

AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI

Rozprawa doktorska

**Badania efektywności energetycznej budynku użyteczności
publicznej wykorzystującego odnawialne źródła energii**

mgr inż. Piotr Michalak

Promotor

prof. n. dr hab. inż. Jacek Zimny

Kraków, rok 2009

SPIS TREŚCI.

1	WSTĘP	5
1.1	Gospodarka energetyczna w budownictwie	5
1.2	Zawartość rozprawy	5
2	STAN ZAGADNIENIA W ŚWIETLE DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ	8
2.1	Potrzeby energetyczne budynków użyteczności publicznej	8
2.2	Ocena i charakterystyka energetyczna budynków użyteczności publicznej	9
2.3	Mierniki efektywności energetycznej budynków	10
2.4	Wnioski uzasadniające podjęcie tematu	12
3	TEZA, CEL ORAZ ZAKRES ROZPRAWY	14
4	MODEL MATEMATYCZNY ZAPOTRZEBOWANIA ENERGETYCZNEGO BUDYNKU	16
4.1	Metoda określania zapotrzebowania energetycznego budynku	17
4.2	Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku	18
4.2.1	Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku	18
4.2.2	Straty ciepła na podgrzewanie powietrza wentylacyjnego	20
4.2.3	Zyski ciepła od promieniowania słonecznego	21
4.2.4	Wewnętrzne zyski ciepła	22
4.2.5	Bilans cieplny budynku	24
4.3	Zapotrzebowanie na chłód	25
4.4	Zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej	26
4.5	Zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną	27
4.5.1	Oświetlenie.	27
4.5.2	Wentylatory w instalacjach wentylacyjno-klimatyzacyjnych	27
4.5.3	Napędy pomp obiegowych w instalacjach grzewczych budynku	28
4.5.4	Sprzęt elektroniczny	29
5	OBIEKT BADAŃ	30
5.1	Charakterystyka ogólna budynku	30
5.2	System grzewczo – wentylacyjno – klimatyzacyjny	31
6	SYSTEM OPOMIAROWANIA ENERGETYCZNEGO BUDYNKU	34
6.1	Wstęp	34

6.2	Struktura systemu pomiarowego	34
6.2.1	Pomiar ciepła i chłodu	34
6.2.2	Pomiar zużycia wody	38
6.2.3	Pomiar zużycia energii elektrycznej	38
6.3	Transmisja danych i wizualizacja pomiarów	40
7	PROGRAM I METODYKA BADAŃ	43
7.1	Obliczenia na podstawie modelu zapotrzebowania energetycznego budynku	44
7.2	Obliczenia z wykorzystaniem programu OZC	45
7.3	Obliczenia na podstawie miesięcznych pomiarów energii	45
7.4	Obliczenia na podstawie danych z systemu pomiarowego	46
8	WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH ZUŻYCIA ENERGII W BUDYNKU	47
8.1	Obliczenia na podstawie modelu zapotrzebowania energetycznego budynku	47
8.2	Obliczenia za pomocą programu OZC i audytu energetycznego budynku	50
8.3	Obliczenia na podstawie pomiarów miesięcznych z lat 2004-2007	51
8.3.1	Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2004	51
8.3.2	Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2005	54
8.3.3	Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2006	56
8.3.4	Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2007	59
8.3.5	Analiza energetyczna za okres 2004 – 2007	61
8.3.6	Porównanie rezultatów z lat 2004 – 2007	68
8.4	Wyniki pomiarów – monitoring komputerowy budynku	70
8.5	Porównanie rezultatów badań i dyskusja błędów	71
8.5.1	Potrzeby cieplne obiektu	71
8.5.2	Zużycie energii elektrycznej i gazu	73
8.6	Statystyczna analiza zużycia energii w budynku	74
8.6.1	Zużycie energii elektrycznej, gazu i ciepła w okresie 2004 – 2007.	75
8.6.2	Energia dostarczana przez system solarny	80
8.6.3	Sezon grzewczy 2007/2008	81
8.7	Efektywność energetyczna badanego budynku	83
8.7.1	Ogrzewanie	83
8.7.2	Oświetlenie	83
8.7.3	Struktura zużycia energii w budynku	83
8.8	Certyfikacja energetyczna budynku	84
8.8.1	Wskaźnik charakterystyki energetycznej budynku	84
8.8.2	Klasa energetyczna budynku	87
9	ANALIZA EKONOMICZNA PRZEDSIĘWZIĘCIA EKOENERGETYCZNEGO	89
9.1	Metodyka obliczeń	89
9.2	Modernizacja energetyczna budynku szkoły	89

9.3	Rachunek przepływów pieniężnych dla przedsięwzięcia modernizacyjnego	92
9.4	Analiza przedsięwzięcia za pomocą pakietu RETScreen 0	95
9.5	Emisja zanieczyszczeń i efekt ekologiczny	97
9.6	Rzeczywiste koszty eksploatacyjne zmodernizowanego systemu grzewczego	98
10	PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	99
10.1	Wnioski poznawcze	99
10.2	Wnioski praktyczne	102
10.3	Proponowane kierunki badań	104
11	BIBLIOGRAFIA	105
	DODATKI	114
	Dodatek 1 – Ceny energii elektrycznej i gazu w latach 2001 i 2007	114
	Dodatek 2 – Gaz ziemny stosowany w kotłowni	115
	Dodatek 3 – Inflacja roczna w okresie 2001 – 2007	115
	Dodatek 4 – Płaca minimalna w okresie 2001 – 2007	116
	Dodatek 5 – Koszty modernizacji kotłowni	116
	Dodatek 6 – Parametry kotłowni dla różnych rodzajów zastosowanych paliw	117
	Dodatek 7 – Karta audytu energetycznego budynku szkoły	117
	Dodatek 8 – Koszty energii w zmodernizowanej kotłowni	119
	Dodatek 9 – Opis pakietu Termo Danfoss 2.0	120
	Dodatek 10 – Opis pakietu RETScreen®	121

1 Wstęp

1.1 Gospodarka energetyczna w budownictwie

Szybki przyrost liczby ludności i rozwój przemysłowy w drugiej połowie XX wieku spowodowały dynamiczny wzrost potrzeb energetycznych świata i ilości konsumowanej energii. Załamanie na rynkach ropy naftowej w latach siedemdziesiątych wymusiło jednak zmianę w myśleniu o energii i polityce energetycznej. Od tego czasu to już nie wielkość zużycia energii, ale efektywność jej wykorzystania staje się wyznacznikiem nowoczesności i rozwoju gospodarczego. W gospodarkach wielu krajów następuje zwrot w kierunku racjonalnego wykorzystania dostępnych zasobów energetycznych oraz wprowadzania nowych technologii energetycznych opartych o zasoby odnawialne. Pojawiła się nowa dziedzina naukowa i gospodarcza – zarządzanie energią (ang. Energy Management [101]), wspomagająca procesy racjonalizacyjne w dziedzinie użytkowania energii. Zmiany te dotknęły także budownictwo, jako sektor odpowiedzialny za znaczną część ogólnego zużycia energii. W krajach europejskich budynki mieszkalne i użyteczności publicznej są bowiem konsumentem ponad 40% energii pierwotnej [81].

Budynek jako obiekt spełniający w toku normalnego użytkowania określone funkcje wymaga dla ich utrzymania dostarczenia odpowiedniej ilości energii. W obiektach użyteczności publicznej jest ona wykorzystywana dla ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, wentylacji, chłodzenia, oświetlenia oraz innych potrzeb. Dla określenia efektywności wykorzystania energii konieczne jest określenie wartościowe każdego z tych elementów zarówno od strony potrzeb netto jak i, po uwzględnieniu strat, energii dostarczanej - brutto. Może to odbywać się na podstawie obliczeń teoretycznych lub pomiarów. Jednak dotychczas takie kompleksowe badania dla obiektów użyteczności publicznej, obejmujące obie grupy wymienionych metod, były wykonywane jedynie w bardzo ograniczonym zakresie, głównie dla dużych obiektów komercyjnych o powierzchniach użytkowych rzędu 10000m² i większych [53], [72], [138]. Stąd też wydaje się uzasadnione rozwinięcie całościowego spojrzenia na zapotrzebowanie energetyczne i sposoby jego określania dla tej grupy budynków.

1.2 Zawartość rozprawy

Rozdział 1. zawiera wprowadzenie do problematyki gospodarki energetycznej i użytkowania energii w budownictwie.

W rozdziale 2. omówiono problematykę analizy energetycznej budynków oraz dokonano przeglądu dostępnych prac przedstawiających badania zużycia energii w budynkach, zarówno za pomocą metod symulacyjnych, jak i pomiarowych. Zaprezentowano także publikacje w

których podejmowano problematykę efektywności energetycznej budynków i jej wartościowego określania.

Rozdział 3. zawiera sformułowanie problemu naukowego, celu oraz zakresu rozprawy.

Rozdział 4. obejmuje omówienie i prezentację modelu matematycznego bilansu zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej. Wyodrębniono w nim następujące potrzeby: ogrzewanie, chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną dla oświetlenia i zasilania sprzętu komputerowego i biurowego, pomp obiegowych w instalacji grzewczej, wentylatorów w instalacji wentylacyjnej i klimakonwektorów. Na podstawie przedstawionego opisu matematycznego zapotrzebowania energetycznego budynku opracowano program obliczeniowy oparty na arkuszu MS Excel 2000. Wybrano ten rodzaj oprogramowania ze względu na jego dużą powszechność, prostotę wprowadzania i modyfikacji danych, a także możliwość eksportowania danych do wielu innych programów obliczeniowych.

Rozdział 5. zawiera opis badanego obiektu – rzeczywistego budynku szkolnego. W oparciu o dane z tego budynku wykonano obliczenia symulacyjne i przeprowadzono badania pomiarowe. W rozdziale omówiono i przedstawiono podstawowe parametry i cechy fizyczne budynku, instalacje wewnętrzne (zasilanie w energię elektryczną i gaz, system grzewczy i wentylacyjno-klimatyzacyjny), a także informacje dotyczące lokalizacji, ilości użytkowników i sposobu użytkowania.

W rozdziale 6. zaprezentowano koncepcję, projekt oraz wykonanie komputerowego systemu opomiarowania energetycznego badanego budynku. Zaprojektowano go tak aby umożliwiał pomiar ciepła, chłodu, zużycia wody, energii elektrycznej i gazu. System ten zainstalowany jest na stałe w budynku szkoły, co pozwala na bieżący monitoring energetyczny budynku i kontrolę nad zużyciem energii.

W rozdziale 7. przedstawiono program i metodykę badań prowadzonych w niniejszej rozprawie. Zastosowano dwie grupy metod badawczych określania zapotrzebowania energetycznego budynku. Pierwsza to badania symulacyjne, oparte na opisie matematycznym badanego obiektu. Grupa druga obejmuje badania pomiarowe prowadzone w rzeczywistym obiekcie.

Rozdział 8. zawiera wyniki badań własnych i analiz wykonanych zgodnie z metodyką przedstawioną w rozdziale siódmym. Dla każdej z metod badawczych wyznaczono i przedstawiono bilans potrzeb energetycznych budynku zawierający zapotrzebowanie netto i brutto energii dla poszczególnych potrzeb energetycznych, a także zużycie dostarczanych do budynku nośników energii. Dokonano porównania uzyskanych rezultatów i przeprowadzono dyskusję błędów.

Na podstawie otrzymanych wyników określono efektywność energetyczną budynku za pomocą podstawowych, stosowanych w praktyce, wskaźników zużycia energii. Jako najważniejszą miarę efektywności energetycznej wyznaczono także wskaźnik zintegrowanej

charakterystyki energetycznej budynku. Na tej podstawie określono klasę energetyczną badanej szkoły w stanie przed i po jej termomodernizacji.

W oparciu o wykonane pomiary określono także wpływ średniej miesięcznej temperatury otoczenia na rzeczywiste zużycie w budynku energii elektrycznej, gazu i ciepła. Wyznaczono równania funkcyjne określające wpływ temperatury otoczenia na te wielkości. Zbadano zależność energii dostarczanej przez kolektory słoneczne w funkcji wartości napromieniowania.

W rozdziale 9. zaprezentowano analizę ekonomiczną przedsięwzięcia ekoenergetycznego obejmującego kompleksową modernizację budynku szkolnego. W ramach inwestycji dokonano zamiany tradycyjnego źródła ciepła na ekologiczne i przeprowadzono termomodernizację budowlaną obiektu.

Wykonano analizę wariantową modernizacji źródła ciepła dla budynku. Analizowano ogrzewanie gazowe, olejowe, węglowe, elektryczne, pompę ciepła oraz system hybrydowy (pompa ciepła + kocioł gazowy + kolektory słoneczne).

Przedstawiono rachunek przepływów pieniężnych (cash flow) dla zrealizowanego przedsięwzięcia modernizacyjnego za okres piętnastu lat. Wyznaczono podstawowe wskaźniki ekonomiczne charakteryzujące inwestycję jak SPBT, NPV, IRR oraz LCC.

Rozdział 10. jest podsumowaniem zagadnień analizowanych w pracy. Przedstawiono w nim wnioski końcowe poznawcze, praktyczne oraz dotyczące proponowanych kierunków badań.

W dodatkach zawarto dane zastosowane w pracy.

2 Stan zagadnienia w świetle dotychczasowych badań

Problem oceny energetycznej budynków jest przedmiotem wielu prac badawczych, zagranicznych i krajowych. Zasadniczy ich cel to wyznaczenie wielkości zużycia energii na określone potrzeby, identyfikacja strat i możliwości ich zmniejszenia [41], [64], [101].

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki prac prezentujących metody analizy zużycia energii i oceny energetycznej budynków użyteczności publicznej.

2.1 Potrzeby energetyczne budynków użyteczności publicznej

W ogólności bilans zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej obejmuje [41], [101] dwie grupy potrzeb. Pierwsza dotyczy zapewnienia termicznego komfortu użytkownika obiektu, co wymaga dostarczania do niego określonej ilości ciepła lub chłodu. Natomiast grupa druga obejmuje potrzeby pomocnicze, takie jak oświetlenie, ciepła woda użytkowa i inne.

Potrzeby energetyczne wybranych obiektów użyteczności publicznej przedstawione zostały w tabeli 2.1.

Tabela 2.1: Potrzeby energetyczne budynków użyteczności publicznej.

Obiekt, lokalizacja	Ogrzewanie	Wentylacja	Chłodzenie	c.w.u.	Oświetlenie	Sprzęt elektron.	Wentylatory	Pompy obiegowe	Windy	Urządzenia kuchni	Autor
Budynki uniwersyteckie, USA	x	x	x	x	x	x	x	x			[1]
Kompleks biurowo-ekspozycyjny, USA	x	x	x	x	x	x					[99]
Budynki szkolne, Włochy	x	x			x	x					[16]
Budynek biurowy, USA	x	x	x		x	x	x				[121]
Budynek biurowy, Niemcy	x	x		x	x	x	x				[76]
Hotele, Turcja	x	x	x	x	x	x			x	x	[70]
Budynek biurowy, Kanada	x	x	x	x	x	x	x	x			[138]
Budynek biurowy, Szwajcaria	x				x	x					[11]
Budynki szkolne, USA	x	x	x	x	x	x		x			[7]
Hotel, Cypr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	[75]
Budynek biurowy, Belgia	x	x	x	x	x	x	x	x	x		[62]

Z analizy prac przedstawionych w powyższym zestawieniu wynika iż:

- We wszystkich przypadkach ujęto potrzeby cieplne, które są największym składnikiem w całkowitym zużyciu energii w poszczególnych obiektach. Potrzeby te są pokrywane zarówno ze źródeł lokalnych [1] jak i z sieci ciepłowniczych. Lokalne kotłownie wykorzystują nieodnawialne nośniki energii, jak węgiel kamienny, gaz ziemny [11], [28], olej opałowy lub gaz LPG [27], [70].

- Oświetlenie budynków zostało uwzględnione we wszystkich pracach. Dla obiektu biurowego [138] oświetlenie odpowiada za 29,7% zużycia elektryczności, biurowo-muzealnego 44% [99], zaś dla budynków szkolnych – od 28 do 62% [7].
- Ważnym odbiornikiem energii elektrycznej są elektroniczne urządzenia biurowe oraz sprzęt komputerowy. Według [7] w szkołach odpowiadają one za 5 do 15% całkowitej konsumpcji energii elektrycznej, a w budynkach uniwersyteckich [1] za 7%.
- W obiektach wyposażonych w systemy klimatyzacyjne istotne jest zużycie energii przez silniki elektryczne do napędu wentylatorów. Przykładowo, w budynku biurowo-muzealnym [99] wynosi ono 8% całkowitego zużycia energii elektrycznej.
- Do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystuje się głównie energię elektryczną, gaz ziemny [7], gaz LPG [70] lub olej opałowy [75]. Brak jest natomiast przykładów praktycznego zastosowania odnawialnych źródeł i zasobów energii.

2.2 Ocena i charakterystyka energetyczna budynków użyteczności publicznej

W niniejszym rozdziale przedstawiono przykłady oceny energetycznej budynków użyteczności publicznej. Zaprezentowane zestawienie (Tabela 2.2) obejmuje obiekty w których zużycie energii wyznaczono drogą symulacji komputerowych jak i za pomocą pomiarów. Szczegółowy opis stosowanych narzędzi symulacyjnych zawiera praca [14].

Tabela 2.2: Przykłady oceny energetycznej budynków użyteczności publicznej.

Rodzaj badań (pomiarowe lub symulacyjne)	Badania symulacyjne		Badania pomiarowe		Autor
	Ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja	Energia elektryczna	Wielkości mierzone	Metoda pomiarów	
Budynki szkolne					
P			C, CH, E, P	s.p.	[1]
P			E, G, O	r.m.	[16]
P, S	eQuest	eQuest	C, E, G	r.m.	[7]
Budynki biurowe					
P, S	DOE-2	DOE-2	C, CH, E	s.p.	[99]
P, S	eQuest	eQuest	E	r.m.	[121]
P			C, E	s.p.	[75]
P, S	MICRO-DOE2	MICRO-DOE2	E, G	r.m.	[138]
S	ESP-r	ESP-r			[11]
S	o.w.	o.w.			[62]
Hotele					
P			E, G	r.m.	[70]
P			C, E	r.m.	[75]
UWAGI: o.w. – opracowanie własne autorów, r.m. – odczyty na podstawie danych miesięcznych (rozliczenia miesięczne od dostawców energii), s.p. – system pomiarowy, C – ciepło, CH – chłód, E – energia elektryczna, G – gaz, O – olej opałowy, P – para.					

Dokonany przegląd prac związanych z problematyką użytkowania i określania zużycia energii w budynkach użyteczności publicznej prowadzi do następujących wniosków:

- Wśród zaprezentowanych prac przeważającą ilość stanowią prace oparte o obliczenia symulacyjne, gdzie badano potrzeby związane z utrzymaniem komfortu cieplnego pomieszczeń. Do symulacji analizowanych obiektów stosowano dostępne profesjonalne narzędzia obliczeniowe. W jednej pracy [62], autorzy zastosowali program obliczeniowy własnego autorstwa.
- Częste jest określanie zużycia energii na podstawie miesięcznych rozliczeń z jej dostawcami. W publikacjach [16], [70], [121] dane te posłużyły jednak jedynie do określenia wartości rocznego zużycia, zaś w [7] i [138] do kalibracji modelu w programie symulacyjnym. W pracy [75] wykonano natomiast analizę zużycia miesięcznego energii elektrycznej i oleju opałowego w budynku oraz zaprezentowano analizę kosztów miesięcznych.
- Tylko w jednej publikacji [99] przedstawiono kompleksowe rozwiązanie systemu pomiarowego zużycia energii dla oceny energetycznej budynku. Mierzono wyłącznie zużycie energii elektrycznej przez poszczególne odbiorniki lub ich grupy (np. urządzenia biurowe). Pomiary prowadzono jednak jedynie przez okres jednego roku, bez dalszego stałego monitoringu energetycznego obiektu.
- Wykonywane badania były podstawą do wskazywania działań modernizacyjnych podnoszących efektywność wykorzystania energii w poszczególnych obiektach. Proponowane zmiany dotyczyły m.in. zamiany rodzaju stosowanych paliw lub zastosowanie źródeł odnawialnych [70]. Wskazywano także na modernizacje nieinwestycyjne, jak obniżenie temperatury pomieszczeń oraz regulację oświetlenia. W budynkach szkolnych zalecono [7], [16] działania poprawiające ich stan techniczny (izolacja ścian, nowe okna), stosowanie efektywnego oświetlenia oraz obniżenie temperatury w pomieszczeniach w okresach wolnych od zajęć szkolnych.
- Mimo iż wszystkie prace nawiązywały do efektywnego wykorzystania energii w badanych budynkach, tylko w jednej [62] wzięto pod uwagę sprawność przetwarzania energii dla badanych obiektów i wydzielono w bilansie potrzeb energetycznych budynku zapotrzebowanie energii brutto i netto.

2.3 Mierniki efektywności energetycznej budynków

W ogólności, pojęcie efektywności energetycznej obejmuje działania i warunki powodujące taki sposób użytkowania i wykorzystywania energii w budynku, któremu towarzyszą możliwie najmniejsze jej straty [35], [54], [67], [69], [112].

To czy budynek zostanie uznany za efektywny energetycznie, lub nie, zależy wyłącznie od przyjętych w danym kraju standardów energetycznych w budownictwie [42], [54], [85], [101], [116], przy czym standardy te najczęściej dotyczą budownictwa mieszkaniowego. W odniesieniu do obiektów użyteczności publicznej są stosowane z reguły wymagania uproszczone. Np. w Polsce [87] dotyczą one jedynie ochrony cieplnej określonej wartościami granicznymi współczynników przenikania ciepła przegród budynków. Stąd też dla określenia efektywności energetycznej tej grupy budynków pomocne są wartości porównawcze dla danej grupy obiektów. Rezultaty takich badań przedstawiono w tabeli 2.3.

Tabela 2.3: Wskaźniki efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej.

Lokalizacja	Ilość	Ciepło dla ogrzewania budynku	Energia elektryczna	Całkowite zużycie energii	netto/ brutto	Jedn.	Autor
Budynki szkolne							
Niemcy	11	śr.: 110			N	kWh/m ²	[44]
Słowenia	24	131 – 448, śr.: 267			N ¹⁾	kWh/m ²	[4]
Słowenia	24	84 – 338	1 – 44 ³⁾	97 – 348	N ²⁾	kWh/m ²	[4]
Włochy	29	11,3 – 96,0	1,5 – 6,2	14,0 – 100,4	N	kWh/m ³	[16]
Austria	b.d.	40 – 500, śr.: 66			B	kWh/m ²	[27]
Portugalia	b.d.	13 – 52, śr.: 23			B	kWh/m ²	[27]
USA	11	88,4 – 149,7			B	kWh/m ²	[6]
Polska	134	100 – 400 śr.: 270			N	kWh/m ²	[44], [46]
Białystok	8	94,5 – 154,5 29,9 – 43,8			N	kWh/m ² kWh/m ³	[77]
Białystok	4	13,03 – 30,64			N	kWh/m ³	[88]
Częstochowa	50	20,8 – 76,4			B	kWh/m ³	[44]
Częstochowa	23	śr.: 39,71 ⁶⁾			B	kWh/m ³	[46], [47]
Częstochowa	27	śr.: 33,06 ⁷⁾			B	kWh/m ³	[46], [47]
Budynki biurowe.							
Szwajcaria	1	75,1	2,7 ³⁾ 8,4 ⁴⁾		B	kWh/m ²	[11]
Niemcy	1	65,00		129,1	N	kWh/m ²	[76]
USA	1			77,9 252,4	N B	kWh/m ²	[99]
Belgia	1	35,8	13,4 ³⁾ 23,2 ⁴⁾	129,7 170,9	N B	kWh/m ²	[62]
Budynki administracji i inne użyteczności publicznej.							
B. woj. siedleckie	50	190 – 371			B	kWh/m ²	[28]
Powiat lidzbarski	b.d.	120 – 380	śr.: 31,10		B	kWh/m ²	[94]
UWAGI: 1) teoretyczne (obliczeniowe) potrzeby c.o. 2) rzeczywiste (zmierzone) c.o. + c.w.u. 3) tylko oświetlenie 4) sprzęt biurowy 5) zasilanie w ciepło sieciowe 6) własna kotłownia śr. – średnio, b.d. – brak danych							

Na podstawie powyższych rozważań i zaprezentowanych rezultatów badań można przedstawić następujące wnioski:

- Najczęściej stosowanym kryterium określania efektywności energetycznej budynków jest wyznaczanie energochłonności w oparciu o zużycie rzeczywiste bądź obliczeniowe zapotrzebowanie netto ciepła do ogrzewania obiektu. Przy tym tylko w jednej pracy [62], ze względu na założony kompleksowy charakter badań, podano wartości energochłonności dla innych potrzeb (m.in. pomp i wentylatorów, sprzętu elektronicznego i oświetlenia).
- W warunkach krajowych zagadnienie zużycia ciepła na ogrzewanie w budynkach użyteczności publicznej sprowadza się do spełnienia przez zewnętrzne przegrody budowlane wymagań izolacyjności cieplnej określanych w przepisach. Brak jest wymagań wartościowych wielkości zużycia energii, co oznacza istotne zawężenie spojrzenia na gospodarkę energetyczną w tym segmencie obiektów.
- Podawanie zużycia energii w odniesieniu do powierzchni lub kubatury budynków utrudnia porównywanie obiektów użyteczności publicznej ze względu na różne występujące w nich wysokości pomieszczeń i kondygnacji. Tylko jedna praca [62] zawiera wartości obu tych wskaźników.
- Dane służące do określania rzeczywistego zużycia energii i jej kosztów uzyskiwane są głównie na podstawie rozliczeń z dostawcami energii. Jedynie w przypadku ciepła dla ogrzewania określana jest jego rzeczywista ilość w oparciu o pomiary, ale tylko dla obiektów zasilanych z sieci ciepłowniczych [46], [47]. Nie zanotowano przypadku zastosowania pomiaru zużycia ciepła u odbiorcy.
- Pełny obraz efektywności energetycznej budynku daje jedynie połączenie wskaźników energochłonności odnoszonych do potrzeb energetycznych netto oraz brutto. Można to przedstawić na przykładzie ogrzewania, gdy dobrze ocieplony budynek o niskim zapotrzebowaniu ciepła do ogrzewania z kotłownią o małej sprawności może zużywać go tyle samo co budynek o tych samych wymiarach, budowie i przeznaczeniu, w złym stanie technicznym, ale ogrzewany z wysokosprawnego źródła ciepła. Podobna sytuacja może mieć miejsce także w przypadku pozostałych potrzeb energetycznych. Stąd też wynika konieczność całościowego spojrzenia na gospodarkę energetyczną obiektu.

