

# **WNIOSEK O PORTFOLIO:**

## **Opracowanie założeń do koncepcji mikrosieci elektroenergetycznej zastosowanej dla budynkach użyteczności publicznej lub w budynkach przemysłowych i biurowych**

*Autorzy: Andrzej Bień, Edmund Ciesielka*

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

## Wprowadzenie

Celem projektu było stworzenie założeń do koncepcji inteligentnej sieci w budynkach przemysłowych lub biurowych, charakteryzujących się wysokim zużyciem oraz niestandardowym profilem poboru energii elektrycznej. Przykładowa koncepcja została zrealizowana dla jednego z budynków Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (budynku B). Dodatkowo poza ekonomicznym zyskiem dla zarządcy budynku, w przykładowej koncepcji zostały uwzględnione cele dydaktyczne uczelni – mikrosieć umożliwi studentom uczestnictwo w zajęciach praktycznych związanych z sieciami wewnętrznymi.

Wydzielenie wewnętrznej mikrosieci elektroenergetycznej zapewnia większe bezpieczeństwo dostaw. Zastosowanie wielu różnorodnych technologii wytwarzania (OZE i konwencjonalne) zapewnia pełną dywersyfikację paliw. Nie należy rozumieć mikrosieci jako sieci wydzielonej, mikrosieć jest przyłączona do sieci dystrybucyjnej, jednak od klasycznego odbiorcy wyróżnia ją aktywne zarządzanie zużyciem i wytwarzaniem. Dzięki mikrosieci możliwa jest optymalizacja kosztów zewnętrznego zapotrzebowania, np. poprzez obniżenie poziomu zamówionej mocy. Zarządzanie poborem energii wpływa także na wygładzenie profilu zapotrzebowania, co może przełożyć się na uzyskanie bardziej konkurencyjnych cen energii. Mikrosieć składać powinna się z urządzeń odbiorczych, wytwórczych i zasobników energii. Wszystkie istotne urządzenia powinny być wyposażone w systemy sterowania, centralnie zarządzane. Z punktu widzenia sieci dystrybucyjnej, mikrosieć stanowi wirtualną elektrownię, która umożliwi współpracę z siecią. Pełne wykorzystanie mikrosieci przez energetykę zawodową wymaga wdrożenia szerokiego wachlarza programów DSM.

Utworzenie mikrosieci jest poprzedzone wykonaniem szczegółowego audytu energetycznego. Audyt energetyczny rozpoczyna się od inwentaryzacji techniczno-budowlanej obiektu, związanej z ogólną oceną stanu technicznego budynku oraz urządzeń i instalacji. Na podstawie pozyskanych informacji wykonywany jest szczegółowy projekt mikrosieci. Uwzględnia się przy tym warunki geograficzne obiektu (nasłonecznienie, średnie temperatury miesięczne) tak aby dobrać najbardziej optymalny katalog źródeł wytwórczych. Wykonany projekt jest podstawą do opracowania analizy opłacalności i późniejszego planu wdrożenia.

Opisane powyżej podejście zostało zastosowane do opracowania koncepcji mikrosieci budynku B1 AGH.

## 1. Inwentaryzacja obecnej instalacji

### 1.1. Budynek

Koncepcja została przygotowana dla budynku B1 wraz z częścią hali maszyn. Wybrane obiekty wchodzi w skład kompleksu czterech budynków i hali maszyn położonego na terenie należącym do Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Na poniższej mapie zaznaczono część kompleksu stanowiącą podstawę do opracowania koncepcji mikrosieci.



Do opracowania koncepcji został wybrany budynek B1 wraz z częścią hali maszyn dedykowaną dla budynków B1 i B2.

