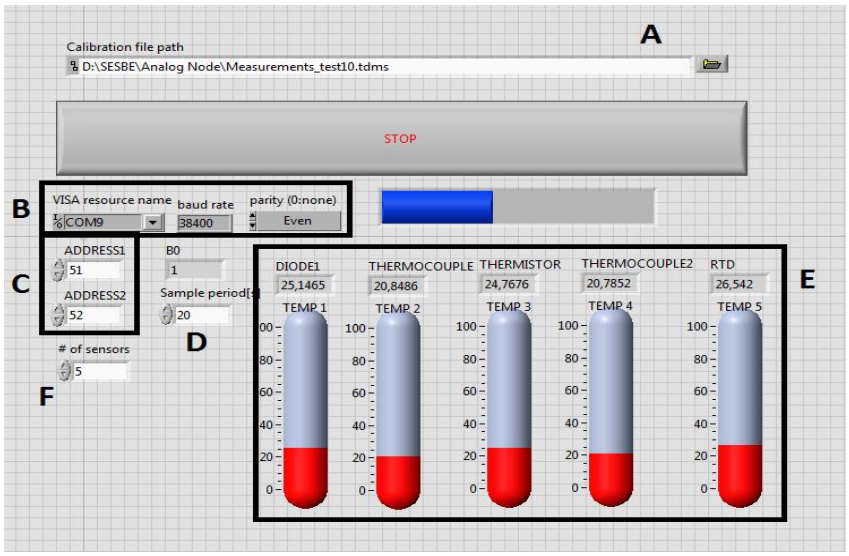


Rys. 9. Kontroler sieci przeprowadzający test - pokrywa zdjęta

Rys. 10. Węzeł pomiarowy przy kominie należącym do jednego z budynków ITE

- **Testy węzła czujników analogowych**

Na potrzeby testów węzła czujników analogowych przygotowano kolejną aplikację pomiarową w środowisku LabVIEW. Jej zadaniem jest wyzwalanie pomiarów i logowanie, oraz wizualizacja wyników. Panel czołowy przedstawiono na Rys. 11.



Rys. 11. Panel czołowy aplikacji pomiarowej testującej węzły czujników analogowych

Wykonano kalibrację czujników (ponownie w komorze klimatycznej zaprezentowanej na Rys. 7), oraz serię pomiarów, i zweryfikowano poprawność działania tego elementu. Przetestowano również dokładność pomiarów różnych rodzajów czujników mogących służyć kompensacji zimnego końca termopary.

2. Zastosowanie (w tym informacja o wdrożeniu)

Opisany system monitorowania ma mieć dwojakie zastosowanie. Po pierwsze, zostanie wdrożony w makietach (budynkach eksperymentalnych) służących do przetestowania parametrów paneli izolacyjnych wyprodukowanych w projekcie SESBE, a także ich trwałości i odporności na warunki klimatyczne. Po drugie, jest to system gotowy do zastosowania w budynkach wyposażonych w sieć zarządzania budynkiem zgodną ze standardem LonWorks.

3. Znaczenie Naukowe, Ekonomiczne i Społeczne

Sieci zarządzania budynkiem pozwalają zredukować koszty mediów wykorzystywanych w budynkach, dodatkowo zaprojektowane czujniki pozwalają nie tylko monitorować rozkład temperatury w pomieszczeniach, użyteczny z punktu widzenia systemów klimatyzacji, wentylacji i ogrzewania, ale również penetrację wilgoci w ścianach co umożliwia ciągła obserwację stanu elewacji budynku.

4. Źródła Finansowania

Opisywane prace finansowane były z projektu SESBE (*Smart Elements for Sustainable Building Envelopes*), FP7-2013-NMP-ENV-EeB, grant agreement: 608950

5. Twórcy Osiągnięcia

Grzegorz Janczyk, Dariusz Obrębski, Michał Zbieć