2.4 Wnioski uzasadniające podjęcie tematu

Przedstawiony przegląd literatury i istniejących badań efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

-
- Prowadzone badania służyły do określenia wielkości zużycia energii w budynkach oraz racjonalizacji jej wykorzystania. Zużycie energii określano głównie drogą badań symulacyjnych lub na drodze analizy rozliczeń właściciela budynku z dostawcami energii.
 - W literaturze zagranicznej [101] przeważa całościowe spojrzenie na potrzeby energetyczne budynków. Natomiast w Polsce, jest to ograniczone głównie do analizy zużycia ciepła na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody. Mimo dużej i niekwestionowanej istotności problemu zużycia ciepła dla potrzeb budownictwa w Polsce, podejście to zawęża całościowe spojrzenie na gospodarkę energetyczną.
 - W jednym przypadku [62] autorzy zastosowali własne narzędzie obliczeniowe, którym wykonano kompleksową analizę potrzeb energetycznych budynku w ciągu roku. W pozostałych pracach wykorzystywano istniejące programy symulacyjne, przy czym badania te obejmowały najczęściej zużycie ciepła dla ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji oraz zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne tych systemów.
 - Jedna praca [99] dotyczyła badań symulacyjnych i ich weryfikacji na podstawie pomiarów rzeczywistego zużycia energii. Pomiarzy te prowadzono przez rok, bez dalszej kontynuacji prac. Obejmowały one jedynie zużycie energii elektrycznej, a ilość ciepła dla celów grzewczych wyliczano pośrednio (w budynku zastosowano ogrzewanie elektryczne).
 - W świetle obecnych trendów w energetyce konieczne staje się zastosowanie nowych, czystych technologii wykorzystujących odnawialne zasoby i źródła energii. Jest to szczególnie istotne w przypadku obiektów użyteczności publicznej, pełniących także znaczącą rolę edukacyjną w społeczeństwie. Natomiast wśród analizowanych publikacji tylko jedna [99] przedstawia wykorzystanie paneli fotowoltaicznych wytwarzających energię dla potrzeb badanego obiektu.
 - Aspekty ekonomiczne energochłonności budynku sprowadzane są głównie do kosztów rocznych zużywanej energii. Nie wspomina się o możliwości zakupu i rozliczania energii elektrycznej w różnych strefach czasowych w ciągu doby, co może przekładać się na wymierne oszczędności finansowe dla właściciela obiektu.
 - Dotychczas stosowane sposoby analizy gospodarowania energią w budynkach są bardzo różnorodne co do ich formy i zakresu. Dla potrzeb analizy kompleksowej i certyfikacji należy uwzględniać wszystkie potrzeby energetyczne budynku związane z normalnym funkcjonowaniem, co pozwoli na określenie rzeczywistej efektywności energetycznej obiektu. Weryfikacja pomiarowa uzyskanych rezultatów obliczeniowych umożliwi sprawdzenie założeń przyjętych w trakcie projektowania i budowy obiektu, a w dalszej perspektywie na poprawę jakości gospodarowania energią.

3 Teza, cel oraz zakres rozprawy

Przedstawiony w poprzednim rozdziale przegląd stosowanych metod analizy zapotrzebowania energetycznego budynków, określania efektywności energetycznej budynków i możliwości poprawy tej efektywności, wskazuje na pewną fragmentaryczność wykonywanych badań.

Szereg dostępnych metod określania zużycia energii w budynkach powoduje iż mogą one zaspokoić różne wymagania właścicieli lub zarządców poszczególnych obiektów. Szczególną uwagę autora rozprawy zainteresowały zagadnienia weryfikacji pomiarowej rzeczywistego zużycia energii dla potrzeb bieżącego monitorowania gospodarki energetycznej. Jest to bowiem zagadnienie podstawowe dla każdego właściciela budynku, pozwalając mu na formułowanie zadań i celów w zakresie gospodarki energetycznej w danym obiekcie, szczególnie w aspekcie możliwych działań modernizacyjnych i racjonalizacyjnych, związanych także z wykorzystaniem lokalnie dostępnych odnawialnych zasobów energii.

Powyższe spostrzeżenia są podstawą do skoncentrowania się na następującym problemie naukowym:

Analizie zastosowania wybranych narzędzi i metod symulacyjnych oraz pomiarowych do kompleksowej analizy energetycznej budynku i określania jego efektywności energetycznej.

W rozprawie przyjęto następujące tezy:

Kompleksowa analiza energetyczna budynku pozwala na ocenę efektywności energetycznej budynku oraz określenie jego klasy energetycznej.

Wykorzystanie w budownictwie użyteczności publicznej odnawialnych zasobów i źródeł energii jest konieczne oraz opłacalne ze względów energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych oraz bezpieczeństwa energetycznego państwa.

Cel pracy jest wieloaspektowy i obejmuje następujące zagadnienia:

- Kompleksowa analiza potrzeb energetycznych budynku użyteczności publicznej na drodze symulacyjnej i pomiarowej dla wyznaczenia jego zapotrzebowania energetycznego oraz określenia efektywności energetycznej.
- Ocena efektywności technicznej, ekonomicznej i wpływu na środowisko naturalne wykorzystania odnawialnych źródeł i zasobów energetycznych w budynku.
- Opomiarowanie i monitoring energetyczny dla potrzeb bieżącego zarządzania zużyciem i racjonalizacji wykorzystania energii w budynku.
- Określenie klasy energetycznej budynku, jako podstawowego wskaźnika charakteryzującego jego efektywność energetyczną.

Udowodnienie tezy rozprawy wymaga:

- Wyboru, na podstawie dokonanego przeglądu literatury, metod analizy potrzeb energetycznych budynków pod kątem ich przydatności do zastosowania w ocenie energetycznej budynków.
- Zebrania danych dotyczących wielkości zużycia energii i wskaźników energochłonności obiektów użyteczności publicznej dla celów porównawczych z badanym budynkiem.
- Budowy modelu matematycznego zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej oraz konstrukcji narzędzia obliczeniowego opartego na tym modelu.
- Budowy komputerowego systemu opomiarowania i monitoringu energetycznego rzeczywistego budynku dla weryfikacji przeprowadzonych obliczeń oraz stałego nadzoru nad gospodarką energetyczną w obiekcie przez jego właściciela.
- Zebrania miesięcznych danych pomiarowych zużycia mediów energetycznych w badanym obiekcie z okresu co najmniej rocznego, a następnie opracowanie metodyki obliczeń dla określenia rzeczywistego zużycia brutto i netto energii dla wybranych potrzeb energetycznych.
- Określenia zapotrzebowania energetycznego budynku dla każdej z zastosowanych metod badawczych, obejmującego możliwe do wyznaczenia składniki teoretycznego (obliczeniowego) bądź rzeczywistego zapotrzebowania energii brutto i netto.
- Określenia efektywności energetycznej badanego budynku poprzez obliczenie wskaźników energochłonności oraz określenie klasy energetycznej i porównania uzyskanych rezultatów z innymi tego rodzaju obiektami.
- Określenia ekonomicznej efektywności kompleksowej termomodernizacji badanego budynku, obejmującej modernizację budowlaną (docieplenie obiektu dla ograniczenia strat ciepłych) oraz modernizację systemu grzewczego z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii.
- Określenia efektywności ekonomicznej oraz wpływu na środowisko naturalne zastosowania różnego rodzaju kopalnych i odnawialnych nośników i źródeł energii dla pokrycia potrzeb związanych z ogrzewaniem i przygotowaniem ciepłej wody użytkowej badanego rzeczywistego budynku po jego modernizacji.
- Określenia, na podstawie wykonanych pomiarów, wpływu temperatury otoczenia, jako czynnika zewnętrznego, na zużycie energii elektrycznej, gazu i ciepła dla potrzeb grzewczych w budynku.

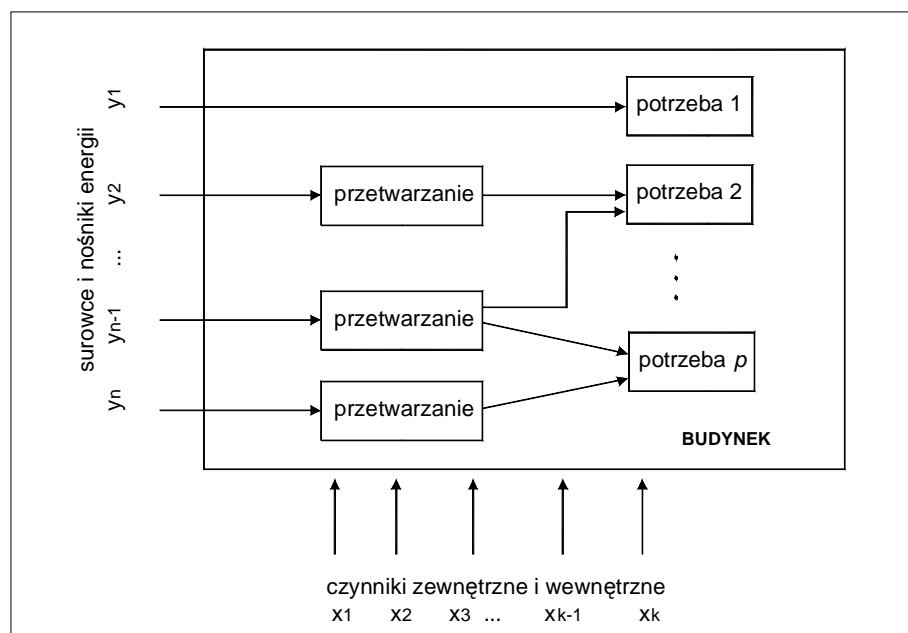
4 Model matematyczny zapotrzebowania energetycznego budynku

W literaturze wyodrębnia się dwie grupy metod analiz energetycznych [122], [123] reprezentujących odpowiednio podejście procesowe oraz systemowe.

W analizie procesowej badany obiekt podlega rozkładowi na prostsze elementy i badaniu każdego z nich. Każda potrzeba energetyczna obiektu jest analizowana odrębnie, a następnie na tej podstawie określone jest całkowite zapotrzebowanie na energię.

Analiza systemowa traktuje obiekt jako system którego poszczególne elementy wpływają na pracę całości i w którym wytwarzanie i zużycie energii zachodzi w sieci wzajemnie powiązanych procesów energetycznych. Analizowane jest bezpośrednie zużycie nośników energii oraz zużycie pośrednie w powiązanych procesach.

W ujęciu procesowym, budynek jako obiekt fizyczny spełniający funkcje użytkowe, wymaga zapewnienia określonej ilości potrzeb energetycznych. W tym celu (rys. 4.1) są do niego dostarczane surowce oraz nośniki energii. W zależności od obiektu są one przetwarzane dla konkretnych potrzeb (ogrzewanie, oświetlenie, itp.). Wielkość ich zużycia jest uzależniona od wpływu czynników zewnętrznych (temperatura, wiatr, itp.) oraz wewnętrznych (struktura budynku, użyte materiały, zachowanie użytkowników, itp.)



Rys. 4.1 Ogólny model energetyczny budynku, [oprac. własne].

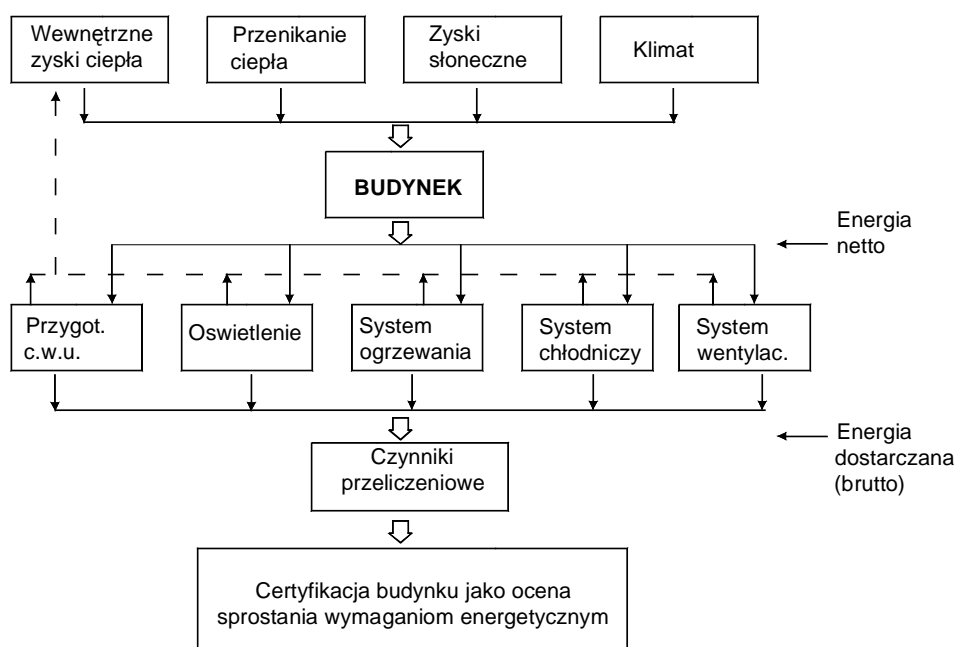
Dla pełnego opisu energetycznego budynku konieczna jest identyfikacja oraz określenie ilościowe wszystkich p potrzeb energetycznych. Ich suma daje całkowite teoretyczne lub rzeczywiste zapotrzebowanie na energię netto (E_N) budynku:

$$E_N = \sum_{p=1}^p E_{p-N} \quad [\text{J}] \quad (4.1)$$

Uwzględnienie sprawności przetwarzania w urządzeniach i instalacjach znajdujących się w danym obiekcie pozwala wyznaczyć wartość energii dostarczanej do budynku (brutto):

$$E_B = \sum_{p=1}^p E_{p-B} \quad [\text{J}] \quad (4.2)$$

Określenie ilościowe zapotrzebowania energetycznego budynku umożliwia, na podstawie przyjętych kryteriów, wyznaczenie efektywności i jakości energetycznej badanego budynku. W odniesieniu do regulacji prawnych obowiązujących w danym kraju, oznacza to możliwość certyfikacji energetycznej (rys. 4.2).



Rys. 4.2.: Zapotrzebowanie energetyczne budynku [2], [21], [81].

4.1 Metoda określania zapotrzebowania energetycznego budynku

Zmienność czasowa warunków klimatycznych w jakich jest umiejscowiony budynek powoduje powstawanie zmiennego zapotrzebowania na energię. Forma danych klimatycznych w opisie matematycznym tego zapotrzebowania określa sposób podejścia do analizy potrzeb energetycznych budynku [3], [24], [25], tj. statyczny lub dynamiczny.

W ujęciu statycznym obliczenia wykonuje się przy założeniu przepływu ciepła przez przegrody budynku w warunkach ustalonych, tj. strumień ciepła i temperatura są stałe w analizowanych przedziałach czasu, zwykle miesięcznych. Parametry klimatu zewnętrznego podawane są jako uśrednione dane miesięczne z okresów wieloletnich.

W ujęciu dynamicznym wykorzystywane są modele zjawisk fizycznych zachodzących w budynku bazujące na algorytmach opisujących procesy wymiany ciepła w budynku jako procesy dynamiczne. Przebiegi tych procesów modelowane są dla określonego kroku czasowego, standardowo o długości jednej godziny [25].

Modelowanie dynamiczne pozwala na precyzyjne określenie zmienności czasowej zapotrzebowania energetycznego budynku w krótszych odstępach czasu, wymagając jednak złożonego opisu matematycznego. Modelowanie statyczne wiąże się z pewnymi uproszczeniami, ale dostępność danych klimatycznych w formie średnich wartości miesięcznych i łatwość aplikacyjna spowodowała, iż w rozprawie zastosowano statyczne podejście do określania bilansu zapotrzebowania energetycznego budynku.

4.2 Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku

Do określenia wielkości zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku konieczna jest analiza jego bilansu cieplnego. Zawiera on z jednej strony straty, a z drugiej – zyski ciepła powstające w budynku [42].

4.2.1 Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku

Zagadnienia przewodzenia ciepła w przegrodach budowlanych przedstawione są m.in. w pracach [36], [50], [71]. Wykorzystując powyższe publikacje w dalszej części podano zależności opisujące przebieg strumienia ciepła wymianianego z otoczeniem. Przyjęto uproszczony model opisu wymiany ciepła w przegrodzie, w którym założono stałe wartości oporów przejmowania ciepła na powierzchniach przegród budynku i uśrednioną temperaturę otoczenia. Pominięto także wpływ akumulacyjności cieplnej przegród [36].

W przegrodach zewnętrznych budynków znajdują się elementy dodatkowe, takie jak drzwi i okna, wpływające na wielkość strat i zysków ciepła.

Oznaczając:

A_k – powierzchnia całkowita k-tej przegrody zewnętrznej, [m²],

A_{pk} – powierzchnia części przezroczystej (okien) k-tej przegrody zewnętrznej, [m²],

A_{nk} – powierzchnia części nieprzezroczystej k-tej przegrody zewnętrznej, [m²],

A_{dk} – powierzchnia drzwi k-tej przegrody zewnętrznej, [m²],

A_{sk} – powierzchnia ścian k-tej przegrody zewnętrznej, [m²].

przy czym:

$$A_{nk} = A_{sk} + A_{dk} \quad [\text{m}^2] \quad (4.3)$$

otrzymuje się:

$$w_{pk} = \frac{A_{pk}}{A_k} = \frac{A_{pk}}{A_{nk} + A_{pk}} \quad [-] \quad (4.4)$$

oraz:

$$w_{dk} = \frac{A_{dk}}{A_k} = \frac{A_{dk}}{A_{nk} + A_{pk}} \quad [-] \quad (4.5)$$

gdzie:

w_{pk} – współczynnik przeszklenia k-tej przegrody, [-].

w_{dk} – współczynnik udziału powierzchni drzwi k-tej przegrody, [-].

Gęstość strumienia strat ciepła przez k-tą przegrodę w funkcji czasu τ wynosi [36], [50], [71]:

$$q_{sk}(\tau) = U_{zk}[T_e(\tau) - T_i(\tau)] \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.6)$$

gdzie:

U_{zk} – zastępczy współczynnik przenikania ciepła k-tej przegrody zewnętrznej, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

$T_e(\tau)$ – temperatura otoczenia (zewnętrzna), $[\text{K}]$,

$T_i(\tau)$ – temperatura wewnątrz budynku, $[\text{K}]$, przy czym:

$$U_{zk} = U_{sk}(1 - w_{ok} - w_{dk}) + U_{dk}w_{dk} + U_{pk}w_{pk} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4.7)$$

gdzie:

U_{sk} – współczynnik przenikania ciepła ścian k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

U_{dk} – współczynnik przenikania ciepła drzwi k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

U_{pk} – współczynnik przenikania ciepła części przezroczystej (okien) k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2\text{K}]$.

Całkując wyrażenie (4.6) względem czasu w granicach jednego miesiąca otrzymuje się wartość strat ciepła $q_{sk(m)}$ na 1m^2 k-tej przegrody zewnętrznej budynku w m-tym miesiącu:

$$q_{sk(m)} = \int_0^M q_{sk}(t) dt = U_k [T_i - T_e] M_{(m)} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.8)$$

gdzie:

$M_{(m)}$ – długość m-tego miesiąca, $[\text{s}]$,

T_e – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w miesiącu m, $[\text{K}]$,

T_i – średnia temperatura powietrza w pomieszczeniu w miesiącu m, $[\text{K}]$.

Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne (obudowę) budynku w miesiącu m są określane jako suma strat ciepła przez ściany zewnętrzne, podłogę i stropodach:

$$Q_{b(m)} = \left[\sum_{k=1}^K A_{kz} U_{kz} + (A_{sd} U_{sd} + A_{pd} U_{pd}) \right] \cdot M_{(m)} \cdot [T_e - T_i] \quad [\text{J}] \quad (4.9)$$

gdzie:

K – liczba przegród zewnętrznych pionowych, [-],

A_{kz} – powierzchnia k-tej przegrody zewnętrznej, $[\text{m}^2]$,

A_{sd} – powierzchnia stropodachu, $[\text{m}^2]$,

U_{sd} – współczynnik przenikania ciepła stropodachu, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

A_{pd} – powierzchnia podłogi, $[\text{m}^2]$,

U_{pd} – współczynnik przenikania ciepła podłogi, $[\text{W/m}^2\text{K}]$.

4.2.2 Straty ciepła na podgrzewanie powietrza wentylacyjnego

Do budynku konieczne jest dostarczenie w procesie wentylacji wymaganej ilości świeżego powietrza i usunięcie powietrza zużytego. Świeże powietrze jest podgrzewane do temperatury wewnątrz obiektu, co wymaga dodatkowej ilości ciepła.

W budynkach znajdują się pomieszczenia które spełniając określone funkcje (biurowe, komunikacyjne, itp.) tworzą strefy o jednakowych wymaganiach wentylacyjnych. Dla i-tej strefy dobowe zużycie ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego wynosi [36]:

$$Q_{wi(d)} = c_p \cdot \rho_p \cdot \Phi_i \cdot (T_i - T_e) \cdot D \quad [\text{J}] \quad (4.10)$$

gdzie:

Φ_i – strumień powietrza wentylacyjnego dla i-tej strefy budynku, [m^3/h],

ρ_p – gęstość powietrza, [kg/m^3],

c_p – ciepło właściwe powietrza, [$\text{J}/\text{kg K}$],

D – długość jednej doby, [h].

Straty wentylacyjne dla i-tej strefy w m-tym miesiącu:

$$Q_{wi(m)} = \sum_{d=1}^{d_{(m)}} Q_{wi(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.11)$$

gdzie:

$d_{(m)}$ – ilość dni w miesiącu m, [-].

Straty wentylacyjne dla całego budynku w m-tym miesiącu wynoszą:

$$Q_{w(m)} = \sum_{i=1}^s Q_{wi(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.12)$$

gdzie:

s – ilość stref wentylacyjnych w budynku, [-].

W przypadku stosowania urządzeń z odzyskiem ciepła temperatura powietrza nawiewanego do budynku przyjmuje inną wartość niż temperatura powietrza zewnętrznego. Zakładając efektywność odzysku ciepła z powietrza wywiewanego równą e_o , można napisać [95] iż temperatura powietrza nawiewanego wynosi:

$$T_n = T_e + e_o (T_i - T_e) \quad [\text{K}] \quad (4.13)$$

gdzie:

T_n – temperatura powietrza nawiewanego do budynku, [K],

e_o – współczynnik efektywności odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, [-].

4.2.3 Zyski ciepła od promieniowania słonecznego

Oznaczając średnią gęstość promieniowania słonecznego padającego na przegrodę budynku przez q_{sol} otrzymuje się zależność na gęstość strumienia q_{sn} zysków ciepła na powierzchni przegrody nieprzezroczystej (ściany) budynku w postaci [36], [71]:

$$q_{sn} = q_{sol} \frac{a_{sol-n}}{a_e} U_n \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.14)$$

gdzie:

q_{sol} – gęstość promieniowania padającego na zewnętrzną przegrodę budynku, $[\text{W/m}^2]$,

a_{sol-n} – współczynnik absorpcyjności przegrody, [-],

a_e – współczynnik przejmowania ciepła po stronie zewnętrznej rozpatrywanej przegrody, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

U_n – współczynnik przenikania ciepła przegrody nieprzezroczystej, $[\text{W/m}^2\text{K}]$.

W przegrodzie przezroczystej (oknie) strumień zysków ciepła na powierzchni okna jest określony zależnością:

$$q_{sp} = q_{sol} \frac{a_{sol-p}}{a_e} \cdot U_p + q_{sol} \cdot L_T \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.15)$$

gdzie:

a_{sol-p} – współczynnik absorpcji promieniowania przez oszklenie okna, [-],

U_p – współczynnik przenikania ciepła przegrody przezroczystej, $[\text{W/m}^2\text{K}]$,

L_T – współczynnik przepuszczalności promieniowania przez oszklenie okna, [-].

Średnia gęstość strumienia zysków ciepła dla k-tej przegrody:

$$q_{sk} = q_{ssk} + q_{sdk} + q_{spk} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.16)$$

gdzie:

q_{ssk} – strumień zysków ciepła dla ściany k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2]$,

q_{sdk} – strumień zysków ciepła dla drzwi k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2]$,

q_{spk} – strumień zysków ciepła dla okien k-tej przegrody, $[\text{W/m}^2]$.

Zatem, po uwzględnieniu wyrażen (4.4), (4.5), (4.14), (4.15) i (4.16):

$$q_{sk} = q_{sol} \cdot \left[\left(U_s \frac{a_{sol-n}}{a_e} \right) \cdot (1 - w_{dk} - w_{ok}) + \left(U_d \frac{a_{sol-n}}{a_e} \right) \cdot w_{dk} + \left(U_p \cdot \frac{a_{sol-p}}{a_e} + L_T \right) \cdot w_{ok} \right] \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.17)$$

Przyjmując:

$$c_k = \left[\left(U_s \frac{a_{sol-n}}{a_e} \right) \cdot (1 - w_{dk} - w_{ok}) + \left(U_d \frac{a_{sol-n}}{a_e} \right) \cdot w_{dk} + \left(U_p \cdot \frac{a_{sol-p}}{a_e} + L_T \right) \cdot w_{ok} \right] \quad [-] \quad (4.18)$$

otrzymuje się:

$$q_{sk} = c_k \cdot q_{sol} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.19)$$

Odnosząc wyrażenie (4.19) do k-tej przegrody otrzymuje się zależność na gęstość strumienia zysków przypadających na jednostkę powierzchni przegrody w m-tym miesiącu:

$$q_{sk(m)} = c_k \cdot q_{sol-k(m)} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.20)$$

gdzie:

$q_{sol-k(m)}$ – średnia wartość natężenia promieniowania słonecznego w miesiącu m padającego na przegrodę k, $[\text{W/m}^2]$.

Wartość miesięcznych zysków ciepła od promieniowania słonecznego dla k-tej przegrody:

$$Q_{sk(m)} = A_k \cdot q_{sk(m)} \cdot M_{(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.21)$$

Jeżeli ilość energii promieniowania słonecznego docierająca na jednostkową powierzchnię k-tej przegrody w miesiącu m wynosi:

$$I_{sol-k(m)} = q_{sol-k(m)} \cdot M_{(m)} \quad [\text{J/m}^2] \quad (4.22)$$

to wartość miesięcznych zysków ciepła dla k-tej przegrody budynku:

$$Q_{sk(m)} = A_k \cdot c_k \cdot I_{sol-k(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.23)$$

Dla wszystkich przegród zewnętrznych budynku:

$$Q_{s(m)} = \sum_{k=1}^K Q_{sk(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.24)$$

gdzie: K – ilość rozpatrywanych przegród, [-].

4.2.4 Wewnętrzne zyski ciepła

Wewnętrzne zyski ciepła w budynkach użyteczności publicznej obejmują [18], [26], [36] zyski:

- bytowe, od ludzi przebywających w danym obiekcie,
- od oświetlenia elektrycznego,
- od innych urządzeń elektrycznych (sprzęt biurowy, silniki elektryczne, itp.):

$$Q_{i(m)} = Q_{l(m)} + Q_{o(m)} + Q_{u(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.25)$$

gdzie:

$Q_{i(m)}$ – wewnętrzne zyski ciepła w budynku w miesiącu m, [J],

$Q_{l(m)}$ – bytowe zyski ciepła w budynku w miesiącu m, [J],

$Q_{o(m)}$ – zyski ciepła od oświetlenia w budynku w miesiącu m, [J],

$Q_{u(m)}$ – zyski ciepła od urządzeń elektrycznych w budynku w miesiącu m, [J].

Dla i-tej grupy osób obciążonych tym samym rodzajem pracy, dobową ilość zysków ciepła można określić zależnością [18], [26], [33], [37], [51]:

$$Q_{li} = t_i \cdot n_i \cdot k_{ji} \cdot P_{bi} \quad [\text{J}] \quad (4.26)$$

gdzie:

τ_i – średni czas przebywania i-tej grupy osób w budynku, [s],

n_i – ilość osób w i-tej grupie, [-],

k_{ji} – współczynnik jednoczesności przebywania w budynku osób z i-tej grupy, [-],

P_{bi} – jednostkowe bytowe zyski ciepła dla i-tej grupy osób, [W/osobę].

Dobowa wartość bytowych zysków ciepła w budynku:

$$Q_{l(d)} = \sum_{i=1}^I Q_{li(d)} \quad (4.27)$$

gdzie:

I – ilość grup osób obciążona jednakowym rodzajem aktywności, [-].

Łączna wartość bytowych zysków ciepła w miesiącu m:

$$Q_{l(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} Q_{l(d)} \quad (4.28)$$

Dla i-tego źródła światła dobową wartość zysków ciepła jest opisana zależnością [33]:

$$Q_{oi(d)} = P_{oi} \cdot w_{oi} \cdot \tau_{oi} \quad [\text{J}] \quad (4.29)$$

gdzie:

P_{oi} – moc znamionowa i-tego źródła światła, [W],

w_{oi} – współczynnik wydzielania ciepła i-tego źródła światła, zależny od czasu pracy, [-],

τ_{oi} – czas pracy i-tego źródła światła, [s].

W tabeli 4.1 przedstawiono wartości współczynnika w_{oi} [33].

Tabela 4.1: Wartości współczynnika wydzielenia w_o , [33].

τ_o [h]	2	4	6	8	10	12
w_o	0,82	0,88	0,92	0,95	0,97	0,99

Dobowa wartość zysków ciepła od oświetlenia w budynku:

$$Q_{o(d)} = \sum_{i=1}^I Q_{oi(d)} \quad (4.30)$$

gdzie:

I – ilość źródeł światła, [-].