Budynek B1 składa się z pięciu kondygnacji (piwnicy i czterech kondygnacji nadziemnych). Jest połączony jednokondygnacyjną przewiązką na poziomie piwnicy z budynkiem B2. Przylega bezpośrednio do trzykondygnacyjnego budynku dawnej hali maszyn. Część dawnej hali maszyn przylegająca do budynków B3 i B4 została zmodernizowana w ramach innego projektu. Dlatego uznano, że w opracowaniu zostanie uwzględniona wyłącznie część hali maszyn przylegająca do budynków B1 i B2. Poniższa tabela przedstawia szczegółowe dane na temat powierzchni wewnętrznych badanych budynków.

Kondygnacja	Budynek B1	Hala maszyn (część badana)
Piwnica	939,0 m	n/d
Parter	938,0 m	3 362,0 m
I piętro	936,0 m	3 008,0 m
II piętro	768,0 m	718,0 m
III piętro	969,0 m	n/d
<b>SUMA</b>	<b>16 134,0 m</b>	<b>7 008,0 m</b>

Całkowita kubatura obiektów wynosi 16 134 m<sup>3</sup> (budynek B1) i 34 160 m<sup>3</sup> (hala maszyn).

## 1.2. Energia ciepła

Istotne dla opracowania koncepcji mikrosieci jest określenie profilu zapotrzebowania na energię ciepłą. W przypadku energii cieplnej ważne jest oszacowanie sezonowości rocznej, profil dobowy nie odgrywa większego znaczenia. Poniżej zostało zaprezentowane miesięczne zapotrzebowanie na energię ciepłą [GJ] badanych budynków.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	788,0	579,0	486,0	223,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	196,0	467,0	455,0
2012	608,0	763,0	402,0	257,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	251,0	389,0	528,0
2013	782,0	558,0	556,0	364,0	19,0	0,0	0,0	0,0	4,0	251,0	341,0	629,0
2014	405,0	453,0	346,0	282,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Średnia	645,8	588,3	447,5	281,5	11,5	0,0	0,0	0,0	1,0	232,7	399,0	537,3

### 1.3. Energia elektryczna

Pawilon B1 zasilany jest trzema dopływami (zasilaniami). Poniżej zostało zaprezentowane miesięczne zapotrzebowanie na energię elektryczną [MWh] badanego budynku oszacowane na podstawie pomiarów z dwóch głównych przyłączy. Stanowi to około 97% zapotrzebowania na energię elektryczną całego budynku B1. Średnio miesięczne zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 35-36 MWh.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2012	36,6	31,3	38,0	32,5	33,4	35,6	35,2	25,3	31,6	40,5	39,6	34,1
2013	38,3	33,7	40,3	33,0	32,9	34,4	35,2	25,3	29,9	37,1	39,6	34,1
2014	38,4	26,7	37,0	33,5	32,5	33,2	35,2	25,3	28,2	33,7		
Średnia	37,8	30,6	38,4	33,0	32,9	34,4	35,2	25,3	29,9	37,1	39,6	34,1

## 2. Rozważane źródła wytwórcze

### 2.1. Panele PV

Panele fotowoltaiczne zaliczane do odnawialnych źródeł energii cechuje właściwie minimalny koszt obsługi. Popularyzacja paneli fotowoltaicznych spowodowała obniżenie kosztów inwestycji oraz rozwój technologii. Najpopularniejszymi są ogniwa:

1. Krystaliczne krzemowe określane mianem ogniw pierwszej generacji, które z uwagi na rodzaj użytego półprzewodnika należy podzielić na monokrystaliczne i polikrystaliczne.
2. Cienkowarstwowe, określane mianem ogniw drugiej generacji. Nazwa pochodzi od bardzo cienkiej warstwy półprzewodnika (kilka mikrometrów). Cechuje je niewielka sprawność (4 do 12%) co przekłada się na relatywnie dużą powierzchnię wymaganą do osiągnięcia 1 kW mocy elektrycznej (od 10 do 15 metrów kwadratowych).
3. Polimerowe, uznane jako ogniwa trzeciej generacji. Większość polimerowych rozwiązań znajduje się nadal w fazie koncepcji i nie istnieją komercyjne produkty tego rodzaju. Główną zaletą ogniw polimerowych może okazać się niski koszt produkcji paneli, który znacząco powinien wpłynąć na redukcję jednostkowego kosztu produkcji energii elektrycznej.