Wartość zysków ciepła od oświetlenia w miesiącu m :

$$Q_{o(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} Q_{o(d)} \quad (4.31)$$

Urządzenia elektryczne (komputery, drukarki, itp.) podczas użytkowania wydzielają określoną ilość ciepła, zależną od czasu użytkowania urządzenia i od jego mocy. Dla i -tego urządzenia dobowa wartość tego ciepła może zostać opisana zależnością [18]:

$$Q_{ui(d)} = P_{ui} \cdot t_{ui} \quad [\text{J}] \quad (4.32)$$

gdzie:

P_{ui} – moc znamionowa i -tego urządzenia, [W],

t_{ui} – średni dobowy czas użytkowania i -tego urządzenia, [s].

Miesięczne zyski ciepła od i -tego urządzenia są wyrażone zależnością:

$$Q_{ui(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} Q_{ui(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.33)$$

Miesięczne zyski ciepła od wszystkich I urządzeń:

$$Q_{u(m)} = \sum_{i=1}^I Q_{ui(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.34)$$

4.2.5 Bilans cieplny budynku

W okresie sezonu grzewczego, kiedy temperatura otoczenia jest mniejsza od temperatury wewnątrz obiektu, straty ciepła z budynku przewyższają wartość zysków [42]:

$$Q_{t(m)} > Q_{z(m)} \quad (4.35)$$

gdzie:

$Q_{t(m)}$ – straty ciepła, [J]

$Q_{z(m)}$ – zyski ciepła, [J].

oraz:

$$Q_{t(m)} = Q_{b(m)} + Q_{w(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.36)$$

$$Q_{z(m)} = Q_{s(m)} + Q_{i(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.37)$$

Pojawiający się w budynku niedobór ciepła należy uzupełnić za pośrednictwem źródeł zewnętrznych. Ilość ciepła $Q_{g(m)}$ do celów grzewczych budynku w m-tym miesiącu wynosi:

$$Q_{g(m)} = Q_{t(m)} - Q_{z(m)} \quad (4.38)$$

Ciepło dostarczane do systemu grzewczego budynku może pochodzić z różnych źródeł. Oznaczając przez u_i udział i-tego źródła ciepła w całkowitym zapotrzebowaniu:

$$u_i = \frac{Q_{i(m)}}{Q_{g(m)}} \quad [-] \quad (4.39)$$

gdzie:

$Q_{i(m)}$ – ilość ciepła dostarczonego przez i-te źródło w m-tym miesiącu, [J],

otrzymuje się:

$$E_{g(m)-B} = \sum_{i=1}^i \frac{Q_{i(m)}}{h_{oi}} \quad [\text{J}] \quad (4.40)$$

gdzie:

$E_{g(m)-B}$ – ciepło dostarczone do budynku (brutto) do celów grzewczych w m-tym miesiącu, [J],

η_{oi} – sprawność systemu grzewczego dla i-tego źródła ciepła, przy czym [85]:

$$\eta_o = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_e \quad [-] \quad (4.41)$$

gdzie:

η_w – sprawność wytwarzania ciepła, [-],

η_p – sprawność przesyłania, [-],

η_r – sprawność regulacji systemu grzewczego, [-],

η_e – sprawność wykorzystania ciepła, [-].

4.3 Zapotrzebowanie na chłód

W polskiej strefie klimatycznej występuje w ciągu roku okres ciepły [42], kiedy temperatura otoczenia jest wyższa od temperatury wewnątrz budynku. W porze dziennej cieplejszych miesięcy niewykorzystana część zysków ciepła może przewyższać straty ciepła:

$$Q_{z(m)} > Q_{t(m)} \quad (4.42)$$

Nadmiar ciepła doprowadzonego do budynku może powodować nadmierne podwyższenie temperatury w jego wnętrzu. Tą dodatkową nieużyteczną ilość ciepła można usunąć z pomieszczeń poprzez intensywniejszą wymianę powietrza (przewietrzanie pomieszczeń) albo zneutralizować doprowadzając równoważną ilość chłodu [42].

Ilość chłodu $Q_{ch(m)}$ potrzebnego do ochłodzenia budynku w m-tym miesiącu wynosi:

$$Q_{ch(m)} = Q_{z(m)} - Q_{t(m)} \quad (4.43)$$

4.4 Zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej

Ilość ciepłej wody zużywanej w budynku w ciągu jednej doby określa zależność:

$$V_{cwu(d)} = n_u \cdot q_{cwu} \text{ [m}^3\text{]} \quad (4.44)$$

gdzie:

n_u – liczba osób użytkujących budynek, [-],

q_{cwu} – zużycie wody przypadające na jedną osobę, [m³].

Zapotrzebowanie miesięczne jest sumą ilości dziennych:

$$V_{cwu(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} V_{cwu(d)} \text{ [m}^3\text{]} \quad (4.45)$$

Energia niezbędna do przygotowania danej ilości ciepłej wody użytkowej w m-tym miesiącu może być określona z zależności [8], [9]:

$$E_{cwu(m)} = V_{cwu(m)} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (t_c - t_z) \text{ [J]} \quad (4.46)$$

gdzie:

ρ – gęstość wody, [kg/m³],

c_w – ciepło właściwe wody, [J/kg K],

t_c – temperatura wody podgrzanej (wyjściowa), [K],

t_z – temperatura wody zimnej (wejściowa), [K].

Energia brutto którą należy dostarczyć do urządzeń przygotowujących c.w.u., po uwzględnieniu sprawności systemu przygotowania i przesyłu wody jest określona zależnością:

$$E_{cwu(m)-B} = \frac{E_{cwu(m)}}{h_w \cdot h_p} \text{ [J]} \quad (4.47)$$

gdzie:

η_w – sprawność źródła ciepła stosowanego dla przygotowania ciepłej wody, [-],

η_p – sprawność przesyłu ciepłej wody w instalacji budynku, [-].

4.5 Zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną

4.5.1 Oświetlenie.

Energia zużyta w d-tym dniu przez i-te źródło światła jest opisana zależnością:

$$E_{oi(d)} = P_{oi} \cdot \tau_{i(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.48)$$

gdzie:

P_{oi} – moc znamionowa i-tego źródła światła, [W],

$\tau_{oi(n)}$ – czas pracy i-tego źródła światła w dniu d, [s].

Energia zużyta przez i-te źródło światła w miesiącu m:

$$E_{oi(m)} = \sum_{d=1}^{d_{(m)}} E_{oi(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.49)$$

Zużycie energii elektrycznej w budynku przez wszystkie źródła światła (w liczbie I) w miesiącu m wynosi:

$$E_{o(m)} = \sum_{i=1}^I E_{oi(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.50)$$

4.5.2 Wentylatory w instalacjach wentylacyjno-klimatyzacyjnych

Zastosowanie w budynkach systemów klimatyzacyjnych i wentylacji mechanicznej powoduje iż konieczne staje się uwzględnienie dodatkowego zużycia energii elektrycznej niezbędnej do napędu wentylatorów dostarczających powietrze do pomieszczeń w budynku.

Dzienne zapotrzebowanie netto energii dla i-tego wentylatora wynosi [82], [118]:

$$E_{wi(d)} = P_{wi} \cdot \tau_{wi} \quad [\text{J}] \quad (4.51)$$

gdzie:

P_{wi} – moc i-tego wentylatora, [W],

τ_{wi} – dzienny średni czas pracy i-tego wentylatora, [s].

Zapotrzebowanie na energię dla i-tego wentylatora w m-tym miesiącu:

$$E_{wi(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} E_{wi(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.52)$$

Dla wszystkich wentylatorów w budynku (w ilości I) w miesiącu m :

$$E_{w(m)} = \sum_{i=1}^I E_{wi(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.53)$$

Dla określenia zapotrzebowania na energię brutto w rzeczywistym układzie należy uwzględnić sprawność urządzeń:

$$E_{wi(m)-B} = \frac{E_{wi(m)}}{h_s \cdot h_w} \quad [\text{J}] \quad (4.54)$$

gdzie:

η_s – sprawność silnika elektrycznego do napędu wentylatora, [-],

η_w – sprawność wentylatora, [-].

Łączne zużycie energii brutto do napędu I urządzeń wentylacyjnych w m -tym miesiącu:

$$E_{w(m)-B} = \sum_{i=1}^I E_{wi(m)-B} \quad [\text{J}] \quad (4.55)$$

4.5.3 Napędy pomp obiegowych w instalacjach grzewczych budynku

W instalacjach c.o. i c.w.u. stosuje się pompy obiegowe dla efektywnego dostarczania ciepła i chłodu [66]. Dobowe zapotrzebowanie na energię dla i -tej pompy wynosi:

$$E_{pi(d)} = P_{pi} \cdot \tau_{pi(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.56)$$

gdzie:

P_{pi} – moc znamionowa i -tej pompy, [W],

$\tau_{pi(d)}$ – średni dobowy czas pracy i -tej pompy w dniu d , [s].

Zapotrzebowanie na energię do napędu i -tej pompy w miesiącu m :

$$E_{pi(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} E_{pi(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.57)$$

Dla określenia zapotrzebowania energii brutto w rzeczywistym układzie uwzględniono sprawność pompy i silnika napędowego. Wtedy:

$$E_{pi(m)-B} = \frac{E_{pi(m)}}{h_s \cdot h_p} \quad [\text{J}] \quad (4.58)$$

gdzie:

η_s – sprawność silnika elektrycznego do napędu pompy, [-],

η_p – sprawność pompy, [-].

Zużycie miesięczne energii elektrycznej brutto w budynku przez wszystkie pompy w budynku (w ilości I):

$$E_{p(m)-B} = \sum_{i=1}^I E_{pi(m)-B} \quad [\text{J}] \quad (4.59)$$

4.5.4 Sprzęt elektroniczny

Dla tej grupy urządzeń konieczne jest określenie ilości średniego dobowego czasu użytkowania poszczególnych odbiorów oraz ich mocy. Wtedy dzienną konsumpcję energii przez i-ty odbiornik można zapisać jako:

$$E_{ei(d)} = P_{ei} \cdot \tau_{ei} \quad [\text{J}] \quad (4.60)$$

gdzie:

P_{ei} – moc znamionowa i-tego urządzenia, [W],

τ_{ei} – średni dobowy czas pracy i-tego urządzenia, [s].

Energia zużyta w ciągu miesiąca przez i-te urządzenie:

$$E_{ei(m)} = \sum_{d=1}^{d(m)} E_{ei(d)} \quad [\text{J}] \quad (4.61)$$

Łączne miesięczne zużycie energii przez wszystkie urządzenia elektroniczne w liczbie I:

$$E_{e(m)} = \sum_{i=1}^I E_{ei(m)} \quad [\text{J}] \quad (4.62)$$

5 Obiekt badań

5.1 Charakterystyka ogólna budynku

Analizowany obiekt jest położony w Gródku nad Dunajcem, w powiecie nowosądeckim (woj. małopolskie). Jest on usytuowany ścianami dłuższymi wzdłuż osi północ-południe. Elewację frontową (zachodnią) budynku przedstawiono na rysunku 5.1.



Rys. 5.1: Widok elewacji frontowej budynku szkoły, [129].

Jest to murowany budynek wolnostojący czterokondygnacyjny, podpiwniczony. Podstawowym materiałem ścian nośnych jest pustak MAX. Przegrody działowe wykonano z cegły pełnej oraz modularnej. Tynkowanie ścian wykonano na zaprawie cementowo wapiennej. Podstawowe dane budynku przedstawione zostały w tabeli 5.1.

Tabela 5.1: Dane ogólne budynku szkoły, [128], [129].

1.	Konstrukcja / technologia budynku	Tradycyjna, pustak MAX
2.	Liczba kondygnacji	4
3.	Kubatura całkowita budynku [m ³]	8500,0
4.	Kubatura części ogrzewanej budynku [m ³]	7731,8
5.	Powierzchnia użytkowa ogrzewanej części budynku [m ²]	2612,9
6.	Współczynnik kształtu A/V	0,338
7.	Liczba klatek schodowych	2
8.	Liczba kondygnacji	4
9.	Wysokość kondygnacji w świetle [m]	2,50
10.	Liczba pomieszczeń (bez poddasza)	44
11.	Liczba osób użytkujących budynek, w tym uczniowie, nauczyciele, obsługa (rok szkolny 2007/2008)	212+23+7

W latach 2002 – 2003 budynek został poddany kompleksowej termomodernizacji obejmującej docieplenie ścian zewnętrznych, podłoża i dachu (tab. 5.2) oraz modernizację instalacji grzewczej, klimatyzacyjnej i wentylacyjnej i podniesienie sprawności wytwarzania ciepła przez modernizację kotłowni i zastosowanie odnawialnych źródeł energii.

Tabela 5.2: Dane dotyczące przegród budowlanych, [128], [129].

L.p.	Opis	Pow. całkowita	U przed modernizacją	U po modernizacji	Pow. okien
		m ²	W/(m ² ·K.)	W/(m ² ·K)	m ²
1.	Podłoga piwnicy	630,57	0,821	0,395	
2.	Dach	498,85	0,714	0,194	22,18
3.	Strop nad poddaszem	466,30	1,871	0,525	
4.	Strop nad piwnicą (parkiet)	519,85	0,796	0,389	
5.	Strop nad piwnicą (PCV)	98,60	0,513	0,513	
6.	Strop nad przyziemem i piętrem	77,50	0,769	0,769	
7.	Ściana wewnętrzna piwnicy	319,52	2,457	2,457	
8.	Ściana wewnętrzna piętra	430,96	1,207	1,207	
9.	Ściana działowa 12 cm	326,03	2,235	2,235	
10.	Ściana zewnętrzna	1074,70	0,656	0,225	299,00
11.	Ściana zewnętrzna piwnicy	117,19	0,554	0,241	
12.	Ściana zewnętrzna przy gruncie	361,94	0,485	0,213	
13.	Okna	321,18	1,100	1,100	
14.	Drzwi	10,80	2,000	2,000	

Budynek jest zasilany w energię elektryczną z sieci trójfazowej niskiego napięcia 230/400V~ 50Hz według taryfy C22b (dwustrefowej) spółki ENION S.A., o. Kraków. Energia elektryczna zgodnie z projektem zasilania [119] doprowadzona jest do złącza zabudowanego na frontowej ścianie budynku. Nad złączem zabudowany jest wyłącznik główny oraz układ pomiarowo-rozliczeniowy energii czynnej i biernej. Do rozdziału energii wewnątrz budynku służy rozdzielnia główna. Gaz ziemny doprowadzony jest do budynku szkoły z gazociągu Gazowni Jasielskiej. Pomiar zużycia gazu dokonywany jest za pomocą licznika gazu. Rozliczenia szkoły z dostawcą gazu dokonywane są w okresach miesięcznych według taryfy W3. Woda bieżąca dostarczana jest z miejscowego wodociągu.

5.2 System grzewczo – wentylacyjno – klimatyzacyjny

Zmodernizowany węzeł cieplny szkoły (Rys. 5.2) składa się z następujących elementów [127]:

- pompa ciepła Viessman – Vitocal 300 typ WW 280, [103-107],
- system solarny Vitosol 100 typ S-2,5, [89], [111],
- kocioł DeDietrich typu DTG 250-9,
- podgrzewacz Vitocell V100, [110],
- podgrzewacz Vitocell-V333, [109],

-
- zasobnik ciepłej wody SeCesPol 1500 l, [120],
 - obieg wody z Jeziora Rożnowskiego,
 - kolektor gruntowy,
 - trzy obiegi grzewcze c.o.,
 - obieg c.w.u.

Podstawowym źródłem ciepła dla budynku jest pompa ciepła. Do jej zasilania służy węzeł dolnych źródeł ciepła zlokalizowany w budynku kotłowni. Pierwsze z nich to woda z Jeziora Rożnowskiego oddalonego o ok. 320m od budynku szkoły [124], [125]. Woda powrotna z pompy ciepła odprowadzana jest do studni kanalizacji drenażowej i spływa grawitacyjnie rurociągiem do biegnącego poniżej szkoły rowu melioracyjnego powracając do jeziora. Drugie źródło, poziomy kolektor ziemny stanowiący gruntowy wymiennik ciepła, tworzy węzownica o długości około 4200m, zakopana w gruncie znajdującym się w pobliżu szkoły 2 metry pod powierzchnią ziemi. Węzownica napełniona jest niezamarzającą solanką.

Dla pokrycia zapotrzebowania szczytowego oraz rezerwowania pompy ciepła dobrano jeden kocioł typu DTG 250-9 NEZ firmy De Dietrich o mocy grzewczej 92 kW.

Zasobnik Vitocell 050 SVP to zbiornik buforowy do magazynowania wody grzewczej o pojemności 900 litrów. W układzie technologicznym kotłowni pracuje on jako sprzęgło hydrauliczne łącząc obieg wtórny pompy ciepła z obiegami grzewczymi.

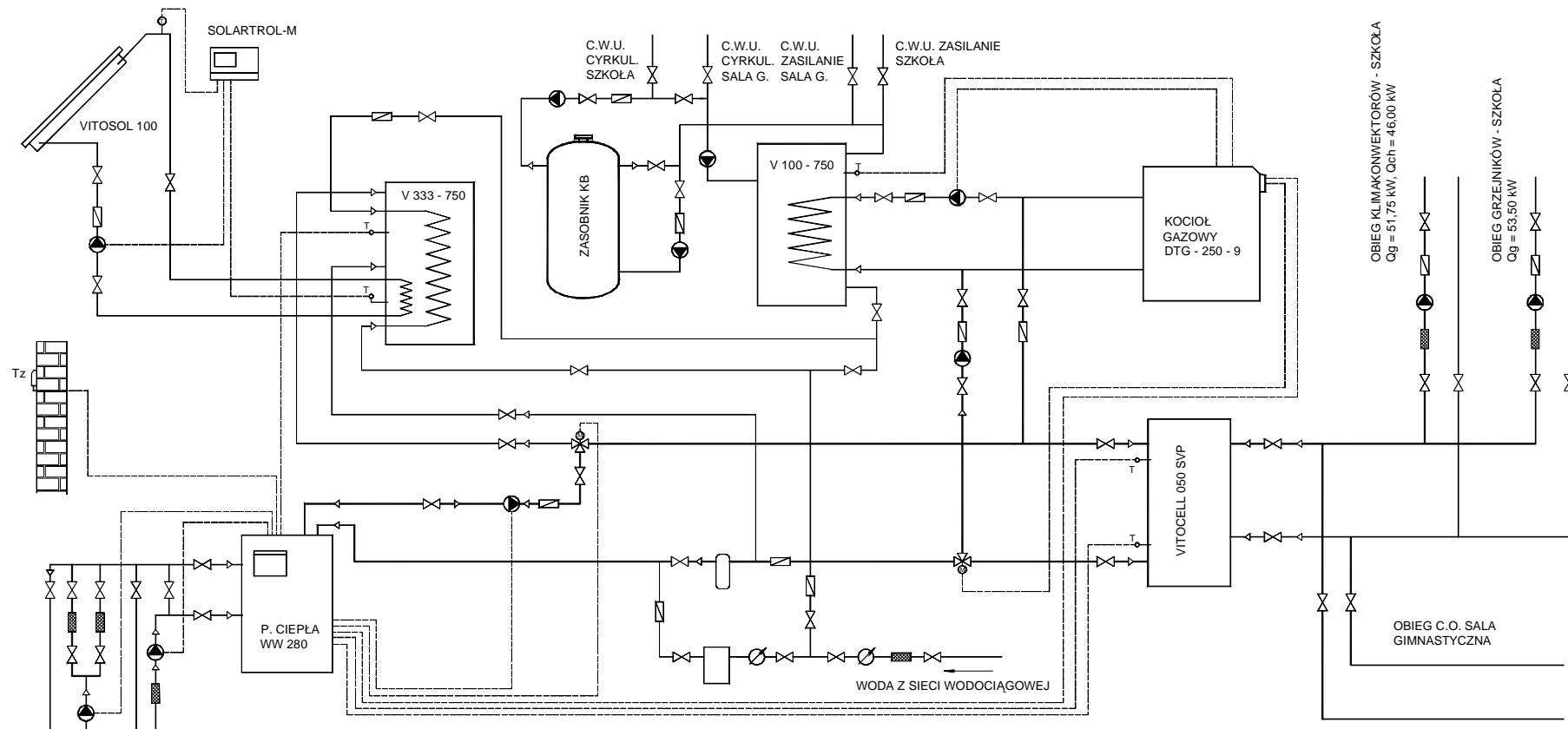
System czterech kolektorów słonecznych Vitosol 100 jest zamontowany na dachu szkoły od strony południowej, pod kątem nachylenia 40 stopni, tworząc baterię o powierzchni 10m². Instalacja solarna napełniona jest mieszanką glikolu polipropylenowego z wodą. Do współpracy z kolektorami słonecznymi zastosowano zasobnik buforowy wody grzewczej – multiwalentny pojemnościowy podgrzewacz c.w.u. typ Vitocell 333 o pojemności 750dm³.

Dla pokrycia zapotrzebowania c.w.u., oprócz układu solarnego z własnym zasobnikiem, dobrano pojemnościowo-przepływowy podgrzewacz typu Vitocell-V100 o pojemności 750 dm³. Jako dodatkowy zasobnik c.w.u. zastosowano zbiornik SeCesPol o pojemności 1500 dm³.

Węzeł cieplny zapewnia wymaganą obliczeniową temperaturę zasilania instalacji grzewczych 55/45 °C. W okresie letnim istnieje możliwość uzyskania w odwracalnym trybie pracy pompy ciepła czynnika chłodzącego o parametrach pracy około 10/15 °C. Węzeł cieplny zasila następujące obiegi grzewcze:

- instalacja klimakonwektorów o mocy grzewczej 51 kW,
- instalacja grzejników CO szkoły o mocy grzewczej 53 kW,
- planowana instalacja grzejników CO sali gimnastycznej.

Budynek wyposażony jest w system wentylacji mechanicznej [6], [13], [93], [126] zaopatrzonej w wymienniki krzyżowe zapewniając dostarczenie odpowiedniej ilości świeżego powietrza przy równoczesnym odzysku ciepła z powietrza usuwanego. W szatni zastosowano wentylację mechaniczną wyciągową, zaś nawiewno-wywiewną w pozostałych pomieszczeniach piwnicy: czytelnicy, umywalni, natryskach, jadalni i kuchni, a także na poddaszu. W sanitariatach w piwnicy wentylacja grawitacyjna wspomaganą jest przez wentylatory łazienkowe.



Rys. 5.2: Schemat węzła ciepłego budynku szkoły, [127], [128], [129].

6 System opomiarowania energetycznego budynku

6.1 Wstęp

Zmodernizowaną instalację grzewczą budynku szkoły uruchomiono w marcu 2003 roku, jednak brak odpowiednich środków spowodował iż do idei systemu komputerowego sterowania pracą systemu grzewczego [129], [130], [134] powrócono w roku 2007 dzięki pomocy zewnętrznej. Jednocześnie pierwotny projekt został znacznie zmieniony i rozbudowany. Ze względu na ograniczenia techniczne, organizacyjne i finansowe prace podzielono na dwa etapy. Etap pierwszy, opisany w dalszej części rozdziału, obejmuje opracowanie, budowę i uruchomienie systemu monitoringu energetycznego budynku szkoły. Natomiast etap drugi to układ sterowania i wizualizacji pracy węzła cieplnego. Sterowanie integrujące wszystkie źródła ciepła pozwoli na efektywniejsze wykorzystanie ich możliwości technicznych oraz lokalnie dostępnych zasobów energetycznych.

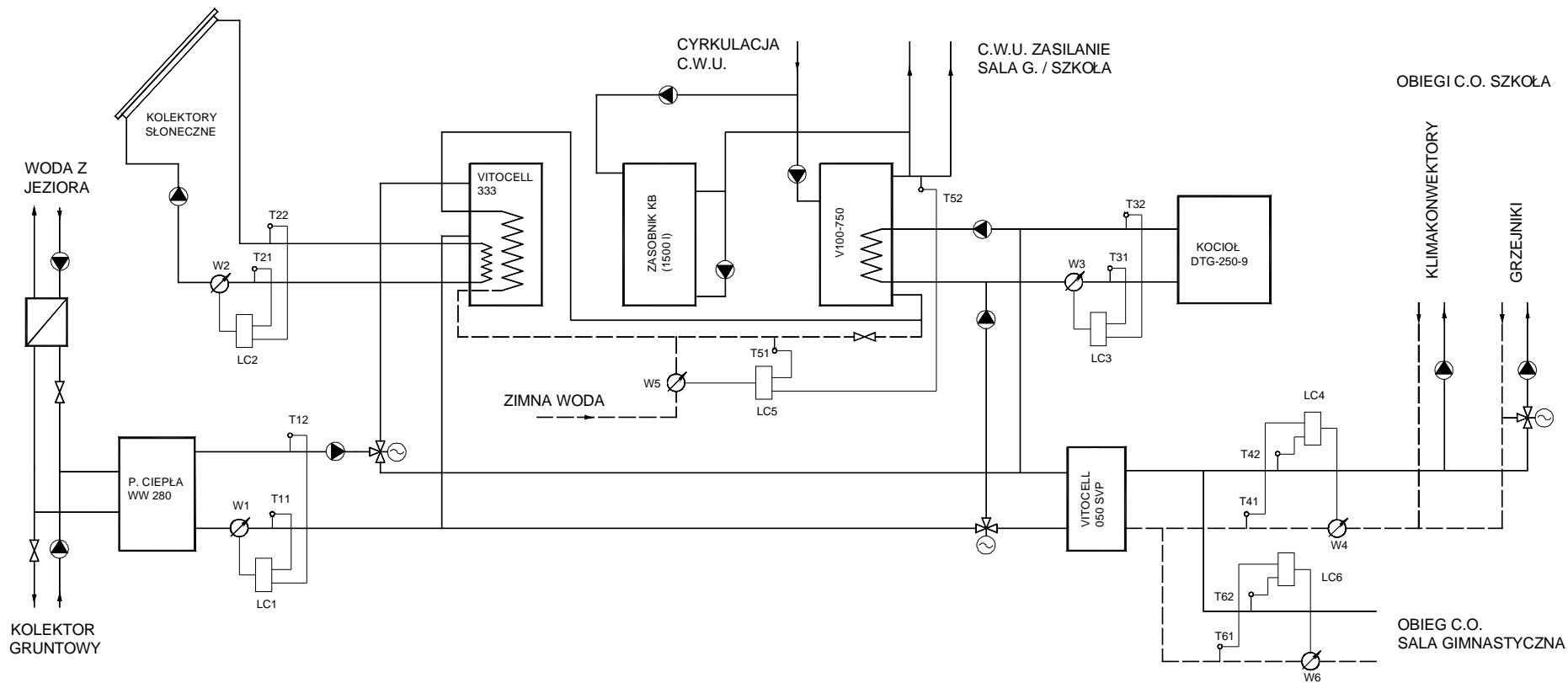
Na podstawie wizji lokalnej oraz analizy dokumentacji projektowej budynku dokonano przeglądu instalacji energetycznych pod kątem przyszłych pomiarów. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie koncepcji i wykonanie projektu systemu pomiarowego. Założono iż planowany system opomiarowania energetycznego szkoły powinien spełniać następujące wymagania:

- łatwość obsługi i dokonywania odczytów,
- możliwość pomiaru zużycia ciepła, energii elektrycznej, zużycia wody i gazu,
- wykorzystanie istniejącego, pracującego w szkole sprzętu komputerowego do celów odczytu i wizualizacji pomiarów,
- zastosowanie łatwo dostępnego oprogramowania,
- możliwość łatwej rozbudowy systemu o kolejne punkty pomiarowe.

6.2 Struktura systemu pomiarowego

6.2.1 Pomiar ciepła i chłodu

System grzewczy analizowanego budynku szkolnego zawiera trzy źródła ciepła i jedno chłodu zasilające dwie grupy odbiorników, tj. obiegi instalacji c.o. oraz obieg c.w.u., oba dla szkoły i sali gimnastycznej. W zaprojektowanym systemie pomiarowym węzła cieplnego kotłowni przewidziano sześć ciepłomierzy opartych o przeliczniki LEC5 produkcji APATOR-KFAP S.A. [34], instalowanych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6.1. Oprogramowanie przeliczników umożliwi pomiar ciepła i chłodu oraz zapamiętywanie rezultatów pomiarów w oddzielnych rejestrach.



Rys. 6.1: Schemat opomiarowania węzła ciepłego budynku szkoły, [opracowanie własne].

W skład układu pomiarowego pojedynczego ciepłomierza (licznika ciepła) wchodzi:

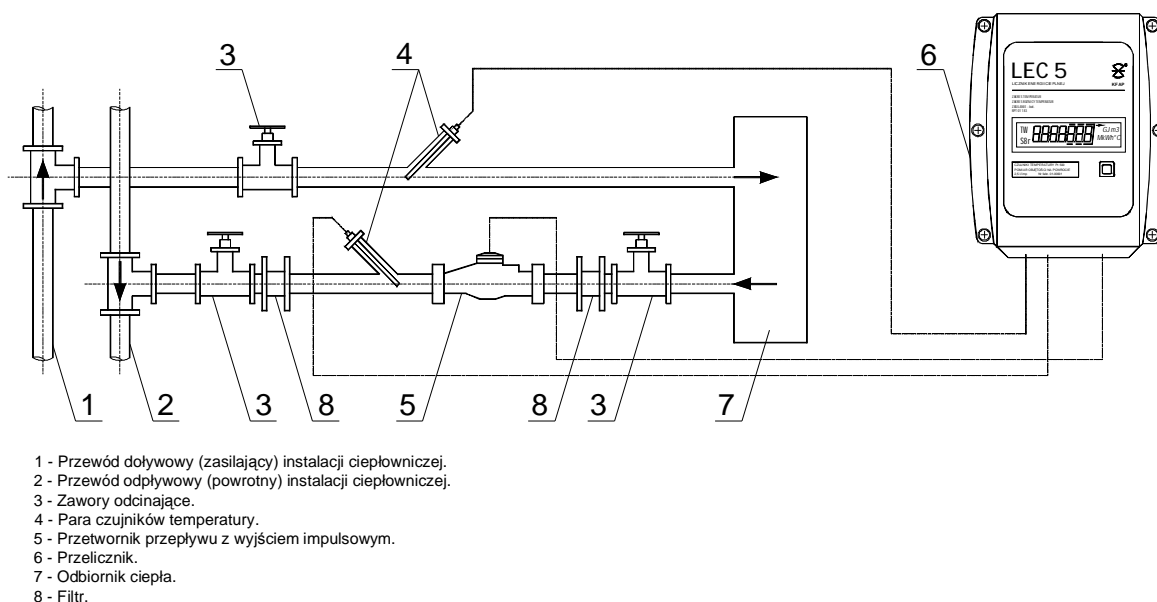
- mikroprocesorowy przelicznik wskazujący LEC-5,
- wirnikowy przetwornik przepływu GWF: UNICO lub MTWH,
- para kablowych czujników temperatury Pt 100: TOPE41 lub TOP1068.

Zestawienie ciepłomierzy przedstawiono w tabeli 6.1.

Tab. 6.1.: Ciepłomierze układu pomiarowego w węźle cieplnym budynku szkoły.

Symbol	Punkt pomiarowy	Przelicznik	Przeptywomierz	Przepływ Q_n [m ³ /h]	DN	Czujnik temperatury
LC1	Pompa ciepła	LEC-5	MTWH	15,0	DN50	TOP 1068
LC2	Kolektory słoneczne	LEC-5	UNICO	1,5	DN20	TOPE 41
LC3	Kocioł gazowy	LEC-5	MTWH	10,0	DN40	TOP 1068
LC4	Obieg c.o. szkoły	LEC-5	MTWH	15,0	DN50	TOP 1068
LC5	Ciepła woda użytkowa	LEC-5	UNICO	3,5	DN25	TOPE 41
LC6	Obieg c.o. sala gim.	LEC-5	MTWH	10,0	DN50	TOP 1068

Mikroprocesorowy przelicznik ciepła LEC 5 jest urządzeniem przeliczającym wielkości wejściowe: objętość nośnika i różnicę temperatur (dopływu i odpływu) na ilość ciepła pobranego przez instalację odbiorczą (rys. 6.2). Wszystkie przepływomierze są montowane na przewodach wody powrotnej.



Rys. 6.2.: Podłączenie przelicznika LEC5 dla pomiarów ciepła, [10], [34].

Przelicznik LEC5 jest wyposażony w nieulotną pamięć EEPROM, w której przechowuje dane z ostatnich dwunastu miesięcy, takie jak: wskazania energii, energii taryfowej, objętości, maksymalnej mocy, maksymalnego przepływu i stanów awaryjnych.

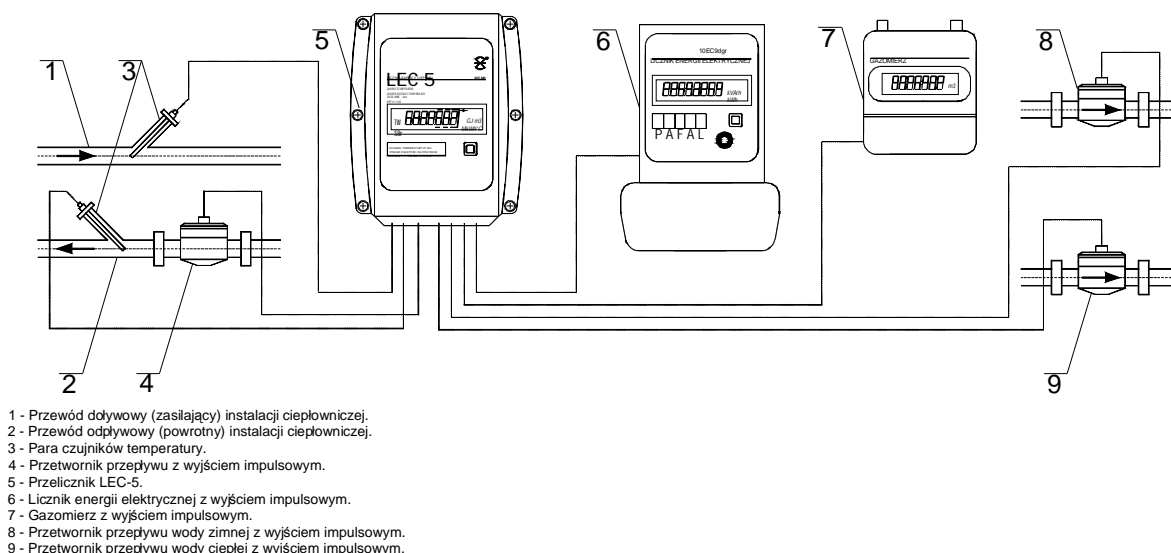
Podstawowe dane techniczne przelicznika przedstawiono w tabeli 6.2

Tab. 6.2.: Dane techniczne przelicznika LEC-5, [10].

Parametr	Wartość	
Jednostka wskazań	GJ	
Zakres temp. nośnika	2...180°C	
Zakres różnicy temp.	3...150°C	
Dokładność przelicznika	$E_{Ld} = \pm(0,5 + \Delta t_{min}/\Delta t)\%$	
Rejestry wartości średnich dobowych i godzinowych	standardowo 300, dostępne wersje 700 i 1500	
Rejestry miesięczne	standardowo 12	
Czujniki temperatury	Pt100 lub Pt500 do 3m	
Przetwornik przepływu	V_0 (w litrach na 1 impuls) 0,1 do 2500, Częstotliwość max 5Hz Czas impulsu stan niski min 80ms, stan wysoki min 100ms	k_v (w impulsach na 1 litr) 0,1 do 1000, Częstotliwość max 200Hz, Czas impulsu stan niski min 1ms, stan wysoki min 1ms
Wyjścia współpracujące z przelicznikiem	kontaktronowe, typu otwarty kolektor, aktywny nadajnik impulsów	
Oporność zestyku kontaktronu	Oporność zestyku zwarteo $\leq 5k\Omega$ Oporność zestyku otwartego $\geq 50k\Omega$	
Poziom impulsów aktywnego nadajnika impulsów	Napięcie stanu niskiego od: -0,5V do 1,0V Napięcie stanu wysokiego: od 2,5V do 4V	
Temperatura otoczenia	5...55°C	
Wilgotność otoczenia	< 93 %	
Zasilanie	3,6 VDC, trwałość 6 lat	
Standardowy protokół transmisji	ASI/M-BUS 2400	

Zastosowane czujniki temperatury TOPE 41 oraz TOP 1068 są to czujniki rezystancyjne wykonane w oparciu o platynowy rezystor Pt100 lub Pt500. Czujniki dostarczane są w parach.

Ważną cechą użytkową przelicznika LEC5 jest możliwość podłączenia i zliczania objętości z czterech dodatkowych wodomierzy. Mogą to być także inne urządzenia wyposażone w układ impulsatora (Rys. 6.3). Ilość zliczonych impulsów jest proporcjonalna do zmierzonej wielkości, np. energii elektrycznej, gazu, sprężonego powietrza itp. Tą właściwość wykorzystano dla uproszczenia struktury systemu pomiarowego, łącząc w jednym urządzeniu pomiary różnych wielkości.



Rys. 6.3.: Podłączenie przelicznika LEC5 dla pomiarów dodatkowych, [10], [34].

6.2.2 Pomiar zużycia wody

Do prowadzenia pomiarów zużycia wody zastosowano przepływomierze wirnikowe firmy GWF typu Unico oraz MTWH, zgodnie z danymi z tabeli 6.1.

Przepływomierze Unico są to przepływomierze jednostrumieniowe, dla przepływów nominalnych do 2,5m³/h oraz temperatur pracy do 90°C. Natomiast przepływomierze MTWH są przeznaczone do pracy dla przepływów nominalnych do 15m³/h oraz temperatur pracy do 110°C. Wszystkie przepływomierze przeznaczone są do współpracy z dodatkowym impulsatorem.

Zastosowany impulsator IPG jest zbudowany w oparciu o kontaktron załączany magnesem. Przekaznik kontaktronowy generuje impulsy o zmiennej długości (czasie trwania) zależnej od wielkości przepływu wody.

6.2.3 Pomiar zużycia energii elektrycznej

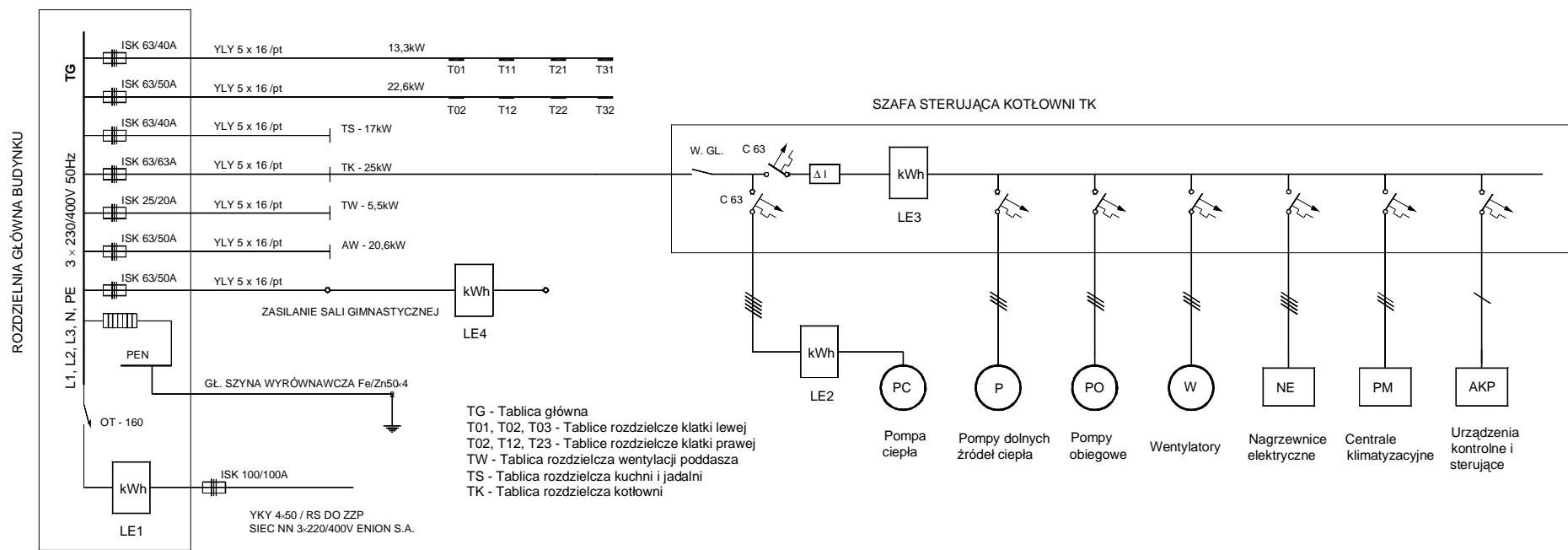
Dla pomiaru zużycia energii elektrycznej w budynku przewidziano trzy dodatkowe liczniki energii elektrycznej (rys. 6.4) typu 10EC9dgr [100], produkcji PAFAL S.A., dla pompy ciepła, pozostałych urządzeń kotłowni (pompy obiegowe, urządzenia wentylacyjne, itp.) oraz budynku sali gimnastycznej. Z uwagi na istniejące ograniczenia prawne i techniczne, główny licznik energii dla całego budynku [43] zostanie zamieniony na nowy, wraz z dodatkowymi urządzeniami komunikacyjnymi, podczas wymiany związanej z jego legalizacją w roku 2009 w porozumieniu z dostawcą energii elektrycznej, którego ten licznik jest własnością. Zestawienie liczników zawiera tabela 6.3.

Tab. 6.3.: Liczniki do pomiaru energii elektrycznej w budynku szkoły.

Symbol na schemacie	Energia mierzona	Typ licznika	Prąd maks.	Napięcie znamionowe
LE1	Szkoła	4C52acd	60A – pomiar pośredni	230/400 V~
LE2	Pompa ciepła	10EC9dgr	100 A	230/400 V~
LE3	Kotłownia – pozostałe (pompy + wentylacja)	10EC9dgr	100 A	230/400 V~
LE4	Sala gimnastyczna	10EC9dgr	100 A	230/400 V~

Liczniki elektroniczne EC9 służą do pomiarów bezpośrednich energii czynnej i biernej w sieci trójfazowej. Licznik mierzy w sposób ciągły wartości chwilowe mocy, napięć, prądów, współczynnika mocy i częstotliwości. Prowadzi on następujące pomiary:

- rejestrację wartości energii i mocy maksymalnych dla 15 okresów rozliczeniowych,
- profil obciążenia 187 dni dla każdej energii,
- pomiar nadwyżki energii biernej indukcyjnej ponad zadaną wartość współczynnika mocy $\text{tg}\varphi$,
- rejestracja zaników i powrotów napięcia zasilania,
- pomiar U^2t , I^2t .



Rys. 6.4.: Opomiarowanie zużycia energii elektrycznej w szkole - istniejące i projektowane, [opracowanie własne].

Wybrane podstawowe parametry techniczne licznika EC9 przedstawia tabela 6.4

Tab. 6.4: Podstawowe dane techniczne licznika 10EC9, [43].

Parametr	Wartość
Napięcie pracy [V]	3 x 127/220 ÷ 3 x 240/415 3 x 220 ÷ 3 x 415
Prąd bazowy I _b (prąd maksymalny I _{max}) [A]	5(60); 10(100); 5(100)
Częstotliwość odniesienia [Hz]	50; 60
Klasa dokładności	1 dla energii czynnej 2 dla energii biernej
Pobór mocy w jednym obwodzie napięciowym [W]/[VA]	< 0,8/1,3
Pobór mocy w jednym obwodzie prądowym [VA]	< 0,01
Zakres temperatury pracy [°C]	-25 ÷ 55
Dokładność zegara	±5 x 10 ⁻⁶
Liczba stref czasowych	1 ÷ 4
Interfejsy komunikacyjne	optyczny IEC 1107, pętla prądowa IEC 1107 lub RS232, RS485, DLMS
Wyjścia impulsowe	pasywne OC, maks. 27 V, 27mA DC
Przełączniki	maks. 250 V, 100 mA DC/AC
Zatwierdzenie typu Głównego Urzędu Miar	PLT 05150

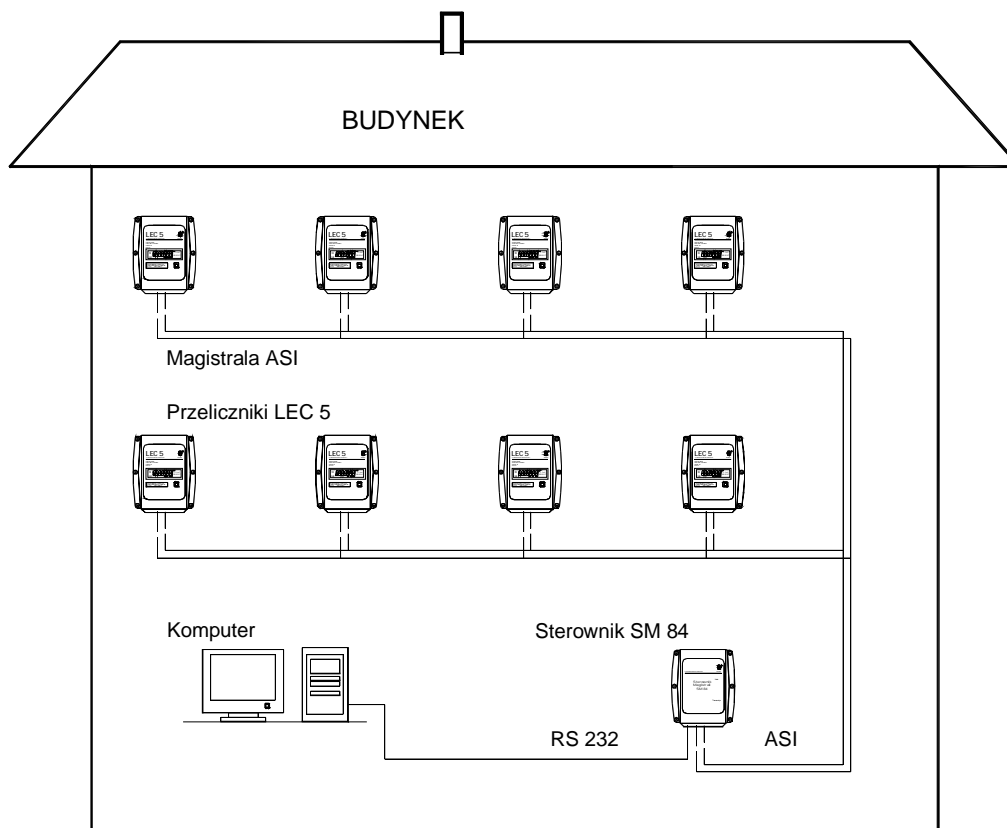
6.3 Transmisja danych i wizualizacja pomiarów

Przelicznik LEC5 wyposażony jest w złącza umożliwiające dołączenie wymiennych modułów komunikacyjnych: ASI, M-Bus, LonWorks, RS232, RS485 lub modułu radiowego. Przelicznik obsługuje standardowo protokoły ASI oraz M-Bus 2400 Bd.

Standard ASI został opracowany w KFAP S.A. i jest stosowany w ciepłomierzach LEC, umożliwiając odczytywanie wszystkich danych przechowywanych w ciepłomierzu, w tym wskazań miesięcznych, rejestrów godzinowych i dobowych.

Moduł M-Bus do przelicznika LEC5 został opracowany zgodnie z wymaganiami normy EN 1434-3. Moduł ma postać płytki ze złączem śrubowym przeznaczonym do podłączenia linii M-Bus. Separuje on galwanicznie układ integratora od sieci odczytowej.

Do współpracy komputera z magistralą ciepłomierzy (rys. 6.5) służy sterownik SM 84. Jego zadaniem jest dwustronna konwersja sygnałów interfejsu RS232 na standard magistrali ciepłomierzowej ASI oraz do zasilania modułów ASI w ciepłomierzach podłączonych do magistrali. Umożliwia odczyt danych z maksymalnie 250 ciepłomierzy LEC5 wyposażonych w moduły komunikacyjne ASI. Do odczytu niezbędny jest komputer z łączem szeregowym RS 232 oraz oprogramowaniem wykorzystującym protokół ASI. Wersja sterownika SM-84/I umożliwia komunikację komputera z siecią ciepłomierzy przez Internet.



Rys. 6.5.: System pomiaru i wizualizacji ciepłomierzy LEC-5 z wykorzystaniem magistrali ASI, [10].

Komunikacja między licznikami energii elektrycznej EC9 a komputerem może się odbywać się przez złącze optyczne lub pętlę prądową. Jeden lub kilka liczników może być podłączonych lokalnie z komputerem przez konwerter CL/RS232 lub RS485. W przypadku uruchomienia komunikacji zdalnej stosuje się modemy analogowe lub GSM. Dla uproszczenia struktury systemu pomiarowego zdecydowano się jednak na wykorzystanie jednego z czterech dostępnych programowalnych wyjść impulsowych liczników. W każdym liczniku jedno wyjście impulsowe będzie podłączone do jednego z wejść dodatkowych wodomierzy przelicznika LEC5 (Rys. 6.3). Jest to rozwiązanie które co prawda nie pozwala w pełni wykorzystać wszystkich możliwości pomiarowych zastosowanych liczników energii elektrycznej, ale znacznie ułatwia użytkownikowi końcowemu dokonywanie odczytów za pomocą jednego programu komputerowego, wspólnego dla wszystkich mierzonych wielkości.

Do odczytu i wizualizacji pomiarów przewidziano system Inkal [10]. Jest on przeznaczony do obsługi przeliczników LEC-5 wraz z dodatkowymi urządzeniami pomiarowymi, wyposażonych w moduły komunikacyjne ASI, indywidualnie lub połączonych w sieć. Umożliwia on także zdalny odczyt poprzez Internet. Podstawowe cechy użytkowe systemu Inkal to:

- Odczyt danych z sieci przeliczników LEC-5 (wraz ze współpracującymi urządzeniami dodatkowymi) dołączonych do stacjonarnych komputerów lub z gniazd odczytowych przez przenośne komputery.

-
- Odczyt wskazań miesięcznych, rejestrów średnich dobowych i godzinowych.
 - Wizualizacja zgromadzonych danych w postaci tabel, formularzy i wykresów.
 - Rozliczanie zużycia: ciepła, ciepłej i zimnej wody użytkowej (lub innych mediów np. prądu, gazu).
 - Przygotowanie i drukowanie faktur (opcja).
 - Rozliczanie, generowanie raportów, zestawień i wystawianie faktur za zużyte ciepło, ciepłą i zimną wodę użytkową (lub inne media).
 - Prowadzenie ewidencji ciepłomierzy, wodomierzy, lokali, klientów.
 - Konfigurowanie przeliczników (m.in. wpisywanie progów energii taryfowej, ustawianie adresu sieciowego, numeru użytkownika, konfigurowanie dodatkowych wejść wodomierzowych).

Dane odczytywane z przeliczników LEC-5 przez komputer trafiają do bazy danych. Następnie są wykorzystywane do rozliczania zużycia mediów. Dane gromadzone w bazie są dostępne i mogą być wykorzystywane przez inne programy.

7 Program i metodyka badań

Zapotrzebowanie energetyczne budynku wyznacza się drogą obliczeniową lub pomiarową. W rozprawie zastosowano oba rodzaje analiz, dokonując weryfikacji pomiarowej obliczeń teoretycznych. Do badań wykorzystano rzeczywisty obiekt – budynek szkolny.

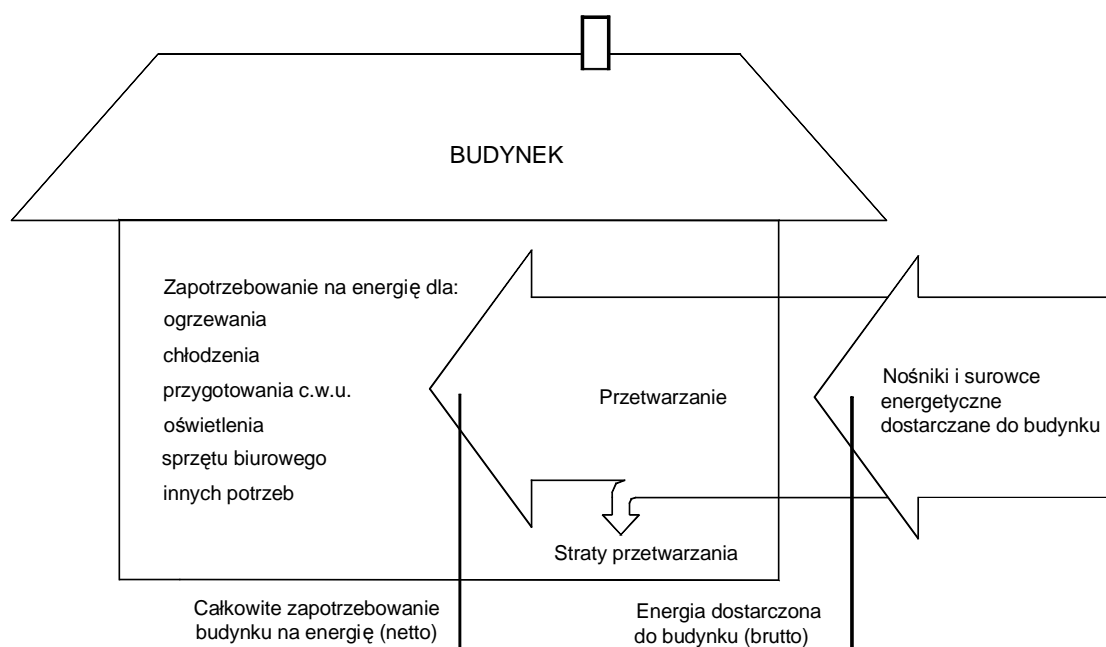
Jako badania symulacyjne zastosowano:

- obliczenia na podstawie modelu matematycznego zapotrzebowania energetycznego budynku,
- obliczenia zapotrzebowania ciepła do ogrzewania budynku programem OZC.

Jako badania pomiarowe zastosowano:

- pomiary miesięczne zużycia energii elektrycznej i gazu,
- pomiary wykonywane przez komputerowy system opomiarowania i monitoringu energetycznego obiektu badań.

Obliczenia przeprowadzono na dwóch poziomach (rys. 7.1). Poziom pierwszy to zapotrzebowanie teoretyczne (obliczeniowe) lub rzeczywiste na energię netto, niezbędną dla pokrycia poszczególnych potrzeb energetycznych. Poziom drugi to zapotrzebowanie na energię dostarczaną do budynku (brutto), uwzględniające sprawność urządzeń i instalacji wewnętrznych.



Rys. 7.1: Wykorzystanie energii dostarczanej do budynku.

Informacje dotyczące parametrów fizycznych badanego budynku charakteryzujących jego przegrody, okna i drzwi, bryłę oraz parametry instalacji wewnętrznych i odbiorników energii zebrano na podstawie dokumentacji budowlanej, projektów technicznych instalacji, kart katalogowych i dokumentacji technicznych producentów urządzeń oraz podczas wizji lokalnych w badanym obiekcie. Przeprowadzono także rozmowy z użytkownikami obiektu oraz z osobami mającymi wpływ na jego gospodarkę energetyczną (Urząd Gminy, dyrekcja, obsługa techniczna), celem weryfikacji sposobu użytkowania, czasu pracy, wykorzystania pomieszczeń i urządzeń. Wartości współczynników przenikania przegród budynku w audycie określono na podstawie normy PN-EN ISO 6946:1998, „Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynniki przenikania ciepła – Metoda obliczania”.

W obliczeniach przyjęto średnie miesięczne wartości natężenia promieniowania słonecznego według danych IMGW dla stacji aktynometrycznej w Rabce oraz temperatury otoczenia według danych stacji IMGW w Nowym Sączu, najbliższych dla badanego obiektu.