Proponowane rozwiązanie zakłada instalację trzech rodzajów paneli, popularnych monokrystalicznych i polikrystalicznych jak i paneli cienkowarstwowych (II generacji). Zostaną one także podzielone na zainstalowane nadążnie (optymalizując kąt padania słońca) oraz stacjonarnie. Szacuje się, że instalacja składać się będzie z paneli o łącznej mocy elektrycznej około 40 kW. Powinno to być optymalną wartością biorąc pod uwagę zapotrzebowanie na energię szczytową. W poniższej tabeli zamieszczono zestawienie proponowanych do budynku B1 paneli.

Rodzaj paneli	Instalacja				Suma [kWp]
	Stacjonarna		Nadążna		
	Ilość [szt]	Moc [kWp]	Ilość [szt]	Moc [kWp]	
Polikrystaliczne	40	10,60	4	1,06	11,66
Monokrystaliczne	40	10,60	4	1,06	11,66
Cienkowarstwowe	72	10,80	4	0,60	11,40
<b>Suma</b>	<b>152</b>	<b>32,00</b>	<b>12</b>	<b>2,72</b>	<b>34,72</b>

## 2.2. Pompa ciepła

Pompę ciepła dobrano w ten sposób, aby pracowała przez cały sezon grzewczy w podstawie obciążenia. Aby stworzyć dla niej najlepsze warunki pracy pompa ciepła powinna podgrzewać wodę powrotną z instalacji C.O. Z uwagi na to, że istnieje potrzeba wyprowadzenia przewodów grzewczych poza budynek dla odbioru ciepła z turbiny gazowej zdecydowano, że przewody te doprowadzi się również do pompy ciepła. W związku z tym, pompa może być urządzeniem monoblokowym (bez potrzeby prowadzenia rur z czynnikiem chłodniczym do budynku jak to ma miejsce w urządzeniach typu „split”). Wiedząc, że przepływ w obiegu C.O. wynosi ponad 20m<sup>3</sup>/h, proponuje się doprowadzenie do pompy ciepła jedynie części z tego strumienia, aby niepotrzebnie nie przewymiarowywać rurociągów. Pompa ciepła powinna pracować z różnicą temperatur wody grzewczej  $\Delta T=5\div 10K$ . Suma mocy grzewczej pompy ciepła i turbiny gazowej nie powinna przekraczać rzeczywistej średniej mocy węzła cieplnego równej ok. 180kW. Stąd proponowana moc grzewcza pompy ciepła wynosić powinna ok. 40÷60 kW. Biorąc pod uwagę wielkość instalacji C.O. (pojemność zładu) i jej wysoką moc grzewczą w stosunku do mocy pompy ciepła sprężarka pompy nie musi być wyposażona w inwerter zapewniający płynną regulację wydajności, gdyż w założeniu pracować będzie bez przerw. Zastosowanie inwertera można jednak rozważyć ze względu na cel badawczy i poszerzenie możliwości doświadczalnych.

Dobrano wstępnie:

- monoblokowa pompa ciepła o mocy grzewczej 50 kW (nominalna moc elektryczna 14 kW),
- przepływ wody grzewczej do pompy ciepła: 4÷8 m<sup>3</sup>/h ( $\Delta T=5\div 10K$ ),
- maksymalna temperatura zasilania: 65°C,
- szacowana produkcja ciepła przez pompę na potrzeby C.O. 768 GJ (24%),
- szacowany średniosezonowy COP pompy ciepła: COP<sub>śr</sub> = 3,0,



- proponowane opomiarowanie (czujnik powietrza wlotowego do pompy, indywidualny licznik energii elektrycznej, ciepłomierz).