7.1 Obliczenia na podstawie modelu zapotrzebowania energetycznego budynku

Na podstawie modelu matematycznego zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej opisanego w rozdziale czwartym pracy opracowano program obliczeniowy oparty na arkuszu MSExcel. Wyodrębniono następujące potrzeby obiektu:

- Ogrzewanie,
- Chłodzenie,
- Przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
- Oświetlenie,
- Zasilanie sprzętu elektronicznego (komputerowego i biurowego),
- Zasilanie pomp obiegowych w instalacji grzewczej,
- Zasilanie wentylatorów w instalacji wentylacyjnej i klimatyzacyjnej,
- Zasilanie klimakonwektorów.

Obliczenia zużycia energii wykonano przy następujących założeniach:

- W szkole uczy się 212 uczniów, jest 23 nauczycieli i 7 osób obsługi (2007/2008).
- Wartości temperatur oraz strumieni powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniach przyjęto z audytu według normowych warunków technicznych dla obiektu. Określono je wg PN-83/B-03430 „Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania”.
- Jednostkową ilość ciepłej wody użytkowej dla poszczególnych grup użytkowników budynku określono na podstawie wymagań normowych [8] określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody.
- Temperatura wody zimnej doprowadzanej do instalacji c.w.u. wynosi 10°C, zaś temperatura wody podgrzanej 60°C. Uwzględniono przerwy w dni wolne od pracy. Założono także cztery dezynfekcje instalacji c.w.u. miesięcznie przez jednorazowe podgrzanie wody do temperatury 70°C.

-
- Przyjęto 90% udział pompy ciepła oraz 10% udział kotła gazowego w ilości ciepła wytwarzanego do celów grzewczych budynku.
 - Zapotrzebowanie na chłód w 100% pokrywane jest przez pompę ciepła.
 - Dla przygotowania c.w.u. pracuje kocioł gazowy i kolektory słoneczne.
 - Przyjęto sprawności zastosowanych urządzeń podawane przez producentów według danych katalogowych oraz analizy literatury [6], [13], [15], [63], [89], [103-110].
 - Energię dostarczoną przez instalację solarną oraz sprawność podgrzewu wody w zasobniku wyznaczono korzystając z danych producenta urządzeń [20], [38], [111], zaleceń European Solar Thermal Industry Federation [68] oraz prac [36], [48], [113].

7.2 Obliczenia z wykorzystaniem programu OZC

Do określenia potrzeb cieplnych budynku zastosowano program Termo-Danfoss OZC, wersja 2.0 [61]. Służy on do obliczeń strat ciepła w budynku, sezonowego zapotrzebowania na ciepło oraz obliczeń instalacji centralnego ogrzewania.

Danymi wejściowymi do programu są parametry fizyczne budynku charakteryzujące jego bryłę (wymiary) oraz przegrody (materiały konstrukcyjne ścian, współczynniki przenikania ciepła, dane okien i drzwi).

Za pomocą programu określono zapotrzebowanie budynku na ciepło do celów grzewczych w ciągu roku. Następnie przyjęto 90% udział pompy ciepła oraz 10% udział kotła gazowego w ilości ciepła wytwarzanego do celów grzewczych i przygotowania c.w.u. i obliczono ilość zużywanej energii elektrycznej i gazu. Dla określenia zapotrzebowania energetycznego dla c.w.u. posłużono się danymi z audytu energetycznego budynku.

7.3 Obliczenia na podstawie miesięcznych pomiarów energii

Danymi wejściowymi do obliczeń są miesięczne rozliczenia zużycia energii elektrycznej i gazu w budynku szkoły z lat 2004 – 2007.

Zużycie energii elektrycznej w budynku jest mierzone przez jeden licznik, co powoduje iż jej zużycie przez poszczególne grupy odbiorów można wyznaczyć jedynie w sposób pośredni [131], [133], [135]. W tym celu odbiorniki energii elektrycznej w szkole podzielono na dwie grupy, tj. grzewcze oraz pozostałe. Do grupy pierwszej zaliczono te, których czas użytkowania, a zatem i zużyta energia, zależą od pracy systemu grzewczego. Należą do nich (w nawiasach podano moc znamionową w kW):

- pompa ciepła (30,0),
- pompa obiegowa kolektora gruntowego (1,50),
- pompa zatapialna obiegu z Jeziora Rożnowskiego (2,20),
- pompy obiegowe instalacji c.o. pracujące sezonowo (2,07),
- klimakonwektory (1,05).

Do grupy drugiej zaliczono wszystkie pozostałe odbiorniki, tj.:

- oświetlenie (18,08),
- komputery i pozostały sprzęt elektroniczny (5,62),
- pompy obiegowe c.w.u. pracujące całorocznie (0,50).

Założono, osobno dla każdej z grup odbiorów, jednakowy czas użytkowania urządzeń w każdej z nich.

Z charakteru budynku wynika iż czas pracy odbiorników z drugiej grupy zależy od długości zajęć szkolnych i jest on w przybliżeniu stały w czasie roku szkolnego. Dla określenia średniego miesięcznego zużycia energii w tej grupie skorzystano z danych dla miesięcy kiedy pompa ciepła nie pracowała. Odejmując uzyskaną wartość od zużycia w miesiącach grzewczych uzyskano konsumpcję dla pierwszej grupy. Natomiast w pozostałym okresie energia zużywana jest w całości na cele pozagrzewcze.

W oparciu o te dane oraz informacje ze sterownika pompy ciepła obliczono zużycie energii w rozbiciu na pompę ciepła, napędy pomp cyrkulacyjnych, napędy klimakonwektorów, oświetlenie oraz urządzenia elektroniczne. Nie uwzględniono oświetlenia awaryjnego, używanego wyłącznie w sytuacjach wyjątkowych oraz urządzeń wentylacyjnych pracujących w trybie dorywczym.

Do obliczeń założono iż gaz zużywany jest na potrzeby c.w.u., zaś szczytowo uzupełnia potrzeby instalacji c.o.

Określenie ilości zużywanej energii elektrycznej dla c.o. i gazu (dla c.o. i c.w.u.) pozwala na wyznaczenie ilości energii dostarczanej do obiektu (brutto). Dodatkowo uwzględnia się energię dostarczoną przez kolektory słoneczne dla przygotowania c.w.u. Jej wartość obliczono korzystając z danych producenta [38], [89], [109-110] oraz zaleceń obliczeniowych European Solar Thermal Industry Federation [68]. Dane dotyczące napromieniowania przyjęto z [40].

W tym punkcie obliczenia przeprowadzono dwoma sposobami, przyjmując jednakową przedstawioną powyżej metodykę. W pierwszym przypadku okresami obliczeniowymi były pojedyncze lata, tj. 2004, 2005, 2006 i 2007, dla których odrębnie określano badane wartości zużycia energii. W przypadku drugim okres obliczeniowy obejmował lata 2004-2007 łącznie.

Od miesiąca października 2007 roku, w związku z budową hali sportowej obok budynku szkoły, nastąpiło podłączenie jej instalacji elektrycznej do tablicy rozdzielczej budynku szkoły. Dla tego okresu wydzielono zużycie energii na potrzeby sali, co zaznaczono na odpowiednich wykresach.

7.4 Obliczenia na podstawie danych z systemu pomiarowego

Do pomiaru ciepła w instalacji c.o. i c.w.u. budynku szkoły zaprojektowano i wykonano system pomiarowy przedstawiony w rozdziale szóstym. Dodatkowo jest on rozbudowywany o pomiar energii elektrycznej w kotłowni budynku.

8 Wyniki badań własnych zużycia energii w budynku

8.1 Obliczenia na podstawie modelu zapotrzebowania energetycznego budynku

Zgodnie z założeniami z rozdziału 7.1 roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania określono na 916,02 GJ. Zapotrzebowanie na chłód w budynku pojawia się w miesiącach od czerwca do sierpnia, i wynosi ono łącznie 104,23 GJ.

Zapotrzebowanie netto na energię w kolejnych miesiącach roku przedstawiono w tabeli 8.1. Największy udział (86,06%) mają potrzeby związane z zapewnieniem komfortu cieplnego pomieszczeń, tj. ogrzewanie, chłodzenie, oraz zasilanie urządzeń instalacji grzewczo-klimatyzacyjnej (wentylatory, pompy obiegowe, klimakonwektory). Przygotowanie c.w.u. to 7,48% potrzeb, oświetlenie 4,66% i sprzęt elektroniczny 1,80%.

Tabela 8.1: Obliczeniowe roczne zapotrzebowanie netto na energię budynku, [GJ]

Miesiąc	Ogrzewanie	Chłodzenie	c.w.u.	Oświetlenie	Sprzęt elektroniczny	Wentylatory	Pompy obiegowe	Klimakonw.	SUMA
sty	199,86	0,00	9,39	6,06	2,58	1,36	2,18	0,43	221,87
lut	153,84	0,00	8,50	5,48	2,04	1,23	1,97	0,38	173,45
mar	119,25	0,00	9,39	6,06	2,26	1,36	2,18	0,43	140,94
kwi	61,64	0,00	9,10	5,87	2,18	1,32	2,11	0,41	82,63
maj	4,73	0,00	9,39	5,46	2,26	1,36	2,18	0,43	25,80
cze	0,00	33,38	9,10	4,69	1,75	1,32	2,11	0,41	52,76
lip	0,00	40,21	0,16	0,61	0,16	1,36	2,18	0,43	45,10
sier	0,00	30,63	0,16	0,61	0,16	1,36	2,18	0,43	35,53
wrz	9,94	0,00	9,10	4,99	2,18	1,32	2,11	0,41	30,05
paź	65,15	0,00	9,39	6,06	2,26	1,36	2,18	0,43	86,84
lis	123,87	0,00	9,10	5,87	2,18	1,32	2,11	0,41	144,86
gru	177,73	0,00	9,39	6,06	2,26	1,36	2,18	0,43	199,41
RAZEM	916,02	104,23	92,18	57,80	22,26	16,06	25,69	5,00	1239,24
Udział %	73,92	8,41	7,44	4,66	1,80	1,30	2,07	0,40	100,00

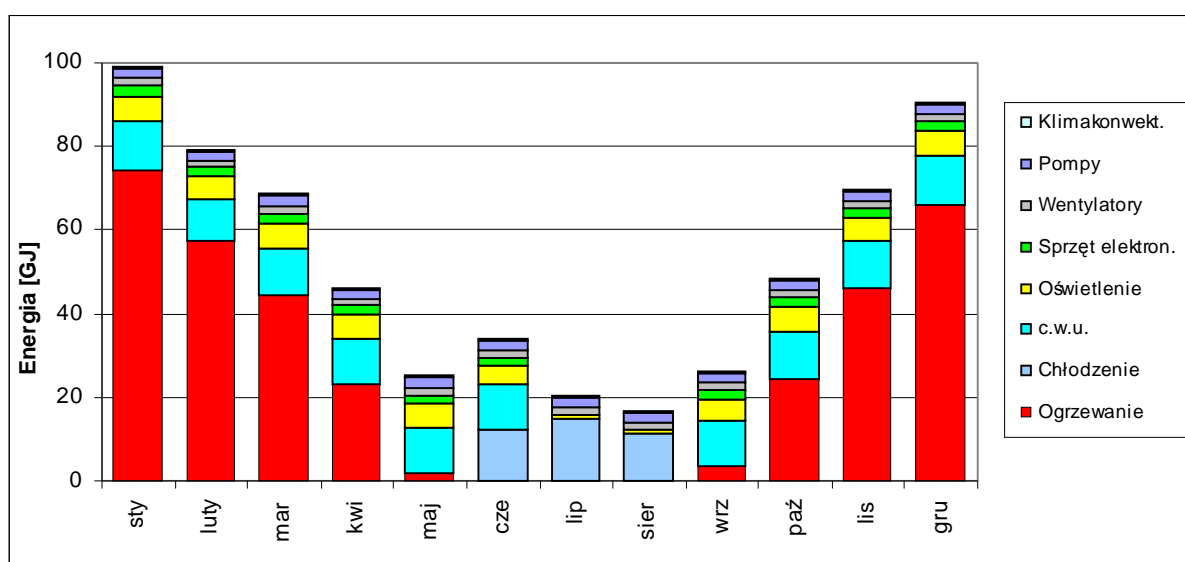
Na podstawie uzyskanych danych oraz sprawności zastosowanych urządzeń obliczono zużycie energii brutto w budynku (Tab. 8.2).

Tabela 8.2: Obliczeniowe roczne zużycie energii brutto, [GJ].

Miesiąc	Ogrzewanie	Chłodzenie	c.w.u.	Oświetlenie	Sprzęt elektroniczny	Wentylatory	Pompy obiegowe	Klimakonw.	SUMA
sty	74,43	0,00	11,51	6,06	2,58	1,74	2,39	0,43	99,13
lut	57,29	0,00	10,27	5,48	2,04	1,57	2,16	0,38	79,19
mar	44,41	0,00	11,27	6,06	2,26	1,74	2,39	0,43	68,56
kwi	22,96	0,00	10,86	5,87	2,18	1,68	2,31	0,41	46,28
maj	1,76	0,00	11,11	5,46	2,26	1,74	2,39	0,43	25,14
cze	0,00	12,33	10,76	4,69	1,75	1,68	2,31	0,41	33,93
lip	0,00	14,85	0,16	0,61	0,16	1,74	2,39	0,43	20,33
sier	0,00	11,31	0,16	0,61	0,16	1,74	2,39	0,43	16,79
wrz	3,70	0,00	10,90	4,99	2,18	1,68	2,31	0,41	26,18
paź	24,26	0,00	11,34	6,06	2,26	1,74	2,39	0,43	48,48
lis	46,13	0,00	11,11	5,87	2,18	1,68	2,31	0,41	69,70
gru	66,19	0,00	11,52	6,06	2,26	1,74	2,39	0,43	90,58
RAZEM	341,15	38,50	111,00	57,80	22,26	20,43	28,16	5,00	624,30
Udział %	54,64	6,17	17,78	9,26	3,57	3,27	4,51	0,80	100,00

Z punktu widzenia właściciela obiektu najbardziej obrazową formą ukazania zmienności zużycia energii w obiekcie jest jej wykres roczny (rys. 8.1.).

Przedstawione dane pozwalają zobrazować dwie informacje istotne dla zarządzania budynkiem, tj. wielkość zużycia energii na poszczególne potrzeby w kolejnych miesiącach oraz przebieg zmienności rocznego zapotrzebowania na energię.



Rys. 8.1: Obliczeniowe zapotrzebowanie energii brutto w budynku w ciągu roku.

Zmiany zapotrzebowania na dostarczane do budynku media energetyczne w ciągu roku przekładają się bezpośrednio na wydatki ponoszone przez właściciela. W tabeli 8.3 przedstawiono wartości miesięczne tego zapotrzebowania. Dla energii elektrycznej dokonano

podziału na zużycie przez pompę ciepła w trybie grzania i chłodzenia, urządzenia instalacji centralnego ogrzewania (pompy obiegowe, wentylatory, klimakonwektory) i odbiory pozostałe (oświetlenie i sprzęt elektroniczny).

Tabela 8.3: Zużycie energii elektrycznej i gazu w budynku.

Miesiąc	Energia elektryczna [MWh]					Gaz ziemny [m ³]		
	p.c.- grzanie	p.c. - chłodz.	inne c.o.	pozostałe	suma	c.o.	c.w.u.	suma
sty	13,84	0,00	1,26	2,40	17,50	693	310	1003
lut	10,65	0,00	1,14	2,09	13,88	534	259	793
mar	8,26	0,00	1,26	2,31	11,83	414	275	689
kwi	4,27	0,00	1,22	2,24	7,73	214	258	472
maj	0,33	0,00	1,26	2,14	3,73	16	252	268
cze	0,00	3,43	1,22	1,79	6,44	0	243	243
lip	0,00	4,13	1,26	0,21	5,60	0	0	0
sier	0,00	3,14	1,26	0,21	4,62	0	0	0
wrz	0,69	0,00	1,22	1,99	3,90	34	264	299
paź	4,51	0,00	1,26	2,31	8,09	226	285	511
lis	8,58	0,00	1,22	2,24	12,04	430	295	725
gru	12,31	0,00	1,26	2,31	15,88	616	312	928
RAZEM	63,44	10,69	14,89	22,24	111,26	3177	2753	5930

W oparciu o przeprowadzone obliczenia, w tabeli 8.4 przedstawiono roczny bilans zapotrzebowania energetycznego budynku.

Tabela 8.4: Roczny bilans potrzeb energetycznych budynku.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Zapotrzeb. (netto)	Zapotrzeb. wg nośników	Zużycie (brutto)	Zużycie wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	916,02	824,42	341,15	228,37	Energia el	63,44	MWh
		91,60		112,78	Gaz	3177	m ³
Chłodzenie	104,23	104,23	38,50	38,50	Energia el.	10,69	MWh
Ciepła woda	92,18	78,93	136,30	97,74	Gaz	2753	m ³
		13,25		38,55	En. słoneczna	10,71	MWh
Oświetlenie	57,80	57,80	57,80	57,80	Energia el.	16,06	MWh
Sprzęt elektron.	22,26	22,26	22,26	22,26	Energia el.	6,18	MWh
Pompy obiegowe	25,69	25,69	28,16	28,16	Energia el.	7,82	MWh
Wentylatory	16,06	16,06	20,43	20,43	Energia el.	5,68	MWh
Klimakonwektory	5,00	5,00	5,00	5,00	Energia el.	1,39	MWh
RAZEM	1239,24	1055,46	649,60	400,53	Energia el.	111,26	MWh
		170,53		210,52	Gaz ziemny	5930	m³
		13,25		38,55	En. słoneczna	10,71	MWh

Największy udział w zużyciu energii dostarczanej do obiektu mają kolejno: ogrzewanie, przygotowanie c.w.u, oświetlenie, chłodzenie budynku oraz pozostałe potrzeby. Rozpatrując zapewnienie potrzeb cieplnych w budynku kompleksowo (ogrzewanie,

chłodzenie i urządzenia pomocnicze), widać iż obejmują one łącznie 69,40% całkowitego zużycia energii brutto.

W oparciu o te informacje można wnioskować iż na ilość i koszt zużywanej energii będzie wpływać głównie zapewnienie potrzeb cieplnych, przygotowanie c.w.u. oraz oświetlenie obiektu.

8.2 Obliczenia za pomocą programu OZC i audytu energetycznego budynku

Dla przedstawionych w rozdziale 7.2 założeń obliczeniowych uzyskano roczne zapotrzebowanie netto na ciepło do ogrzewania budynku w wysokości 923,86GJ. Z tego pompa ciepła dostarcza 831,47GJ a kocioł gazowy 92,39GJ. Zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej wyniosło 246,58GJ, z tego 221,92GJ dla pompy ciepła oraz 24,66GJ dla kotła gazowego.

Na podstawie uzyskanych danych, po uwzględnieniu sprawności urządzeń i instalacji, określono zużycie energii elektrycznej i gazu na potrzeby grzewcze i c.w.u. dla kolejnych miesięcy w roku. Dane te przedstawiono w tabeli 8.5 Pozwalają one użytkownikowi na wyznaczenie kosztów eksploatacyjnych i na planowanie wydatków, co ułatwia zarządzanie obiektem.

Tabela 8.5: Obliczeniowe zapotrzebowanie netto na energię budynku dla potrzeb c.o. i c.w.u.

Miesiąc	Energia dla c.o.			Energia dla c.w.u.		
	Ciepło	Energia el. p. ciepła	Gaz ziemny kocioł gaz.	Ciepło	Energia el. p. ciepła	Gaz ziemny kocioł gaz.
	GJ	MWh	m ³	GJ	MWh	m ³
1	191,42	13,26	700	24,35	1,69	94
2	145,92	10,11	534	22,00	1,52	85
3	119,61	8,28	438	24,35	1,69	94
4	77,85	5,39	285	23,57	1,63	91
5	7,35	0,51	27	24,35	1,69	94
6	0,00	0,00	0	23,57	1,63	91
7	0,00	0,00	0	4,28	0,30	17
8	0,00	0,00	0	4,28	0,30	17
9	7,35	0,51	27	23,57	1,63	91
10	78,22	5,42	286	24,35	1,69	94
11	123,24	8,53	451	23,57	1,63	91
12	172,91	11,97	633	24,35	1,69	94
RAZEM	923,86	63,98	3380	246,58	17,08	952

Korzystając z powyższych wartości, w tabeli 8.6 przedstawiono uzyskany na tej podstawie roczny bilans potrzeb energetycznych budynku. Ze względu na zakres wykonanej analizy obejmuje on dwie pozycje – ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. Jest on skondensowanym obrazem tabeli 8.5, w syntetyczny sposób przedstawiając zużycie energii w obiekcie.

Tabela 8.6: Bilans potrzeb energetycznych budynku.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Zapotrzeb. (netto)	Zapotrzeb. wg nośników	Zużycie (brutto)	Zużycie wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	923,86	831,47	350,31	230,32	Energia el	63,98	MWh
		92,39		119,98	Gaz	3380	m3
Przygotowanie c.w.u.	246,58	221,92	95,25	61,48	Energia el	17,08	MWh
		24,66		33,78	Gaz	952	m3
RAZEM	1170,44	1053,40	350,31	230,32	Energia el.	81,06	MWh
		117,04		119,98	Gaz ziemny	4332	m3

8.3 Obliczenia na podstawie pomiarów miesięcznych z lat 2004-2007

W niniejszym rozdziale przyjęto następujące oznaczenia:

E_e – Zużycie energii elektrycznej w budynku, [kWh],

E_{e-d} – Zużycie energii elektrycznej w budynku w taryfie dziennej, [kWh],

E_{e-n} – Zużycie energii elektrycznej w budynku w taryfie nocnej, [kWh],

V_g – Zużycie gazu ziemnego w budynku, [m³],

E_{e-co} – Zużycie energii elektrycznej na cele grzewcze, [kWh],

Q_{co-pc} – Ciepło dostarczone przez pompę ciepła na potrzeby c.o., [GJ],

V_{co-g} – Zużycie gazu na cele c.o., [m³],

Q_{co-g} – Ciepło dostarczone przez kocioł gazowy na potrzeby c.o., [GJ],

V_{cwu-g} – Zużycie gazu na cele c.w.u., [m³],

Q_{cwu-g} – Ciepło dostarczone przez kocioł gazowy na potrzeby c.w.u., [GJ],

Q_{co} – Ciepło dla potrzeb c.o. szkoły, [GJ].

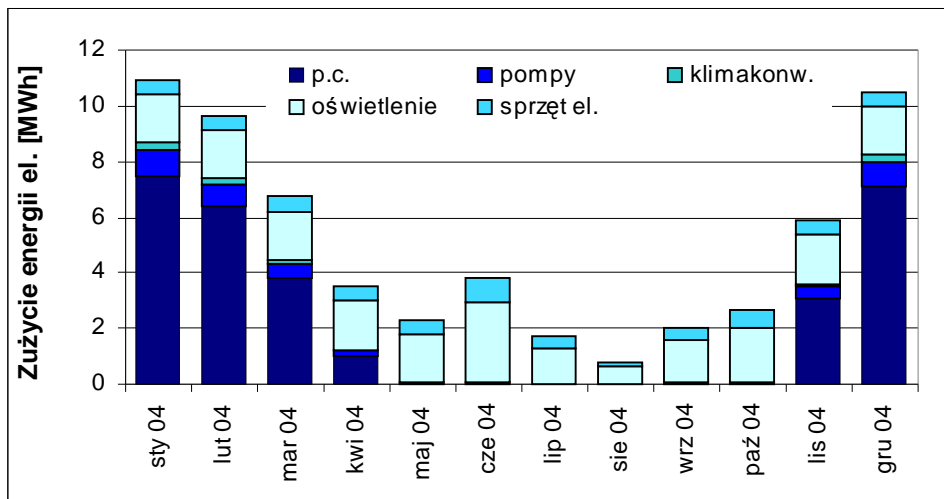
8.3.1 Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2004

Danymi wejściowymi do obliczeń były zmierzone wartości miesięczne zużycia energii elektrycznej i gazu ziemnego. Przedstawiono je w tabeli 8.7.

Tabela 8.7: Miesięczne wartości zużycia energii elektrycznej i gazu w roku 2004.

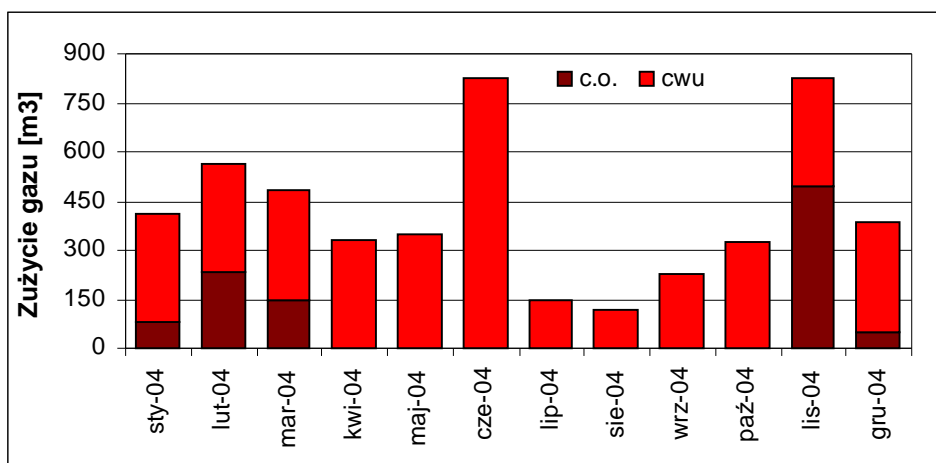
Miesiąc	E_{e-d}	E_{e-n}	V_g
	kWh	kWh	m ³
styczeń	7125	3813	413
luty	6481	3176	566
marzec	4487	2249	482
kwiecień	2561	966	332
maj	1855	439	349
czerwiec	2750	1054	825
lipiec	1107	587	148
sierpień	557	266	119
wrzesień	1682	349	227
październik	2256	400	327
listopad	4279	1616	829
grudzień	6876	3640	385

Na podstawie danych z miesięcy: V, IX i X wyznaczono zużycie energii na cele pozagrzewcze w czasie normalnej pracy szkoły w roku szkolnym. Wyniosło ono 2327kWh miesięcznie, z czego 1931kWh w taryfie dziennej i 396kWh w taryfie nocnej. W oparciu o te wartości uzyskano przebieg zużycia energii elektrycznej w rozbiu na ogrzewanie i inne odbiory (rys. 8.2) w kolejnych miesiącach całego roku.



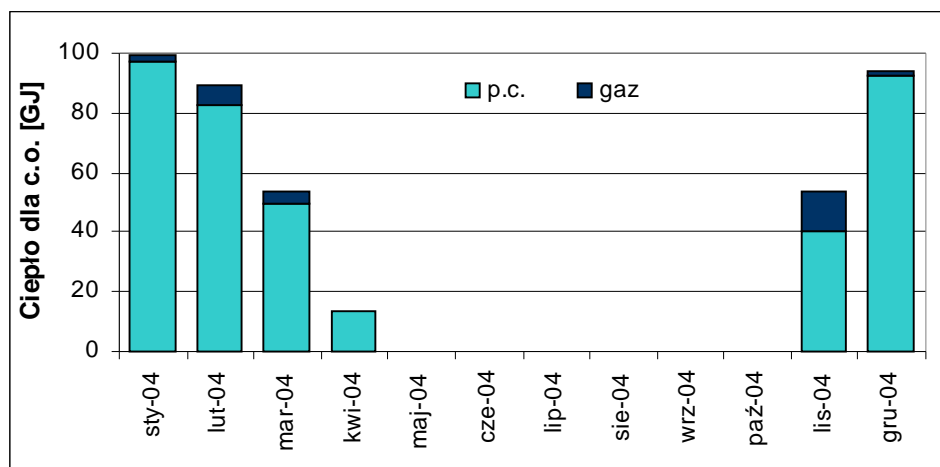
Rys. 8.2: Przebieg zużycia energii elektrycznej w budynku szkoły w roku 2004.

Średnie zużycie gazu dla c.w.u. w sezonie grzewczym określono na podstawie danych z miesięcy IV, V i X na 336m³ miesięcznie. W oparciu o to wyznaczono przebieg zużycia gazu dla potrzeb c.o. i c.w.u., przedstawiony na rysunku 8.3. Łącznie w ciągu roku 2004 dla potrzeb c.o. zużyto 995m³ gazu, zaś dla przygotowania c.w.u. 4007m³.



Rys. 8.3: Przebieg zużycia gazu dla potrzeb c.o. i c.w.u. w roku 2004.

Przeprowadzona analiza zużycia energii elektrycznej i gazu pozwoliła określić przebieg ilości ciepła dostarczonego przez kotłownię do ogrzewania budynku, przedstawiony na rys. 8.4.



Rys. 8.4: Przebieg rocznego zużycia ciepła przez budynek w roku 2004.

Ilość ciepła wytworzonego w kotłowni w roku 2004 wyniosła łącznie 402,83 GJ, z czego pompa ciepła pokryła 93,25 % zapotrzebowania, zaś pozostałe 6,75 % kocioł gazowy. Dla przygotowania c.w.u. łącznie dostarczone zostało 118,99 GJ, z czego 87,27% przez kocioł gazowy, a 12,73% kolektory słoneczne. W oparciu o te obliczenia określono roczny bilans potrzeb energetycznych budynku (Tab. 8.8).

Tabela 8.8: Bilans potrzeb energetycznych budynku w roku 2004.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Netto	wg nośników	Brutto	wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	402,83	375,63	139,38	104,05	Energia el.	28,90	MWh
		27,20		35,32	Gaz	995	m ³
Ciepła woda	118,99	103,84	178,25	142,25	Gaz	4 007	m ³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh
Oświetlenie	73,33	73,33	73,33	73,33	Energia el.	20,37	MWh
Sprzęt elektroniczny	22,79	22,79	22,79	22,79	Energia el.	6,33	MWh
Pompy obiegowe	14,42	14,42	14,42	14,42	Energia el.	4,00	MWh
Klimakonwektory	3,47	3,47	3,47	3,47	Energia el.	0,96	MWh
RAZEM	635,83	489,64	431,63	218,06	Energia el.	55,60	MWh
		131,04		177,57	Gaz ziemny	5002	m³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh

Łącznie energia elektryczna zaspokoiła 77,01% potrzeb netto obiektu, stanowiąc przy tym 50,52% całkowitego zużycia energii dostarczonej do budynku. Gaz ziemny pokrył 20,61% potrzeb, stanowiąc 41,14% zużycia. Natomiast energia słoneczna zaspokoiła pozostałe 2,38%, przy 8,34% udziale w zużyciu.

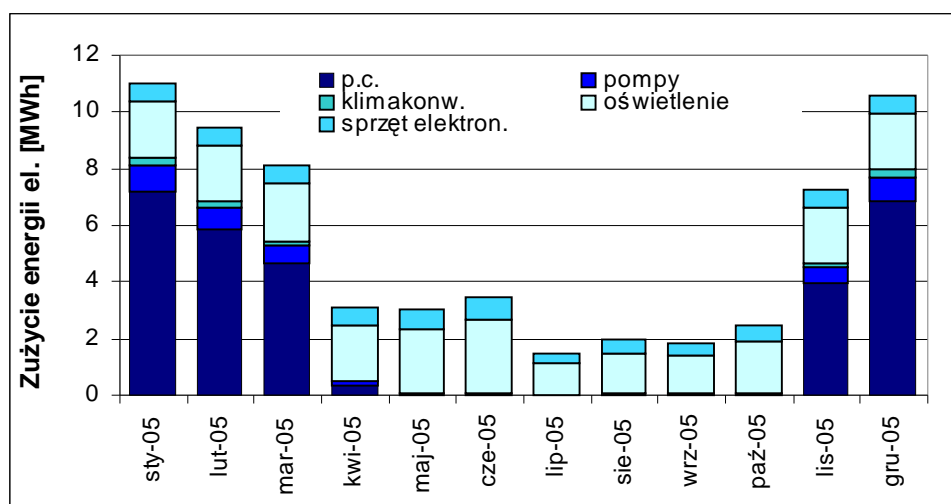
8.3.2 Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2005

Wartości zużycia energii elektrycznej i gazu w budynku szkoły zmierzone w roku 2005 przedstawiono w tabeli 8.9.

Tabela 8.9: Miesięczne wartości zużycia energii elektrycznej i gazu w roku 2005.

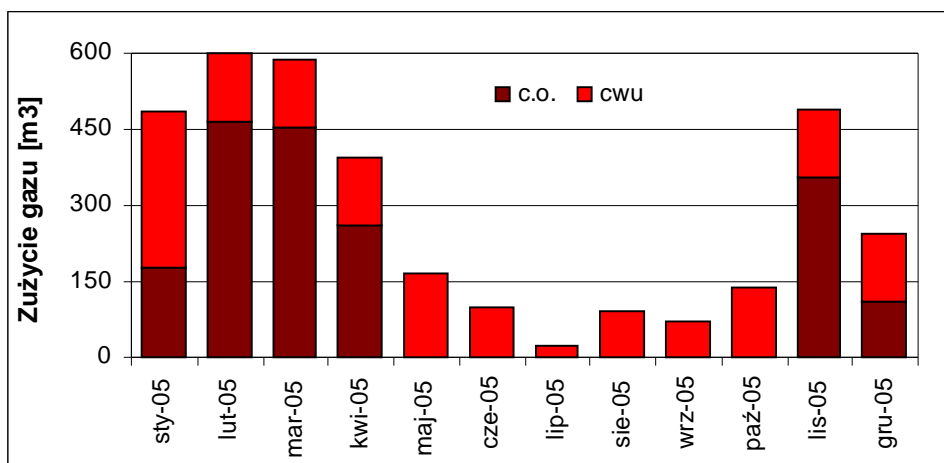
Miesiąc	E_{e-d}	E_{e-n}	V_g
	kWh	kWh	m ³
styczeń	7464	3115	311
luty	5288	1976	600
marzec	2216	283	587
kwiecień	1561	253	396
maj	1287	660	166
czerwiec	991	496	98
lipiec	2550	902	24
sierpień	2336	667	91
wrzesień	2513	610	71
październik	5703	2387	140
listopad	6268	3212	490
grudzień	7300	3714	244

Do obliczenia energii zużywanej na cele pozagrzewcze przyjęto zużycie w miesiącach V, VI, IX i X, otrzymując średnie zużycie miesięczne w wysokości 2692kWh, z czego 2166kWh w taryfie dziennej i 526kWh w nocnej. Na tej podstawie uzyskano przebieg zużycia energii elektrycznej w rozbiciu na wyodrębnione grupy odbiorników (rys. 8.5) w roku 2005.



Rys. 8.5: Przebieg zużycia energii elektrycznej w budynku szkoły w roku 2005.

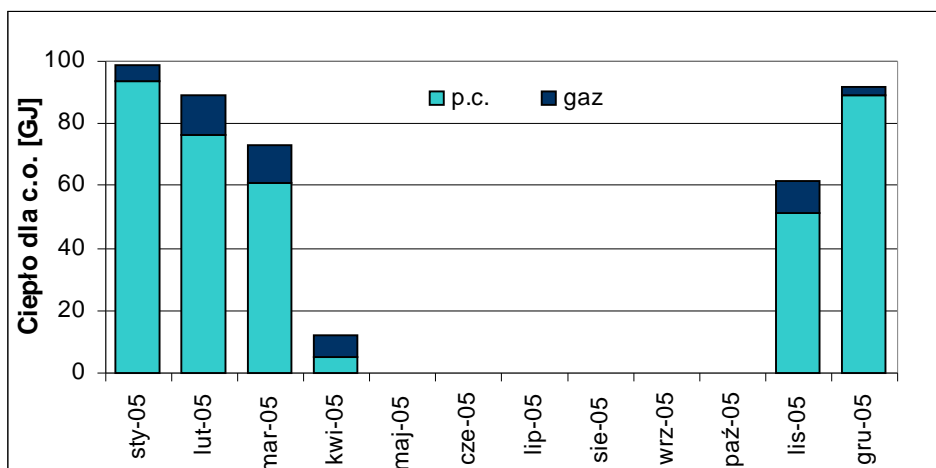
Na podstawie danych z miesięcy V, VI i X określono średnie zużycie gazu dla c.w.u. na poziomie 135 m³ miesięcznie. Pozwoliło to na wyznaczenie przebiegu zapotrzebowania na gaz dla potrzeb c.o. i c.w.u., przedstawionego na rysunku 8.6.



Rys. 8.6: Przebieg zużycia gazu dla potrzeb c.o. i c.w.u. w roku 2005.

W ciągu roku 2005 dla potrzeb ogrzewania budynku zużyto łącznie 1820 m³ gazu, natomiast dla c.w.u. – 1574 m³.

W oparciu o wykonane obliczenia wyznaczono ilość ciepła wytworzonego w kotłowni, która wyniosła łącznie 426,41 GJ. Z tego pompa ciepła pokryła 92,98% potrzeb, zaś pozostałe 7,02% kocioł gazowy. W przypadku przygotowania c.w.u. łączne zużycie netto wyniosło 55,95 GJ, z czego 72,92% dostarczył kocioł gazowy, a 27,08% kolektory słoneczne. Przebieg zużycia ciepła na potrzeby grzewcze budynku przedstawiono na rysunku 8.7.



Rys. 8.7: Przebieg rocznego zużycia ciepła przez budynek w roku 2005.

Energia elektryczna zaspokoiła w ciągu całego roku 82,60% potrzeb energetycznych, stanowiąc przy tym 59,46% całkowitego zużycia. Gaz ziemny pokrył 14,90% potrzeb, stanowiąc 31,22% zużycia. Natomiast energia słoneczna zaspokoiła pozostałe 2,49%, przy 9,33% udziale w zużyciu. Pełny roczny bilans potrzeb energetycznych budynku przedstawiono w tabeli 8.10.

Tabela 8.10: Bilans potrzeb energetycznych budynku w roku 2005.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Netto	wg nośników	Brutto	wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	426,41	376,66	168,95	104,34	Energia el.	28,98	MWh
		49,75		64,61	Gaz	1820	m ³
Ciepła woda	55,95	40,80	91,89	55,89	Gaz	1574	m ³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh
Oświetlenie	81,64	81,64	81,64	81,64	Energia el.	22,68	MWh
Pozostałe	25,37	25,37	25,37	25,37	Energia el.	7,05	MWh
Pompy obiegowe	14,68	14,68	14,68	14,68	Energia el.	4,08	MWh
Klimakonwektory	3,47	3,47	3,47	3,47	Energia el.	0,97	MWh
RAZEM	607,52	501,83	386,00	229,50	Energia el.	58,71	MWh
		90,55		120,50	Gaz ziemny	3394	m³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh

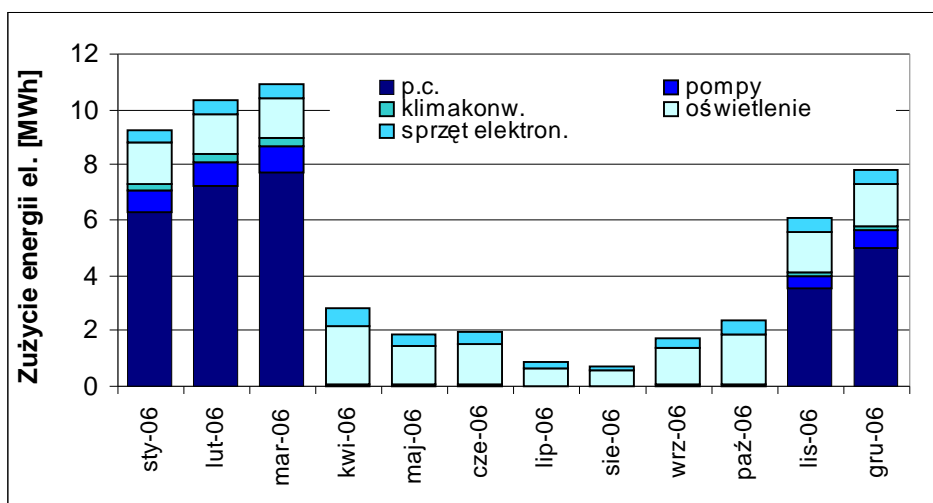
8.3.3 Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2006

Miesięczne wartości zmierzonego zużycia energii elektrycznej i gazu w szkole w roku 2006 przedstawiono w tabeli 8.11.

Tabela 8.11: Miesięczne wartości zużycia energii elektrycznej i gazu w roku 2006.

Miesiąc	E _{e-d}	E _{e-n}	V _g
	kWh	kWh	m ³
styczeń	6737	2525	1236
luty	7092	3232	249
marzec	7308	3596	214
kwiecień	2349	505	211
maj	1622	275	221
czerwiec	1646	311	98
lipiec	593	252	93
sierpień	504	229	87
wrzesień	1536	232	95
październik	2167	242	151
listopad	4275	1789	168
grudzień	5312	2464	200

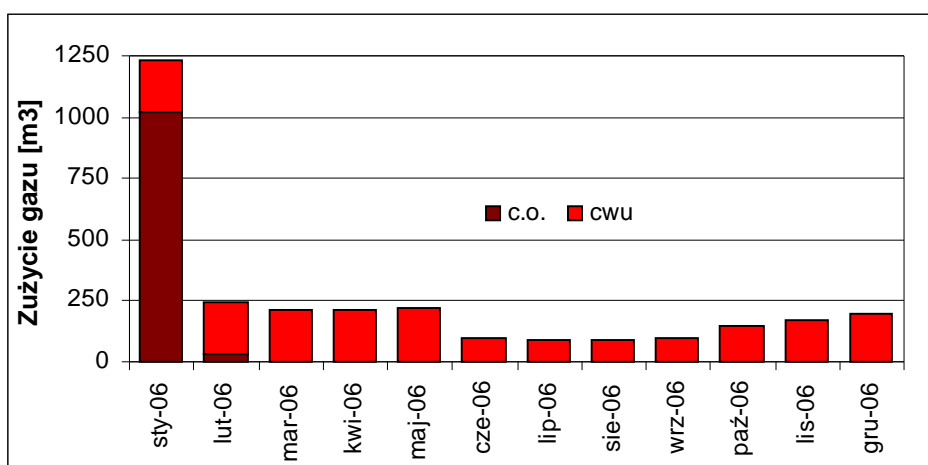
Do obliczenia zużycia brutto energii elektrycznej na cele pozagrzewcze przyjęto miesiące V, VI, IX i X, otrzymując średnio miesięczne 2010kWh, z czego 1743kWh w taryfie dziennej oraz 267kWh w taryfie nocnej. Uzyskany przebieg zużycia energii elektrycznej w kolejnych miesiącach 2006 roku dla poszczególnych potrzeb budynku przedstawiono na rysunku 8.8.



Rys. 8.8: Przebieg zużycia energii elektrycznej w budynku szkoły w roku 2006.

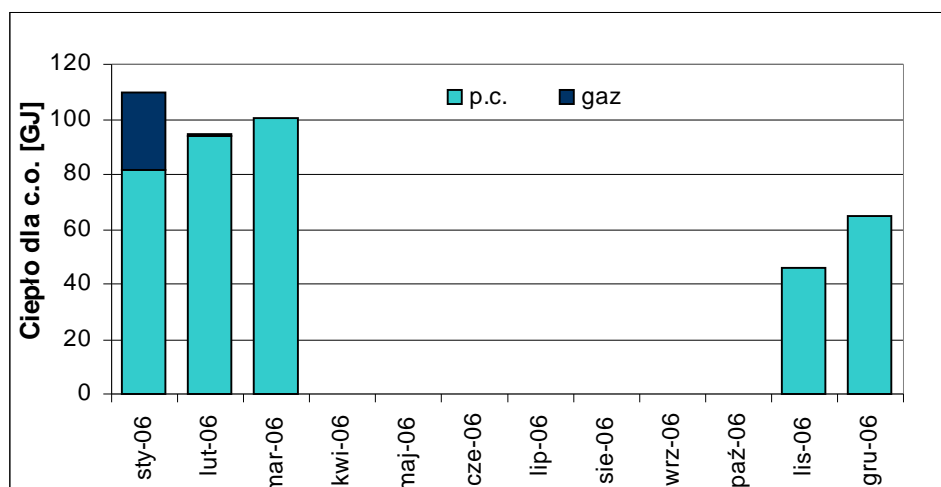
Na podstawie danych z miesięcy III, IV i V określono średnie zużycie gazu dla c.w.u. na poziomie 215m³ miesięcznie w okresie grzewczym. Pozwoliło to na wyznaczenie przebiegu zapotrzebowania na gaz dla potrzeb c.o. i c.w.u., przedstawionego na rysunku 8.9. Wyjątkowo wysoka wartość zużycia gazu w styczniu związana była z niskimi temperaturami panującymi w tym okresie (rzędu -25°C do -30°C), co spowodowało zamrażanie gruntu i spadek efektywności energetycznej kolektora gruntowego, a zatem i spadek ilości ciepła dostarczonego przez pompę ciepła. Niedobór ten uzupełniony został zatem przez kocioł gazowy.

Łącznie w ciągu roku 2006 dla potrzeb centralnego ogrzewania zużyto 1054 m³ gazu, zaś dla potrzeb c.w.u. – 1969 m³.



Rys. 8.9: Przebieg zużycia gazu dla potrzeb c.o. i c.w.u. w roku 2006.

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły wyznaczyć przebieg zużycia ciepła na potrzeby grzewcze budynku przedstawiony na rysunku 8.10.



Rys. 8.10: Przebieg rocznego zużycia ciepła przez budynek w roku 2006.

W roku 2006 ilość ciepła wytworzonego w kotłowni wyniosła łącznie 415,46 GJ, z czego pompa ciepła pokryła 93,06% potrzeb, a pozostałe 6,94% kocioł gazowy. Dla przygotowania c.w.u. łączne zużycie ciepła netto wyniosło 66,17 GJ, z czego 77,10% dostarczył kocioł gazowy, a 22,90% kolektory słoneczne.

Roczny bilans potrzeb energetycznych budynku przedstawiono w tabeli 8.12. Wynika z niego iż energia elektryczna zaspokoiła w sumie 83,59% potrzeb netto, stanowiąc 58,79% całkowitego zużycia energii dostarczonej do budynku. Gaz ziemny pokrył 13,79% potrzeb, stanowiąc 30,86% zużycia brutto. Natomiast energia słoneczna zaspokoiła pozostałe 2,62% zużycia netto, przy 10,35% udziale w energii dostarczonej.

Tabela 8.12: Potrzeby energetyczne budynku w roku 2006.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Netto	wg nośników	Brutto	wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	415,46	386,64	144,53	107,10	Energia el.	29,75	MWh
		28,82		37,43	Gaz	1 054	m ³
Ciepła woda	66,17	51,02	105,89	69,89	Gaz	1 969	m ³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh
Oświetlenie	60,54	60,54	60,54	60,54	Energia el.	16,82	MWh
Sprzęt elektroniczny	18,82	18,82	18,82	18,82	Energia el.	10,00	MWh
Pompy obiegowe	14,43	14,43	14,43	14,43	Energia el.	4,01	MWh
Klimakonwektory	3,57	3,57	3,57	3,57	Energia el.	0,99	MWh
RAZEM	578,98	483,99	347,77	204,45	Energia el.	51,79	MWh
		79,84		107,32	Gaz ziemny	3023	m³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh

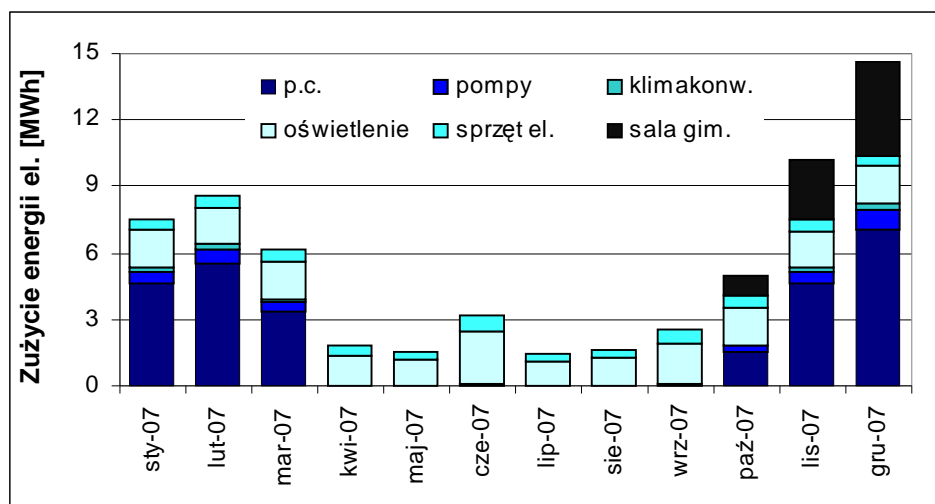
8.3.4 Bilans potrzeb energetycznych budynku – rok 2007

Wartości miesięczne zużycia energii elektrycznej (dla szkoły i sali gimnastycznej) i gazu ziemnego w roku 2007 przedstawiono w tabeli 8.13.

Tabela 8.13: Miesięczne wartości zużycia energii elektrycznej i gazu w roku 2007.

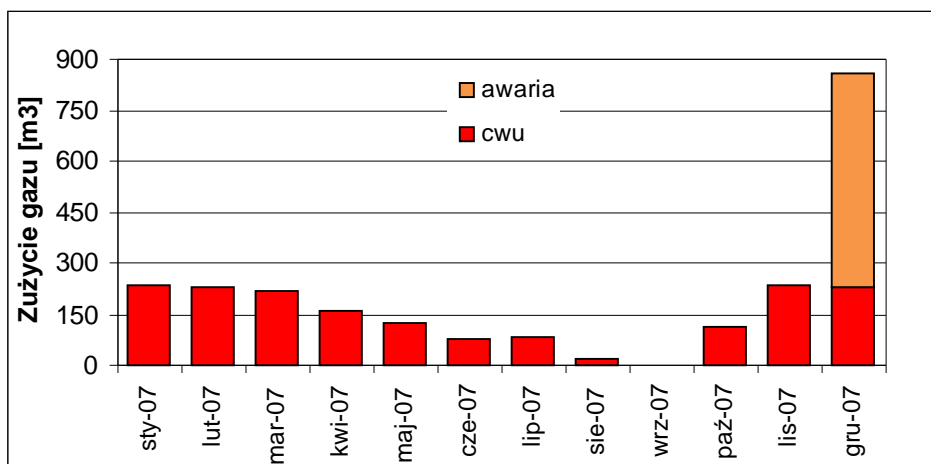
Miesiąc	E_{e-d}	E_{e-d}	V_g
	kWh	kWh	m ³
styczeń	5133	2412	237
luty	5560	3023	229
marzec	4086	2027	218
kwiecień	1552	221	160
maj	1337	231	124
czerwiec	2373	798	79
lipiec	907	527	84
sierpień	1105	555	20
wrzesień	1990	498	0
październik	3668	1329	111
listopad	6897	3353	238
grudzień	9633	5046	857

Na podstawie danych z miesięcy IV, V, VI i IX otrzymano średnie zużycie energii elektrycznej brutto 2257kWh miesięcznie dla celów pozagrzewczych, z czego 1813kWh w taryfie dziennej, zaś pozostałe 444kWh w taryfie nocnej. Uzyskany na tej podstawie przebieg zużycia energii elektrycznej przedstawiono na rysunku 8.11. Dodatkowo zaznaczono zużycie energii dla potrzeb nowo budowanej sali gimnastycznej.



Rys. 8.11: Przebieg zużycia energii elektrycznej w budynku szkoły w roku 2007.

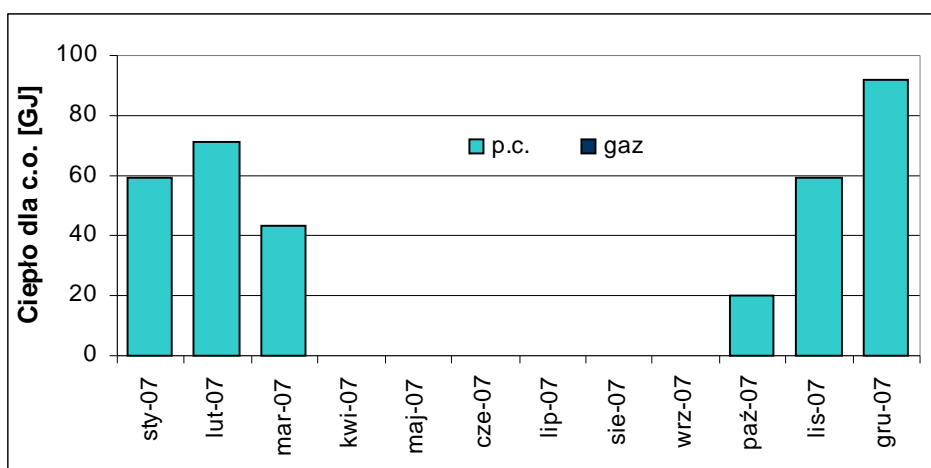
Ze względu na ciepłą zimę w roku 2007 nie zanotowano podwyższonego zużycia gazu ziemnego w porównaniu do lat poprzednich, dlatego też przyjęto iż był on w całości zużywany dla potrzeb c.w.u. Wysokie zużycie w grudniu (rys. 8.12) było jedynie wynikiem awarii w instalacji c.w.u. i nie brano go pod uwagę do bilansu potrzeb energetycznych szkoły.



Rys. 8.12: Przebieg zużycia gazu w roku 2007.

Analiza zużycia energii elektrycznej i gazu pozwoliła określić przebieg zużycia ciepła do ogrzewania budynku, przedstawiony na rysunku 8.13.

Na podstawie przyjętych założeń obliczeniowych dla kolejnych miesięcy wyznaczono ilość ciepła wytworzonego w kotłowni. Dla całego roku 2007 wyniosła ona łącznie 346,29 GJ i w całości została wytworzona przez pompę ciepła. W przypadku przygotowania c.w.u. łączne zapotrzebowanie na ciepło wyniosło 76,23 GJ, z czego 80,13% dostarczył kocioł gazowy, a 19,87% kolektory słoneczne.



Rys. 8.13: Przebieg rocznego zużycia ciepła przez budynek w roku 2007.

W oparciu o przeprowadzone powyżej obliczenia określono bilans potrzeb energetycznych budynku, który zestawiono w tabeli 8.14.

Tabela 8.14: Bilans potrzeb energetycznych budynku w roku 2007.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Netto	wg nośników	Brutto	wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	346,29	346,29	95,92	95,92	Energia el.	26,65	MWh
		0,00		0,00	Gaz	0	m ³
Ciepła woda	60,00	44,85	97,43	61,43	Gaz	1 731	m ³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh
Oświetlenie	68,95	68,95	68,95	68,95	Energia el.	19,15	MWh
Sprzęt elektroniczny	21,43	21,43	21,43	21,43	Energia el.	5,95	MWh
Pompy obiegowe	13,33	13,33	13,33	13,33	Energia el.	3,70	MWh
Klimakonwektory	3,19	3,19	3,19	3,19	Energia el.	0,89	MWh
RAZEM	513,19	453,19	300,26	202,83	Energia el.	51,75	MWh
		44,85		61,43	Gaz ziemny	1731	m³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh

Łącznie energia elektryczna zaspokoiła 88,31% zużycia energii netto w obiekcie, stanowiąc przy tym 67,55% całkowitego zużycia energii dostarczonej do budynku (brutto). Gaz ziemny pokrył 8,74% potrzeb, stanowiąc 20,46% zużycia. Natomiast energia słoneczna zaspokoiła pozostałe 2,95%, przy 11,99% udziale w zużyciu.

8.3.5 Analiza energetyczna za okres 2004 – 2007

Dane pomiarowe dotyczące zużycia gazu i energii elektrycznej w szkole w latach 2004-7 zestawiono w tabeli 8.15.

Ilość energii zużywanej na cele pozagrzewcze określono na średnio 2154 kWh miesięcznie, z czego 1828 kWh w taryfie dziennej, a pozostałe 326 kWh w taryfie nocnej. Na tej podstawie uzyskano przebieg zużycia energii elektrycznej w rozbiciu na poszczególne grupy odbiorników, w tym salę gimnastyczną jako wyodrębniony odbiór, zgodnie z metodyką obliczeń przedstawioną w rozdziale 7.3.