### 2.3. Źródło gazowe

Mikroturbiny gazowe wciąż stanowią gałąź rozwijającą. Niewielu jest producentów mikroturbin gazowych oferujących technologię sprawdzoną i dojrzałą. Stąd oferta rynkowa w zakresie dostawy i serwisu mikroturbin nie jest jeszcze szeroko rozwinięta. Z przeanalizowanych dostępnych technologii produkowane są typoszeregi mikroturbin gazowych obejmujące moce 30, 65, 100, 200, 400kW<sub>el</sub>. Stosunek skojarzenia (moc elektryczna do mocy cieplnej) dla tych urządzeń wynosi ok. 0,5÷0,6. Aby osiągnąć cel maksymalnego zagospodarowania ciepła odpadowego z turbiny (ciepło gorących spalin o temp. ok. 300°C) możliwe jest zastosowanie turbiny o mocy 30 lub 65 kW<sub>el</sub>, i odpowiednio ok. 60kW<sub>th</sub> lub 110 kW<sub>th</sub> (mocy grzewczej). W sezonie letnim ciepło z turbiny zasilać ma agregat absorpcyjny wody lodowej. Zakładając moc chłodniczą agregatu na poziomie 50 kW otrzymuje się moc grzewczą na poziomie 80÷90 kW. Z tego względu wybrano mikroturbinę o mocy 65kW<sub>el</sub> i 110kW<sub>th</sub>. Mikroturbina pracować powinna z automatycznym dopasowaniem wydajności grzewczej do zapotrzebowania na ciepło grzewcze.

Dobrano wstępnie:

- turbina gazowa o mocy 65kW<sub>el</sub> i mocy cieplnej 110 kW.
- sprawność elektryczna turbiny: ok. 30%
- zapotrzebowanie na paliwo gazowe (gaz ziemny typu E): 22 m<sup>3</sup>/h
- przepływ wody grzewczej do turbiny: 5÷8 m<sup>3</sup>/h ( $\Delta T=10\div 20K$ ).
- waga i zapotrzebowanie miejsca: ok. 1300 kg i 10m<sup>2</sup>
- proponowane opomiarowanie po stronie cieplnej (czujnik temperatury spalin wylotowych, indywidualny ciepłomierz z rejestracją przepływu wody grzewczej i jej temperatury, gazomierz).

### 2.4. Agregat wody lodowej:

Potrzeby chłodu oszacowano na ok. 56 kW. Z dostępnych na rynku agregatów absorpcyjnych wyróżnia się dwie grupy, które różnią się zastosowanym czynnikiem roboczym. Bromolitowe wykorzystują roztwór wodny bromoklorku, natomiast amoniakalne roztwór wodny amoniaku. Do zastosowań klimatyzacyjnych stosuje się przeważnie pierwszą grupę: agregaty bromolitowe. Współczynnik efektywności agregatów absorpcyjnych o rozpatrywanej mocy ( $q_{ch}$ ) kilkunastu kW zasilanych wodą o temp. 80÷90°C wynosi ok.  $\epsilon=0,6$ . Zatem wymagana moc cieplna do zasilania agregatu wynosić będzie:  $q_{grz} = q_{ch}/\epsilon = 80\div 90$  kW. Efektywność ( $\epsilon$ ) agregatów absorpcyjnych praktycznie nie zależy od obciążenia chłodniczego, dlatego przyjęć można, że w całym zakresie obciążeń agregat pracuje z podobną sprawnością.