Uzyskane rezultaty pozwoliły na wykreślenie graficznego przebiegu zużycia energii elektrycznej (Rys. 8.14). Widoczny jest stopniowy wzrost zużycia przez pompę ciepła w miesiącach jesiennych (październik - listopad) do maksimum w grudniu-styczniu, a następnie ponowny spadek w okresie przedwiośnia (marzec - kwiecień). Zmniejszenie konsumpcji energii elektrycznej występuje w miesiącach słonecznych, kiedy spada zapotrzebowanie na sztuczne oświetlenie sal lekcyjnych oraz w okresie wakacyjnym, kiedy szkoła nie pracuje.

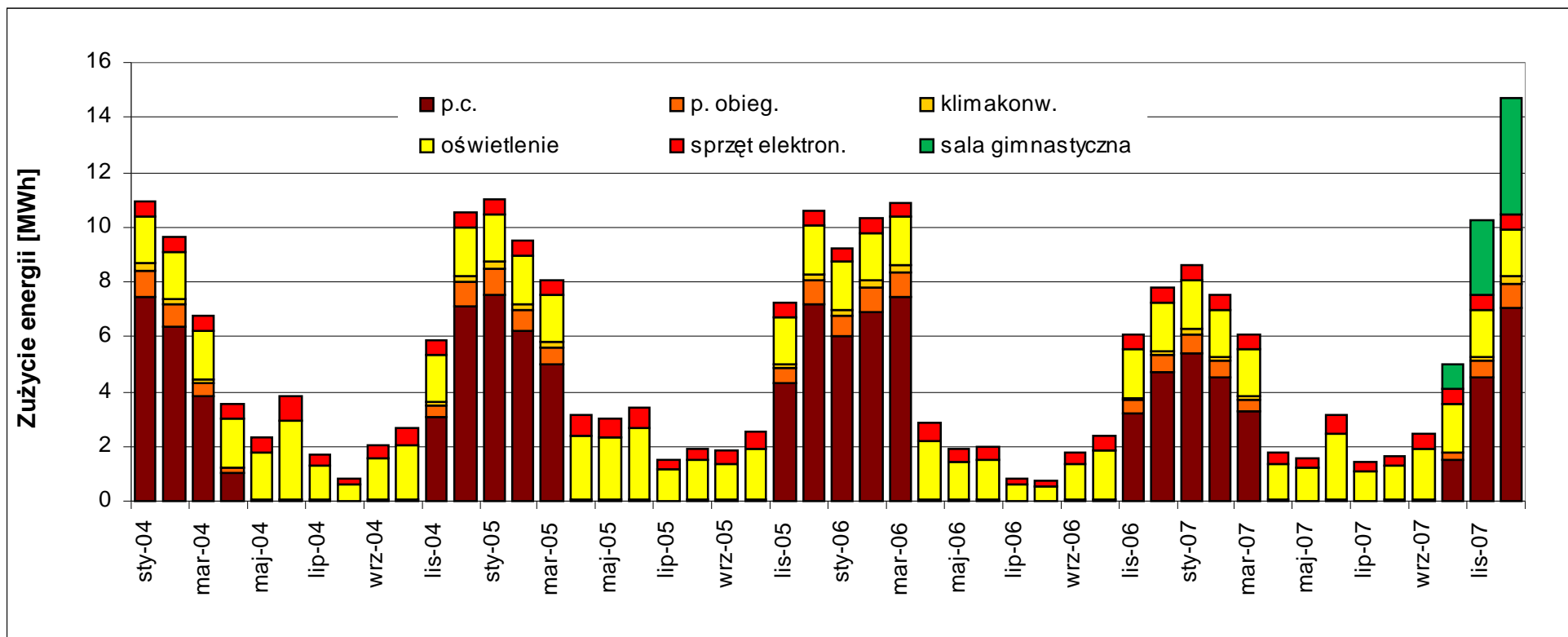
Zużycie gazu dla przygotowania c.w.u. obliczono na podstawie danych z miesięcy kiedy kocioł gazowy pracował jedynie dla tego celu. Tak wyznaczone średnie zużycie gazu na potrzeby c.w.u. wyniosło miesięcznie 222 m³. Pozwoliło to na określenie przebiegu zapotrzebowania miesięcznego, przedstawionego na rysunku 8.15.

W oparciu o obliczone wartości zużycia energii elektrycznej przez pompę ciepła i gazu określono ilość ciepła wytworzonego w kotłowni (netto) dla c.o. i c.w.u. (tabela 8.16).

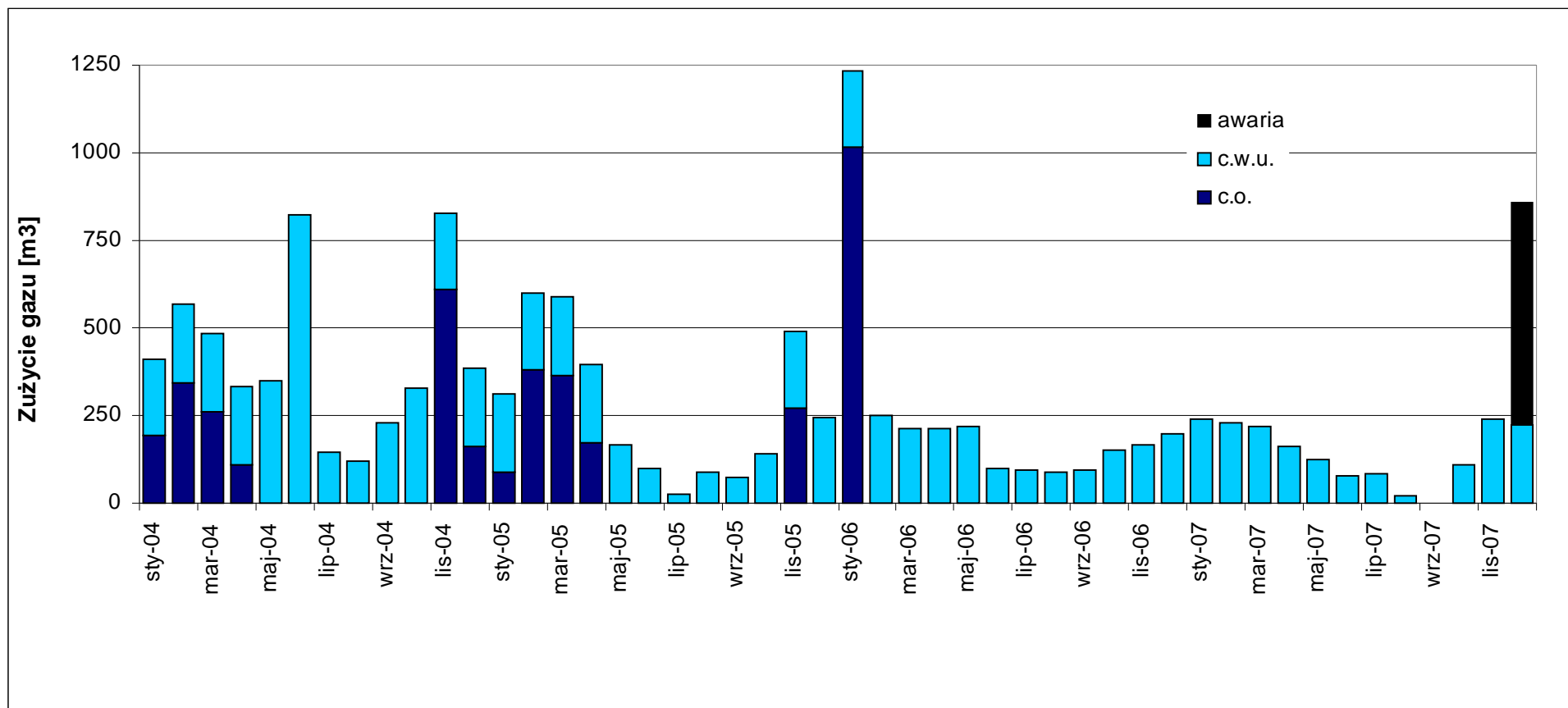
Otrzymany przebieg zmienności zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (rys. 8.16) jest typowy dla polskich warunków klimatycznych, obrazując charakterystyczną jego sezonowość.

Tabela 8.15: Zużycie energii elektrycznej i gazu w budynku szkoły w okresie 2004 – 2007.

Miesiąc	E_{e-d}	E_{e-n}	E_e	Praca p.c.	V_g
	kWh	kWh	kWh		m^3
styczeń 04	7125	3813	10938	Tak	413
luty 04	6481	3176	9657	Tak	566
marzec 04	4487	2249	6736	Tak	482
kwiecień 04	2561	966	3527		332
maj 04	1855	439	2294		349
czerwiec 04	2750	1054	3804		825
lipiec 04	1107	587	1694		148
sierpień 04	557	266	823		119
wrzesień 04	1682	349	2031		227
październik 04	2256	400	2656		327
listopad 04	4279	1616	5895	Tak	829
grudzień 04	6876	3640	10516	Tak	384
styczeń 05	7300	3714	11014	Tak	311
luty 05	6268	3212	9480	Tak	600
marzec 05	5703	2387	8090	Tak	587
kwiecień 05	2513	610	3123		396
maj 05	2336	667	3003		166
czerwiec 05	2550	902	3452		98
lipiec 05	991	496	1487		24
sierpień 05	1287	660	1947		91
wrzesień 05	1561	253	1814		71
październik 05	2216	283	2499		140
listopad 05	5288	1976	7264	Tak	490
grudzień 05	7464	3115	10579	Tak	244
styczeń 06	6737	2525	9262	Tak	1236
luty 06	7092	3232	10324	Tak	249
marzec 06	7308	3596	10904	Tak	214
kwiecień 06	2349	505	2854		211
maj 06	1622	275	1897		221
czerwiec 06	1646	311	1957		98
lipiec 06	593	252	845		93
sierpień 06	504	229	733		87
wrzesień 06	1536	232	1768		95
październik 06	2167	242	2409		151
listopad 06	4275	1789	6064	Tak	168
grudzień 06	5312	2464	7776	Tak	200
styczeń 07	5133	2412	7545	Tak	237
luty 07	5560	3023	8583	Tak	229
marzec 07	4086	2027	6113	Tak	218
kwiecień 07	1552	221	1773		160
maj 07	1337	231	1568		124
czerwiec 07	2373	798	3171		79
lipiec 07	907	527	1434		84
sierpień 07	1105	555	1660		20
wrzesień 07	1990	498	2488		0
październik 07	3668	1329	4997	Tak	111
listopad 07	6897	3353	10250	Tak	238
grudzień 07	9633	5046	14679	Tak	222



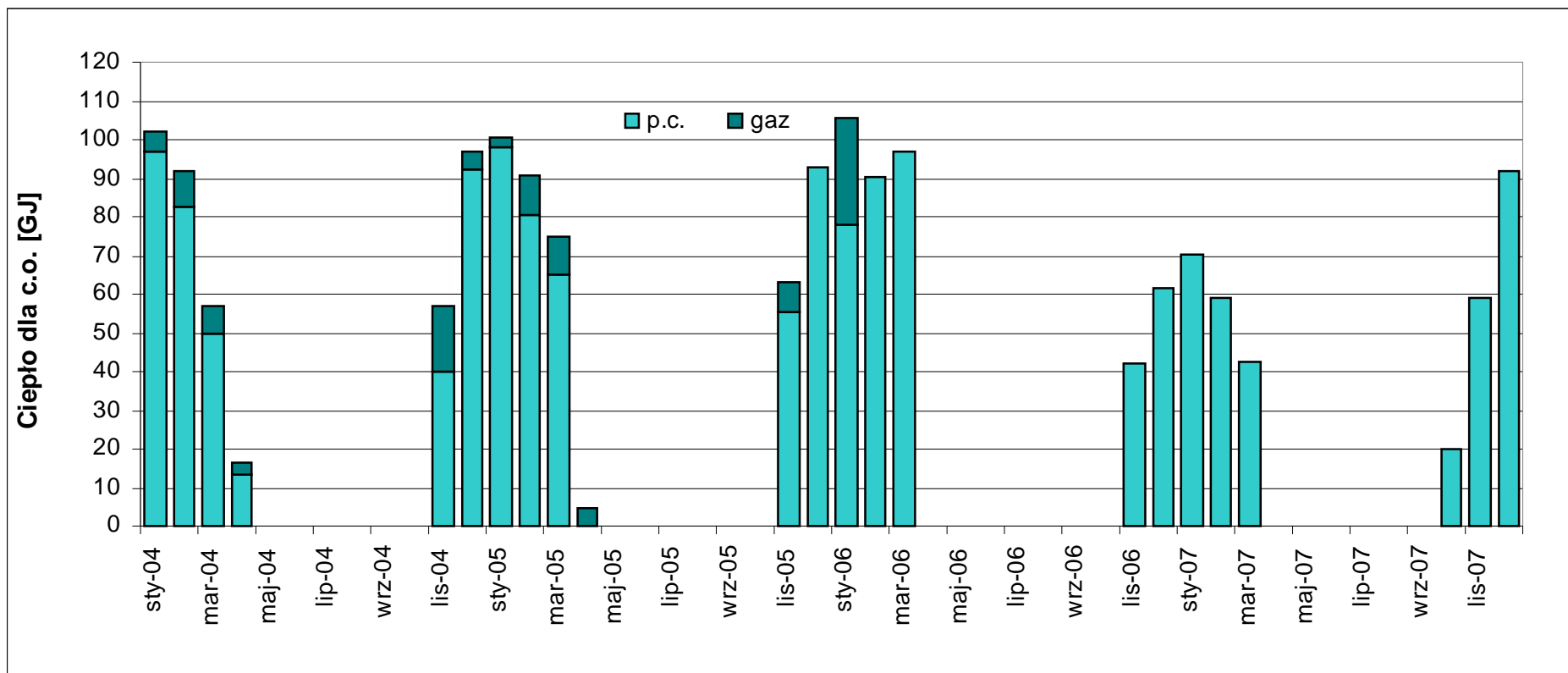
Rys. 8.14: Zużycie energii elektrycznej w budynku szkoły w okresie 2004-2007.



Rys. 8.15: Zużycie gazu dla potrzeb c.o. i c.w.u. w okresie 2004-2007.

Tabela 8.16: Zużycie energii elektrycznej i gazu na potrzeby grzewcze i c.w.u. w latach 2004-2007.

Miesiąc	Centralne ogrzewanie					Ciepła woda	
	E _{e-co}	Q _{co-pc}	V _{co-g}	Q _{co-g}	Q _{co}	V _{cwu-g}	Q _{cwu-g}
	MWh	GJ	m ³	GJ	GJ	m ³	GJ
sty 04	7,47	97,06	191	5,23	102,29	222	5,75
lut 04	6,36	82,62	344	9,41	92,03	222	5,75
mar 04	3,82	49,67	260	7,11	56,79	222	5,75
kwi 04	1,04	13,48	110	3,01	16,50	222	5,75
maj 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	349	9,04
cze 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	825	21,38
lip 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	148	3,84
sie 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	119	3,08
wrz 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	227	5,88
paź 04	0,00	0,00	0	0,00	0,00	327	8,47
lis 04	3,09	40,19	607	16,60	56,79	222	5,75
gru 04	7,10	92,30	162	4,44	96,74	222	5,75
sty 05	7,53	97,92	89	2,44	100,36	222	5,75
lut 05	6,20	80,62	378	10,34	90,96	222	5,75
mar 05	5,00	64,94	365	9,98	74,93	222	5,75
kwi 05	0,00	0,00	174	4,76	4,76	222	5,75
maj 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	166	4,30
cze 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	98	2,54
lip 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	24	0,62
sie 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	91	2,36
wrz 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	71	1,84
paź 05	0,00	0,00	0	0,00	0,00	140	3,63
lis 05	4,28	55,63	268	7,33	62,96	222	5,75
gru 05	7,16	93,01	0	0,00	93,01	244	6,32
sty 06	6,01	78,16	1 014	27,73	105,89	222	5,75
lut 06	6,94	90,14	0	0,00	90,14	249	6,45
mar 06	7,44	96,68	0	0,00	96,68	214	5,55
kwi 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	211	5,47
maj 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	221	5,73
cze 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	98	2,54
lip 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	93	2,41
sie 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	87	2,25
wrz 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	95	2,46
paź 06	0,00	0,00	0	0,00	0,00	151	3,91
lis 06	3,24	42,09	0	0,00	42,09	168	4,35
gru 06	4,72	61,40	0	0,00	61,40	200	5,18
sty 07	5,42	70,50	0	0,00	70,50	237	6,14
lut 07	4,52	58,80	0	0,00	58,80	229	5,93
mar 07	3,28	42,65	0	0,00	42,65	218	5,65
kwi 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	160	4,15
maj 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	124	3,21
cze 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	79	2,05
lip 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	84	2,18
sie 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	20	0,52
wrz 07	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
paź 07	1,52	19,78	0	0,00	19,78	111	2,88
lis 07	4,52	58,76	0	0,00	58,76	238	6,17
gru 07	7,05	91,63	0	0,00	91,63	222	5,75
SUMA	113,73	1478,0	3965,3	108,39	1586,43	8998	233,19
Średnio - rok	28,43	369,51	991,32	27,10	396,61	2250	58,30



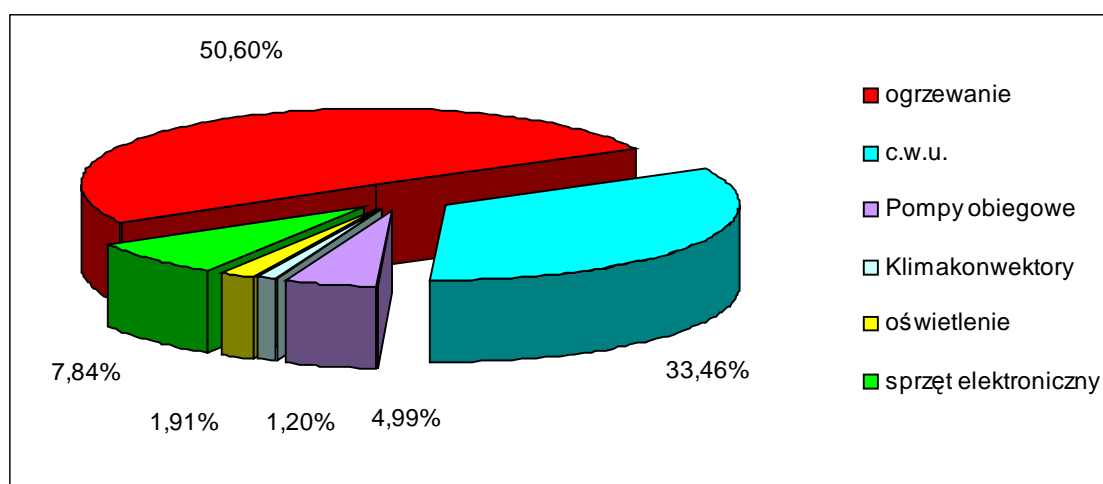
Rys. 8.16: Przebieg zmian zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku w okresie 2004-2007.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń określono ilość energii elektrycznej oraz gazu dostarczonych do budynku dla poszczególnych potrzeb. Dodatkowo uwzględniono (wg założeń z rozdziału 7.3) energię dostarczoną przez kolektory słoneczne. Bilans potrzeb energetycznych budynku przedstawiony w tabeli 8.17.

Tabela 8.17: Zapotrzebowanie energetyczne budynku (wartości średnie) za okres 2004 – 2007.

Potrzeby energetyczne	Energia [GJ]				Nośniki energii		
	Netto	wg nośników	Brutto	wg nośników	Rodzaj	Zużycie	Jedn.
Ogrzewanie	396,61	369,51	137,55	102,36	Energia el.	28,43	MWh
		27,10		35,19	Gaz	991	m ³
Ciepła woda	73,45	58,30	115,86	79,86	Gaz	2 250	m ³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh
Oświetlenie	71,59	71,59	71,59	71,59	Energia el.	19,89	MWh
Sprzęt elektroniczny	22,25	22,25	22,25	22,25	Energia el.	6,18	MWh
Pompy obiegowe	14,17	14,17	14,17	14,17	Energia el.	3,94	MWh
Klimakonwektory	3,41	3,41	3,41	3,41	Energia el.	0,95	MWh
RAZEM	581,48	480,93	364,83	213,78	Energia el.	54,50	MWh
		85,40		115,05	Gaz ziemny	3241	m³
		15,15		36,00	En. słoneczna	10,00	MWh

Z przedstawionego bilansu wynika iż największy udział (50%) w zużyciu energii ma ogrzewanie budynku. Wartości średnie za okres 2004-2007 zaprezentowano na rysunku 8.17.

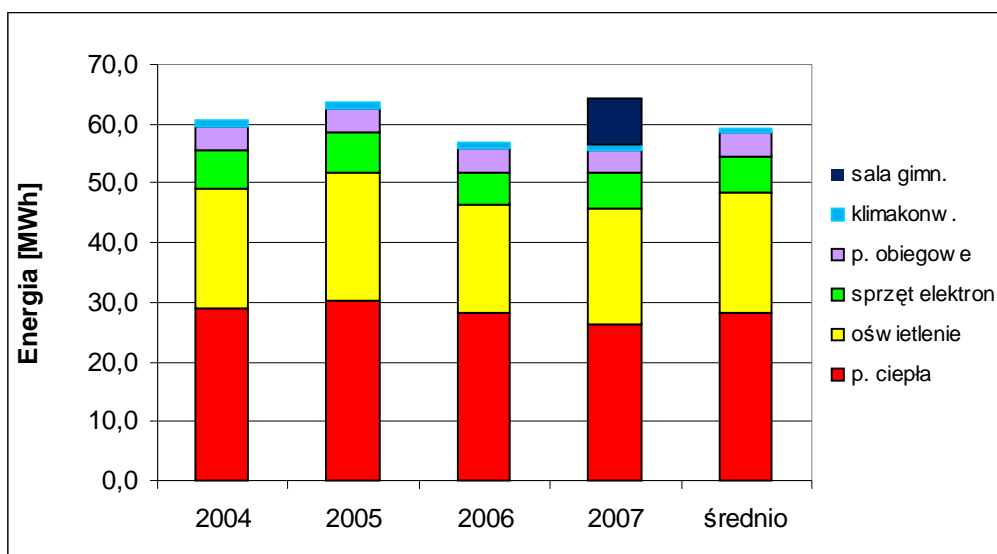


Rys. 8.17: Udział poszczególnych potrzeb energetycznych w całkowitym zużyciu energii.

Wyznaczone średnie roczne zużycie ciepła na cele grzewcze budynku wynosi 396,61 GJ. Pokrycie tych potrzeb przez pompę ciepła wynosi 93,17%, zaś przez kocioł gazowy 6,83%.

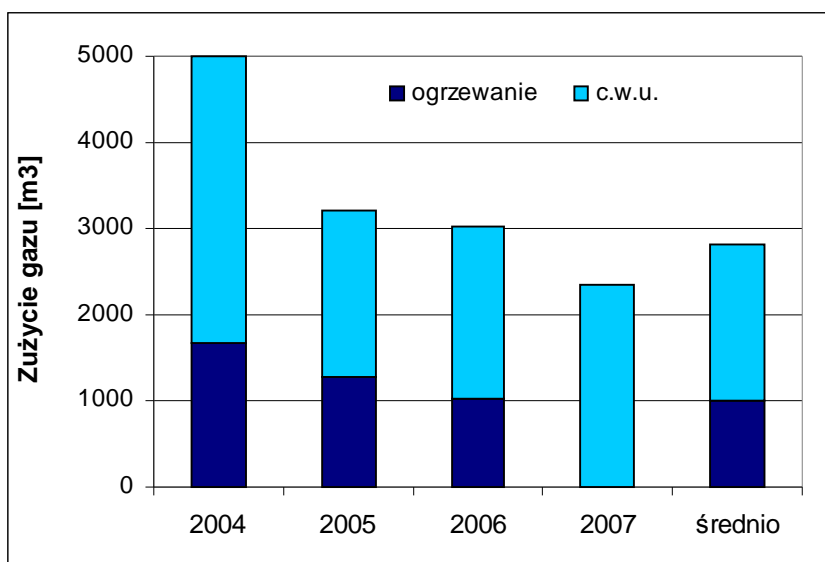
8.3.6 Porównanie rezultatów z lat 2004 – 2007

Badany okres charakteryzował się stabilnym poziomem zużycia energii elektrycznej w szkole. Maksymalna różnica zużycia rocznego i wartości średniej za okres 2004-7 wyniosła 5,92% w roku 2006 (rys. 8.18). Zużycie energii elektrycznej przez salę gimnastyczną w roku 2007 nie wliczano do bilansu szkoły, jednak zaznaczono je informacyjnie.



Rys. 8.18: Zużycie energii elektrycznej w budynku szkoły w latach 2004 – 2007.

Zużycie gazu ziemnego (Rys. 8.19) było bardzo nierównomierne. Różnice między rocznym zużyciem a wartością średnią za okres 2004-2007 wynosiły kolejno: 77,94% (2004), 14,50% (2005), 7,56% (2006) oraz -16,14% w roku 2007. Jest to spowodowane charakterem kotłowni, w której podstawowe źródło ciepła stanowi pompa ciepła, a dodatkowe szczytowe zapotrzebowanie jest pokrywane z kotła gazowego.



Rys. 8.19: Zużycie gazu ziemnego w budynku szkoły w latach 2004 – 2007.

Drugim czynnikiem wpływającym na nierównomierność zużycia gazu jest zmienne zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową, uwarunkowane rozkładem zajęć, a także czynnikami nieprzewidywalnymi w skali rocznej (imprezy szkolne, okazyjne kolonie zimowe i letnie, itp.) i warunkami atmosferycznymi (np. zachmurzenie wpływające na pracę kolektorów słonecznych).

W tabeli 8.18 przedstawiono wartości średniego zużycia energii elektrycznej i gazu w budynku dla wyodrębnionych potrzeb energetycznych. Porównano wartości z czterech kolejnych lat z rezultatami dla całego tego okresu (kolumna 2004-7).

Tabela 8.18: Zużycie energii elektrycznej i gazu w budynku w latach 2004 – 2007.

Potrzeby energetyczne	Nośniki energii	2004	2005	2006	2007	2004-7	jedn.
Ogrzewanie	e.e.	28,90	28,98	29,75	26,65	28,43	MWh
	gaz	995	1337	1054	0	991	m ³
c.w.u.	gaz	4007	1977	1969	2357	2408	m ³
Pompy obieg.	e.e.	4,00	4,08	4,01	3,70	3,94	MWh
Klimakonwektory	e.e.	0,96	0,97	0,99	0,89	0,95	MWh
Oświetlenie	e.e.	20,37	22,68	16,82	19,15	19,96	MWh
Sprzęt elektron.	e.e.	6,33	7,05	5,23	5,95	6,65	MWh

Dla pokrycia potrzeb grzewczych pompa ciepła i urządzenia pomocnicze instalacji c.o. zużywały średnio 32,32 MWh energii elektrycznej rocznie. Stanowi to łącznie 55,19% całkowitego zużycia energii elektrycznej w budynku.

Średnioroczne zużycie gazu dla potrzeb c.w.u. określono na poziomie 2408m³. Uwzględniając energię dostarczoną przez kolektory słoneczne uzyskano łączne obliczeniowe zapotrzebowanie na energię dla przygotowania ciepłej wody równe 71,91 GJ. Wartości dla kolejnych lat i średnie z analizowanego okresu zawarto w tabeli 8.19.

Tabela 8.19: Zapotrzebowanie netto na ciepło do ogrzewania i przygotowania c.w.u. latach 2004-2007.

Wielkość	Jedn.	2004	2005	2006	2007	2004-7
Q_{co}	GJ	421,13	426,99	396,20	342,12	396,61
Q_{co-po}/Q_{co}	%	85,68	89,51	90,70	100,00	91,50
Q_{co-g}/Q_{co}	%	14,32	10,49	9,30	0,00	8,50
Q_{cwu}	GJ	101,33	71,24	61,46	53,63	71,91

Zapotrzebowanie budynku na ciepło do ogrzewania w badanym okresie było dość równomierne i kształtowało się na średnim poziomie 396,61GJ. Największa różnica zużycia rocznego i wartości średniej za okres 2004-7 wystąpiła w roku 2006 i wyniosła 4,24%. Wynikła ona z bardzo łagodnej zimy w sezonie 2006/2007.