Dobrano wstępnie:

- agregat absorpcyjny o mocy 50kW<sub>el</sub> i mocy grzewczej zasilającej 80 kW.
- współczynnik efektywności chłodniczej:  $\epsilon = 0,625$
- temperatura wody lodowej na wyjściu z agregatu: 8°C
- moc wieży chłodniczej (chłodni wentylatorowej) do chłodzenia agregatu: 130kW

### 2.5. Turbiny wiatrowe

Proponuje się zainstalowanie na budynku B1 turbiny wiatrowej z pionową osią obrotu. Przewagą tego rodzaju turbiny względem turbiny z osią pionową jest brak potrzeby nastawy turbiny do kierunku wiatru. Rozwiązanie tego typu jest szczególnie ważne przy niewielkich instalacjach. Dodatkowo atutem turbiny wiatrowej z pionową osią obrotu jest możliwość montażu bezpośrednio na dachu obiektu oraz to, że nie wymaga specjalnych pozwoleń.

Turbiny z pionową osią obrotu sprawdzają się szczególnie w miastach, ponieważ są bezpieczne dla ptaków i mogą być montowane w pobliżu zabudowań. Największą wadą w porównaniu z klasycznymi turbinami wiatrowymi jest sprawność układu. Jednak zwykle montaż turbiny z poziomą osią jest niemożliwy w miejscach o gęstej zabudowie.

Dobrano wstępnie

- Dwie turbiny wiatrowe z pionową osią obrotu o mocy 5 kW
- Falownik PVI-6000-OUTD-W
- Dwa maszty wolnostojące 9m

### 3. Infrastruktura wspomagająca

#### 3.1. BMS (Building Management System)

Monitorowanie zużycia energii elektrycznej, ciepłej, gazu i wody w połączeniu z układami sterującymi jest rozwiązaniem, które może wpływać na obniżenie kosztów finansowania budynku. System monitorowania jest nie tylko źródłem bieżącej informacji o aktualnym stanie poboru lub zużycia poszczególnych mediów, ale również daje możliwości analiz umożliwiających podejmowanie działań optymalizujących efektywność energetyczną budynków, poszczególnych urządzeń lub instalacji technicznych. Dane z liczników energii mogą być porównywane, bezpośrednio lub zagregowane, w różny sposób i dla różnych okresów. Proponowane rozwiązanie umożliwia tworzenie raportów w sposób ręczny lub automatyczny które wspomagają ocenę funkcjonującej mikrosieci w okresie, z wyróżnieniem konkretnych parametrów lub parametrów interesujących daną osobę (np. studentów). Instalacja umożliwia np. porównanie wartości wskaźników planowanych z wartościami rzeczywistymi. Wykorzystując elementy sterujące umożliwia w precyzyjny sposób optymalizację parametrów mikrosieci, co przekłada się na realizację założonych celów. Realizacja zdefiniowanych wcześniej zadań wymaga dostarczenia do systemu monitoringu danych nie tylko z istniejących liczników rozliczeniowych, ale w przypadku energii elektrycznej należy zainstalować dodatkowo liczniki dla ob. arów, np. piętra lub sekcji Sprzęt zainstalowany w rozdzielniach powinien zapewniać komunikację (Modbus lub IP) z systemem monitoringu w celu przesłania pozostałych parametrów mierzonych. W przypadku innych mediów (ciepło, gaz, woda) wykorzystywać należy istniejące liczniki doprowadzając do systemu monitoringu generowane przez nie pomiary, nie zidentyfikowano wielu miejsc w których należy zainstalować nowe urządzenia pomiarowe.

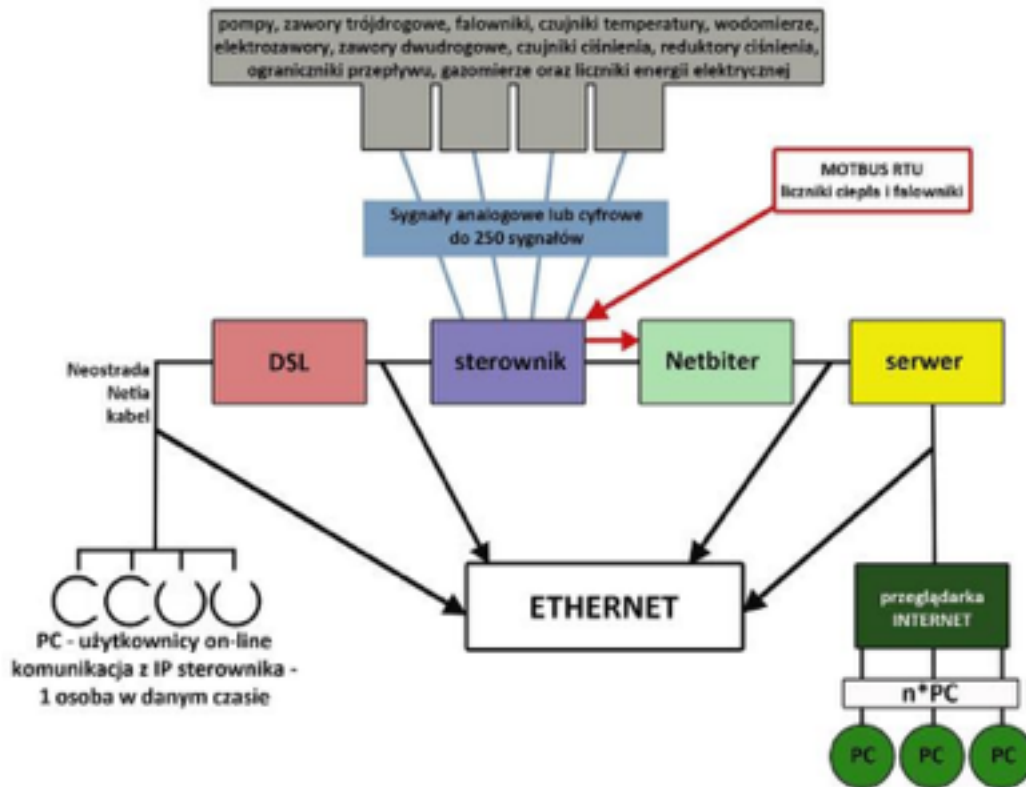
Do głównych zadań systemu BMS należy:

- bieżąca prezentacja i monitoring stanu urządzeń odpowiedzialnych za zużycie energii,
- rejestracja bieżących stanów w archiwum,
- funkcja alarmowa,
- raportowanie,

- sterowanie (ręczne, automatyczne, według harmonogramu).

Wszystkie działania systemu BMS są skierowane w celu minimalizacji kosztów zapotrzebowania na media oraz maksymalizacji jakości energii (oraz bezpieczeństwa instalacji).

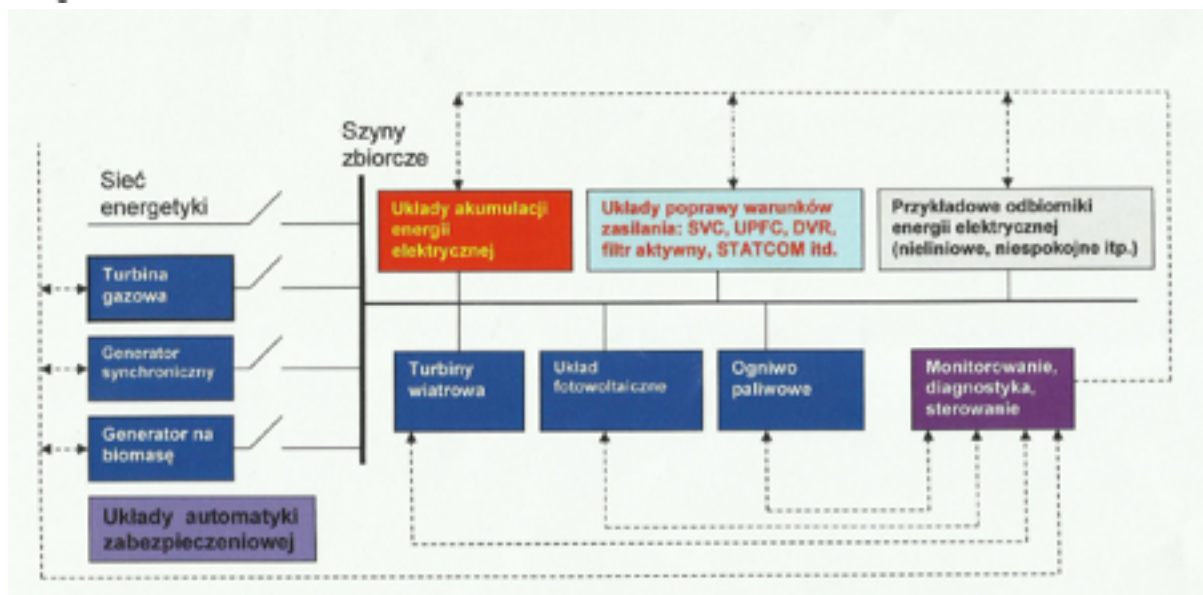
Ideę systemu sterowania i nadzoru przedstawia poniższy schemat:



### 3.2. Schemat instalacji

Proponowane rozwiązanie zaprezentowano na poniższym schemacie.





## 4. Analiza ekonomiczna

Kolejnym etapem w realizacji koncepcji jest oszacowanie opłacalności proponowanych rozwiązań. Z punktu widzenia złożoności mikrosieci zadanie oszacowania opłacalności jest bardzo trudne. Wymaga przyjęcia wielu założeń, które są wzajemnie skorelowane. Wybór instalacji ma przede wszystkim znaczenie z uwagi na technologię. Postawiono przed mikrosiecią cel dydaktyczny, który pozwala na zaakceptowanie kosztów związanych z rozbudową mikrosieci. Zysk ekonomiczny powinien być oszacowany w trakcie funkcjonowania instalacji, celem wykorzystania w kolejnych projektach tego rodzaju. W poniższej tabeli zaprezentowano zestawienie kosztów związanych z instalacją elementów mikrosieci.

L.P.	Element	Szacowany koszt [PLN netto]
1	Instalacja fotowoltaiczna	300 000
2	Pompa ciepła	100 000
3	Źródło gazowe	700 000
4	Agregat wody lodowej	200 000
5	Instalacja wody lodowej	150 000
6	Turbina wiatrowa	140 000
7	System centralnego sterowania i nadzoru (SCADA)	150 000
<b>Suma</b>		<b>1 740 000</b>

Kolejnym etapem prowadzonej analizy ekonomicznej jest oszacowanie potencjalnych oszczędności z tytułu instalacji infrastruktury.

#### Podsumowanie

Metodyka zbudowania przedstawionej koncepcji modernizacji budynku dla celów poprawy jego efektywności energetycznej jest ważnym elementem przedstawionego opracowania. Opisany sposób modernizacji dla budynku i ocenione korzyści powinny zachęcić potencjalnego inwestora.

Instalacja w opisanym budynku obejmuje bardzo wiele elementów (źródeł wytwórczych, urządzeń wspomagających) z uwagi na dodatkowy cel dydaktyczny. Większość inwestorów we własnym zakresie powinno dokonać inwentaryzacji obiektu i wyboru urządzeń najbardziej odpowiednich do danego typu budynku. Bardzo istotne jest zaprojektowanie mikrosieci przed poniesieniem kosztów inwestycji.

Mikrosieć umożliwia odbiorcom energii (cieplnej i elektrycznej) efektywne jej wykorzystanie. Szczególnie w przypadku dużych budynków mikrosieć może w bardzo istotny sposób poprawić ekonomiczny rachunek zarządzających nieruchomością. Koszty instalacji w przypadku budynku AGH są bardzo wysokie, jednak mikrosieć nie musi wiązać się z poniesieniem wysokich nakładów. Często mniejsze instalacje również pozwalają na aktywne zarządzanie zapotrzebowaniem na energię.