8.4 Wyniki pomiarów – monitoring komputerowy budynku

W październiku 2007 roku uruchomiono pierwszy etap systemu opomiarowania i monitoringu energetycznego szkoły (ciepłomierze dla pompy ciepła, kotła gazowego, kolektorów słonecznych i instalacji c.o. szkoły). Ze względu na prowadzone prace budowlane nie uruchomiono dotychczas ciepłomierzy dla c.w.u. oraz sali gimnastycznej.

Rezultaty wykonanych pomiarów w węźle cieplnym budynku przedstawiono w tabeli 8.20. Zawarto w niej także wskazania wodomierza dla c.w.u. Widoczne duże zużycie wody zanotowane w listopadzie i grudniu 2007 było efektem prac prowadzonych przy budowie sali gimnastycznej.

Tabela 8.20: Miesięczne wartości zmierzonego ciepła w węźle cieplnym szkoły.

Miejsce pomiaru	LC1	LC2	LC3	LC4	W5
Miesiąc	GJ	GJ	GJ	GJ	m ³
wrz 07	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
paź 07	11,35	0,156	0,15	11,54	7,497
lis 07	69,54	0,521	2,03	69,26	46,483
gru 07	88,00	0,559	18,70	84,13	158,015
sty 08	63,29	0,516	23,93	77,87	3,267
lut 08	67,60	0,675	2,16	62,68	3,198
mar 08	94,15	1,345	3,03	76,28	2,182
kwi 08	21,56	1,525	4,47	19,88	3,830
maj 08	0,00	1,625	0,36	0,00	3,768
cze 08	0,00	2,481	0,11	0,00	3,297
lip 08	0,00	2,445	0,00	0,00	0,918

Uzyskane rezultaty pozwalają na analizę sezonu grzewczego obejmującego okres od października 2007 do maja 2008 roku (tab. 8.21).

Tabela 8.21: Rezultaty pomiarów w węźle cieplnym szkoły dla sezonu grzewczego 2007/08.

Miejsce pomiaru	Pompa ciepła	Kolektory słoneczne	Kocioł gazowy	Szkoła c.o.	Zużycie c.w.u.
Jednostka	GJ	GJ	GJ	GJ	m ³
Wartość	415,49	5,30	54,47	401,64	224,47

Wszystkie źródła dostarczyły w analizowanym sezonie grzewczym łącznie 475,26GJ ciepła. Z tego 87,42% przypadło na pompę ciepła, 10,28% na kocioł gazowy, a na kolektory słoneczne pozostałe 1,15%.

8.5 Porównanie rezultatów badań i dyskusja błędów

8.5.1 Potrzeby cieplne obiektu

Obliczona na podstawie pomiarów dla czteroletniego okresu badań (2004-2007) wartość sezonowego zapotrzebowania budynku na ciepło wynosi 396,61GJ, i stanowi ona 42,93% wartości obliczonej programem OZC (923,86 GJ) oraz 43,30% wyznaczonej na podstawie modelu (916,02 GJ).

Głównym powodem tej różnicy jest metodyka przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych, wykonanych zgodnie z wytycznymi normowymi, zakładającymi całodobowe ogrzewanie i wentylację budynku. W rzeczywistości obiekt ten jest w pełni użytkowany przez dziesięć godzin na dobę (lekcje w godzinach 8-15, zajęcia dla dorosłych oraz obsługa poranna i popołudniowe sprzątanie po zajęciach). W tym czasie nawiewany jest do budynku strumień powietrza wentylacyjnego koniecznego dla utrzymania normowej wymiany powietrza w pomieszczeniach. Jego zmniejszenie w czasie gdy w budynku nie przebywają żadne osoby powoduje zmniejszenie zapotrzebowania budynku na ciepło.

Dla potwierdzenia tej tezy przeprowadzono obliczenia porównawcze za pomocą modelu zapotrzebowania energetycznego budynku. W tym celu założono:

- normową wymianę powietrza wentylacyjnego w czasie pracy szkoły, tj. 10h/dobę,
- wymianę równą 20% normowej [22], [92] w pozostałych godzinach doby oraz w czasie dni wolnych, ferii, wakacji i dni świątecznych.

Wartości zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku dla wszystkich zastosowanych metod obliczeniowych zestawiono w tabeli 8.22. Obejmują one kolejno:

- obliczenia na podstawie modelu potrzeb energetycznych budynku,
- obliczenia programem OZC,
- obliczenia na podstawie modelu dla nowych warunków wentylacji (Model „w”),
- wartości średnie z okresu 2004-07 na podstawie rozliczeń miesięcznych (r.m.),
- pomiary dla sezonu grzewczego 2007/08.

Tabela 8.22: Zapotrzebowanie budynku na ciepło do ogrzewania budynku, [GJ].

Miesiąc	Model	OZC	Model „w”	2004-07 (r.m.)	sezon 2007/08
wrzesień	9,94	7,35	0,00	0,00	0,00
październik	65,15	78,22	25,22	4,94	11,54
listopad	123,87	123,24	63,34	55,15	69,26
grudzień	177,73	172,91	88,05	85,70	84,13
styczeń	199,86	191,42	102,54	94,76	77,87
luty	153,84	145,92	70,44	82,98	62,68
marzec	119,25	119,61	52,81	67,76	76,28
kwiecień	61,64	77,85	12,65	5,32	19,88
maj	4,73	7,35	0,00	0,00	0,00
RAZEM	916,02	923,86	415,05	396,61	401,64

Wykonane obliczenia wskazują na dużą zbieżność rezultatów przeprowadzonych badań symulacyjnych i pomiarowych sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku. Przyjmując za punkt odniesienia pomiary wykonane ciepłomierzami uzyskuje się błąd względny obliczeń symulacyjnych 3,34%, a dla danych z rozliczeń miesięcznych 1,25%. Dla poszczególnych miesięcy występują większe rozbieżności. Wynoszą one odpowiednio (model „w”) od 4,7% (styczeń) przez 36% dla kwietnia do 118% w październiku oraz (r.m.) od 1,9% dla stycznia przez 57,2% dla października do 73,3% dla kwietnia.

Duże wartości błędów w miesiącach przejściowych rozpoczynających i kończących sezon grzewczy mogą wynikać z dużych dobowych zmian temperatury występujących w tym czasie [42], a trudnych do uchwycenia wartości średniej temperatury miesięcznej. Równie istotne są także różnice rzeczywistych wartości temperatur i napromieniowania słonecznego występujących w Gródku nad Dunajcem w analizowanym okresie względem średnich wartości wieloletnich ze stacji IMGW z Nowego Sącza i Rabki przyjętych do obliczeń. Sprzyja temu lokalizacja budynku szkoły w sąsiedztwie Jeziora Rożnowskiego, co wpływa na lokalny mikroklimat. Na potwierdzenie powyższych wniosków wskazują rezultaty badań budynku jednorodzinnego zaprezentowane w pracy [49], gdzie zastosowano do obliczeń komputerowych wartości temperatury otoczenia zgodne z wartościami rzeczywistymi zmierzonymi przez system pomiarowy. Uzyskane rozbieżności wyników dobowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania nie przekroczyły 10% a błąd względny 5,5%.

Różnice dla rezultatów pomiarów miesięcznych wynikają z przyjętych założeń upraszczających o których wspomniano w rozdziale 7.3. Pamiętać także należy iż najbardziej wiarygodne będzie porównanie po zebraniu danych za pełny rok 2008 i przeprowadzenie na tej podstawie procedury obliczeniowej jak dla pozostałych lat.

Wśród dostępnych prac dotyczących obiektów użyteczności publicznej, jedynie w [5] przedstawiono rezultaty badań symulacyjnych i weryfikacji pomiarowej zużycia ciepła dla potrzeb ogrzewania. Podano je dla kolejnych pór roku. Błąd względny obliczeń wahał się od 12,9% (zima) do 52,1% (lato). Błąd dla miesięcy letnich autorzy uznali jednak za nieistotny ze względu na małą, w porównaniu do okresu zimowego, wartość ciepła dla ogrzewania.

W oparciu o wykonane badania możliwe jest także porównanie rezultatów ilości ciepła dostarczonego przez pompę ciepła i kocioł gazowy uzyskanych z systemu pomiarowego (s.p.) i na podstawie rozliczeń miesięcznych (r.m.). Dane dla dwóch miesięcy roku 2007 zawarto w tabeli 8.23. W przypadku kotła gazowego dla listopada widoczna duża, czterokrotna, różnica wynika z awarii kotła i związanego z tym zawyżonego poboru gazu.

Tabela 8.23: Wartości ciepła dostarczonego przez pompę ciepła i kocioł gazowy, [GJ].

Miejsce pomiaru	pompa ciepła		kocioł gazowy	
	s.p.	r.m.	s.p.	r.m.
listopad 2007	69,54	58,76	2,03	8,45
grudzień 2007	88,00	91,63	18,70	22,21

Z wyjątkiem wspomnianego stanu awaryjnego, błąd względny obliczeń opartych o rozliczenia miesięczne nie przekroczył 19%. Zatem, ze względu na złożoność badanego obiektu, utrudnione jest dokładne określenie udziału poszczególnych źródeł w ilości

dostarczanego ciepła w okresach miesięcznych. W takim przypadku wskazane jest zainstalowanie dodatkowych przyrządów pomiarowych uzupełniających podstawowe pomiary prowadzone przez dostawców energii. W badanym obiekcie, z powodu braku takich przyrządów, konieczne stało się stosowanie założeń upraszczających, co spowodowało zmniejszenie dokładności obliczeń. Najważniejsze z tych założeń to przyjęcie iż pompa ciepła nie jest używana do podgrzewu c.w.u. Jego pominięcie wymagałoby przyjęcia kolejnych ustaleń dotyczących określenia udziału pompy ciepła i kotła gazowego w wytwarzaniu ciepła dla przygotowania c.w.u., co przy posiadanych danych nie było możliwe. Ponadto, przy pracy kotła gazowego na pierwszym stopniu mocy jego sprawność jest niższa od znamionowej, co wpływa na wartość ciepła oddawanego do instalacji.

8.5.2 Zużycie energii elektrycznej i gazu

W tabeli 8.24 zawarto rezultaty badań teoretycznych i pomiarowych zużycia energii elektrycznej i gazu dla poszczególnych potrzeb budynku. Określono także błąd względny obliczeń symulacyjnych.

Tabela 8.24: Potrzeby energetyczne budynku – porównanie rezultatów badań.

Potrzeby energetyczne	Nośniki energii	Model „w”	2004-07 (r.m.)	jedn.	Błąd względny [%]
Ogrzewanie	Energia el	28,74	28,43	MWh	1,09
	Gaz	1439	992	m ³	45,20
Ciepła woda	Gaz	2874	2408	m ³	19,34
Oświetlenie	Energia el.	16,06	19,89	MWh	19,26
Sprzęt elektron.	Energia el.	6,18	6,18	MWh	0,05
Pompy obiegowe	Energia el.	3,02	3,94	MWh	23,22
Klimakonwektory	Energia el.	0,84	0,95	MWh	10,83
SUMA	Energia el.	54,85	59,39	MWh	7,63
	Gaz ziemny	4314	3400	m³	26,88

Duża różnica zużycia gazu dla c.o. wynika z zerowego zużycia w roku 2007 i zaniżenia średniej wartości za cały okres 2004-2007. Średnia za lata 2004-2006 wynosi 1322m³, co zmniejsza błąd względny obliczeń do 8,9%.

Analiza dostępnych publikacji również wskazuje na pojawianie się takich rozbieżności. W pracy [53], dotyczącej centrum konferencyjnego, różnica między rezultatami badań symulacyjnych i pomiarowych dobowego zużycia energii elektrycznej przez system wentylacyjno-klimatyzacyjny wyniosła 13%. Autorzy uznali ten wynik za dobry, wskazując iż celem badań było uzyskanie realistycznych wartości miesięcznego dziennego i miesięcznego zużycia energii.

Pozostałe prace dotyczyły budynków biurowych. W [121] uzyskano błąd względny badań symulacyjnych miesięcznego zużycia energii elektrycznej od 0,61% do 12,26%. Na podstawie analizy błędów autorzy uznali uzyskane rezultaty symulacji za satysfakcjonujące. Natomiast autorzy [72] uzyskali, po dokładnej kalibracji modelu symulacyjnego, błąd

względny miesięcznego zużycia energii elektrycznej oraz gazu od 7,1% do 13,1%. Przed przeprowadzoną kalibracją modelu wartości te wahały się od 22% do 82%. Przedstawione w pracy [5] wyniki badań symulacyjnych i pomiarów całkowitego zużycia energii elektrycznej wykazały zgodność (zależnie od okresu roku) od 4,6% do 5,8%.

Zaprezentowane rezultaty badań własnych i analiza literatury wskazują iż rozbieżności między pomiarami a obliczeniami symulacyjnymi nie odbiegają znacząco od wartości spotykanych w literaturze. Wynikają one głównie z różnic w przyjętych do obliczeń wartościach parametrów klimatu oraz trudności w uchwyceniu w modelu rzeczywistych warunków pracy budynku i zachowania jego użytkowników. Należą do nich takie zdarzenia jak awarie zasilania energetycznego i przestój pompy ciepła, awarie instalacji, okolicznościowe uroczystości i kolonie, a w szczególności oszczędności wprowadzane przez właściciela obiektu. Wymienione zakłócenia standardowego trybu pracy obiektu wpływają na dokładność badań, co wskazywano w [121].

Z powyższych rozważań wynika zatem iż najdokładniejszym sposobem uzyskania wiarygodnych informacji o zużyciu energii i określenia wartościowego potrzeb energetycznych jest opomiarowanie poszczególnych źródeł oraz odbiorników lub grup odbiorników energii w budynku. Wskazuje to na słuszność dalszej rozbudowy systemu pomiarowego dla uzyskania podstawowych danych klimatycznych (temperatura, nasłonecznienie) które mogą zostać zastosowane jako dane wejściowe dla obliczeń symulacyjnych.

8.6 Statystyczna analiza zużycia energii w budynku

Zużycie energii w budynku zależy od czynników zewnętrznych i wewnętrznych (rys. 4.1 w rozdziale czwartym). W rozdziale przeprowadzono badania wpływu wybranych czynników na zużycie energii w budynku szkoły. Dla określenia tego wpływu posłużono współczynnikiem determinacji R^2 [29] i wyznaczono odpowiednie równania funkcyjne.

Do obliczeń zastosowano arkusz kalkulacyjny MSExcel. Podstawowym narzędziem analizy były dostępne modele opisowe, które zestawiono w tabeli 8.25.

Tabela 8.25: Dostępne modele matematyczne funkcji trendu.

Model	Postać
Liniowy	$y = ax + b$
Wielomianowy	$y = a + bx + \dots + b_n x^n$
Logarytmiczny	$y = a \ln(x) + b$
Potęgowy	$y = a x^b$
Wykładniczy	$y = a e^{bx}$

W kolejnych modelach oznaczenia są następujące:

y – zmienna objaśniana,

x – zmienna objaśniająca,

a, b ... b_n – oszacowane wartości parametrów.

8.6.1 Zużycie energii elektrycznej, gazu i ciepła w okresie 2004 – 2007.

Dla właściciela obiektu najbardziej widocznym efektem niskiej energochłonności obiektu jest wielkość zużycia energii i jej koszty. Do określenia tendencji zużycia energii elektrycznej, gazu oraz ciepła dla celów grzewczych w budynku wykorzystano czteroletni okres badań 2004 - 2007.

W badaniach wyznaczono zależności funkcyjne dla następujących wielkości (zmiennych objaśnianych y):

- liczba stopniodni grzania,
- zużycie energii elektrycznej w budynku szkoły,
- zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła,
- zużycie gazu,
- zużycie ciepła dla ogrzewania budynku

Zmienną niezależną x (objaśniającą) jest średnia miesięczna temperatury otoczenia, wg danych dla stacji pomiarowej IMGW w Nowym Sączu. Pozostałe dane wejściowe do obliczeń przedstawiono w tabelach 8.26a (okres 2004-2005) i 8.26b (2006-2007).

Tabela 8.26a: Zużycie energii elektrycznej, gazu i ciepła na potrzeby grzewcze szkoły w latach 2004-5.

Miesiąc	Średnia temperatura otoczenia	Energia elektr. dla budynku szkoły	Energia elektr. dla pompy ciepła	Gaz ziemny	Ciepło dla c.o.	Liczba stopniodni ogrzewania
	°C	MWh	MWh	m ³	GJ	
sty 04	-4,6	10,94	7,47	413	118,34	704,6
lut 04	0,4	9,66	6,36	566	105,88	514,2
mar 04	3,4	6,74	3,82	482	65,62	456,6
kwi 04	8,8	3,53	1,04	332	19,82	93,3
maj 04	12,1	2,29	0,00	349	0,00	0,0
cze 04	16,2	3,80	0,00	825	0,00	0,0
lip 04	17,7	1,69	0,00	148	0,00	0,0
się 04	17,9	0,82	0,00	119	0,00	0,0
wrz 04	12,8	2,03	0,00	227	0,00	0,0
paź 04	10,5	2,66	0,00	327	4,85	114,5
lis 04	3,8	5,90	3,09	829	64,18	429,9
gru 04	0,6	10,52	7,10	384	112,07	543,4
sty 05	-1,2	11,01	7,53	311	116,54	599,2
lut 05	-4,0	9,48	6,20	600	104,51	619,6
mar 05	0,6	8,09	5,00	587	86,09	543,4
kwi 05	8,8	3,12	0,00	396	6,74	93,3
maj 05	14,1	3,00	0,00	166	0,00	0,0
cze 05	16,1	3,45	0,00	98	0,00	0,0
lip 05	19,1	1,49	0,00	24	0,00	0,0
się 05	17,0	1,95	0,00	91	0,00	0,0
wrz 05	14,1	1,81	0,00	71	0,00	0,0
paź 05	9,0	2,50	0,00	140	0,00	0,0
lis 05	2,7	7,26	4,28	490	72,70	231,5
gru 05	-0,5	10,58	7,16	244	109,06	577,5

Tabela 8.26b: Zużycie energii elektrycznej, gazu i ciepła na potrzeby grzewcze szkoły w latach 2006-7.

Miesiąc	Srednia temperatura otoczenia	Energia elektr. dla budynku szkoły	Energia elektr. dla pompy ciepła	Gaz ziemny	Ciepło dla c.o.	Liczba stopniodni ogrzewania
	°C	MWh	MWh	m ³	GJ	
sty 06	-7,7	9,26	6,01	1236	119,06	800,7
lut 06	-3,5	10,32	6,94	249	105,88	627,3
mar 06	0,5	10,90	7,44	214	112,46	546,5
kwi 06	9,1	2,85	0,00	211	1,68	90,3
maj 06	13,2	1,90	0,00	221	0,00	0,0
cze 06	16,8	1,96	0,00	98	0,00	0,0
lip 06	20,8	0,85	0,00	93	0,00	0,0
się 06	17,6	0,73	0,00	87	0,00	0,0
wrz 06	15,0	1,77	0,00	95	0,00	0,0
paź 06	10,6	2,41	0,00	151	0,00	0,0
lis 06	5,8	6,06	3,24	168	47,80	185,0
gru 06	2,0	7,78	4,72	200	71,43	500,0
sty 07	-3,4	8,58	5,42	237	2,73	667,4
lut 07	2,0	7,55	4,52	229	149,42	451,6
mar 07	6,1	6,11	3,28	218	50,31	372,9
kwi 07	9,2	1,77	0,00	160	0,29	89,3
maj 07	16,0	1,57	0,00	124	0,00	0,0
cze 07	18,6	3,17	0,00	79	0,00	0,0
lip 07	19,8	1,43	0,00	84	0,00	0,0
się 07	18,6	1,66	0,00	20	0,00	0,0
wrz 07	12,1	2,49	0,00	0	0,00	0,0
paź 07	7,6	4,09	1,52	111	33,93	158,0
lis 07	1,6	7,54	4,52	238	104,62	495,9
gru 07	-1,9	10,46	7,05	857	116,06	620,9

Otrzymane równania regresji i wartości współczynników R^2 zestawiono w tabeli 8.27. Wykresy zależności funkcyjnych dla kolejnych rodzajów zmiennych objaśnianych przedstawiono na rysunkach 8.20 – 8.28.

Tabela 8.27: Równania regresji oraz współczynniki determinacji R^2 .

Zmienna objaśniana (y)	Równanie dla modelu liniowego	R^2	Równanie dla modelu wielomianowego	R^2
Liczba stopniodni grzania	$y = 0,148x + 2,995$	0,9450	$y = -4E-05x^2 + 0,174x + 2,202$	0,9461
Zużycie energii elektrycznej	$y = 0,4595x - 0,1237$	0,8704	$y = 0,073x^2 + 0,0128x + 0,4067$	0,8869
Zużycie energii elektrycznej dla c.o.	$y = -0,3321x + 5,1529$	0,8270	$y = 0,0102x^2 - 0,4872x + 5,1052$	0,8633
Zużycie gazu ziemnego	$y = -19,078x + 443,21$	0,3607	$y = 0,8208x^2 - 31,583x + 439,36$	0,3918
Ciepło dla potrzeb c.o.	$y = -4,6522x + 72,042$	0,8505	$y = 0,1597x^2 - 7,0858x + 71,294$	0,8974

W budownictwie stosuje się powszechnie określanie zużycia ciepła w funkcji stopniodni grzania. Liczba stopniodni ogrzewania w miesiącu m określana jest z zależności:

$$Sd(m) = [T_i(m) - T_e(m)] \cdot Ld(m) \quad (8.1)$$

Gdzie:

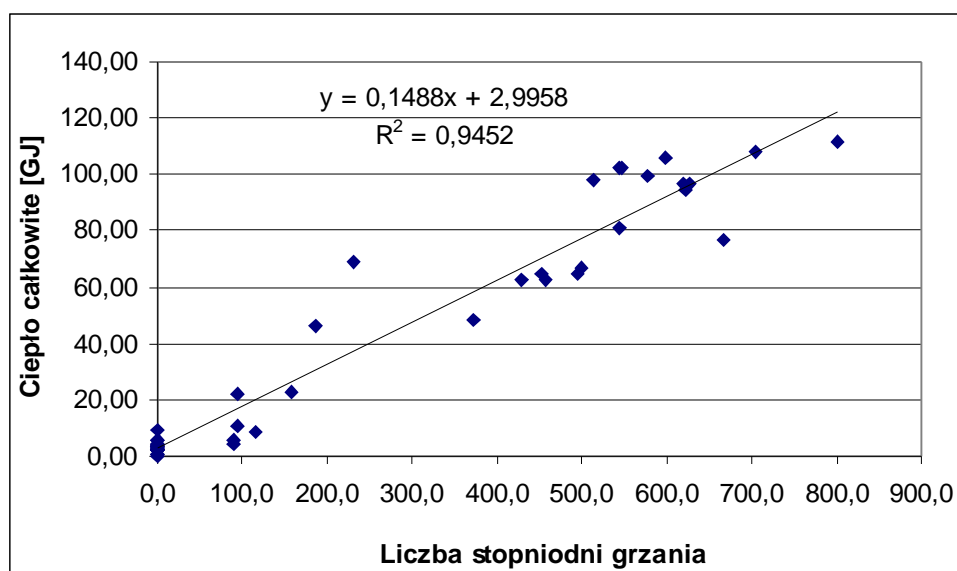
$Sd(m)$ – liczba stopniodni ogrzewania w miesiącu m , [$^{\circ}C$]

$T_i(m)$ – średnia temperatura wewnątrz budynku w miesiącu m , [$^{\circ}C$],

$T_e(m)$ – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w miesiącu m , [$^{\circ}C$],

$Ld(m)$ – liczba dni ogrzewania w miesiącu m , [-].

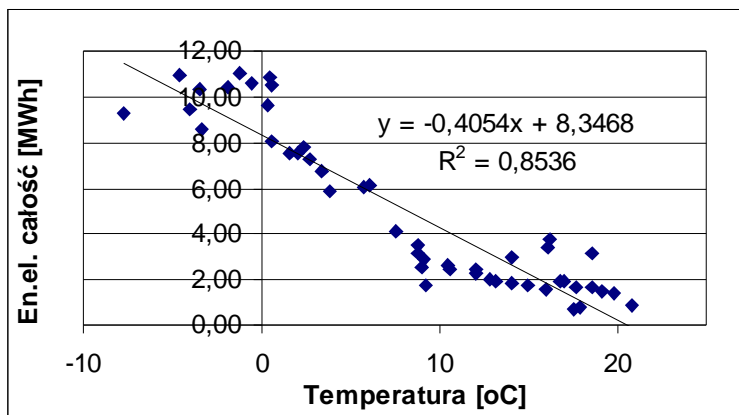
Przeprowadzono takie obliczenia dla badanego obiektu, określając zależność energii dla ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w GJ (y) w budynku w funkcji stopniodni grzania (zmienna niezależna x). Odrzucone zostały stany awaryjne w całym okresie 2004-2007. Otrzymano zależność liniową $y = 2,995 + 0,148x$. Dopasowanie modelu do rezultatów jest bardzo dobre. Współczynnik determinacji $R^2 = 0,945$, co świadczy o silnej korelacji. Parametr stały równania prostej regresji przedstawia potrzeby niezależne od temperatury otoczenia, a związane z przygotowaniem ciepłej wody.



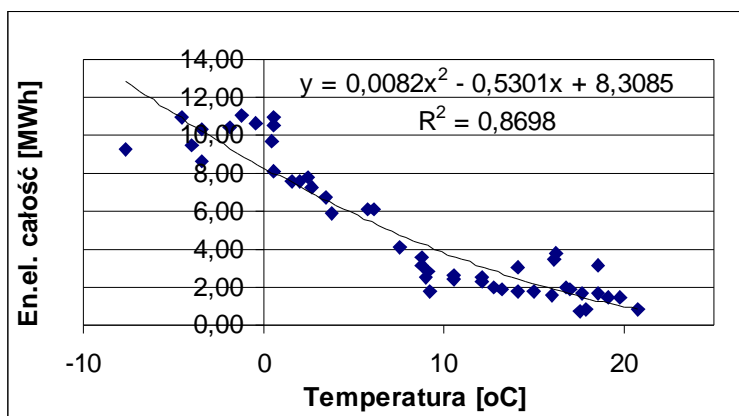
Rys. 8.20: Wykres modelu liniowego dla stopniodni ogrzewania w szkole.

Rezultaty wskazują na silną korelację między wielkością zużywaną w szkole energii elektrycznej oraz ciepłem dla potrzeb grzewczych a temperaturą otoczenia [137]. Jest to uzasadnione tym iż głównym źródłem ciepła jest pompa ciepła zasilana energią elektryczną.

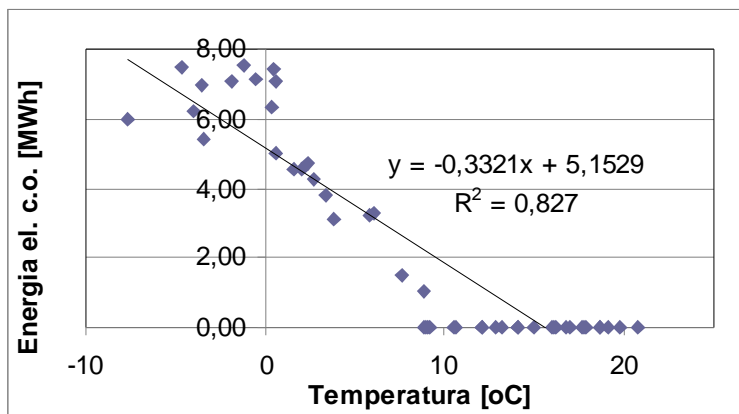
Słaba korelacja zużycia gazu i temperatury otoczenia wynika z faktu iż zużycie c.w.u. jest zależne od szeregu czynników przypadkowych, jak np. zachmurzenie wpływające na pracę kolektorów słonecznych.



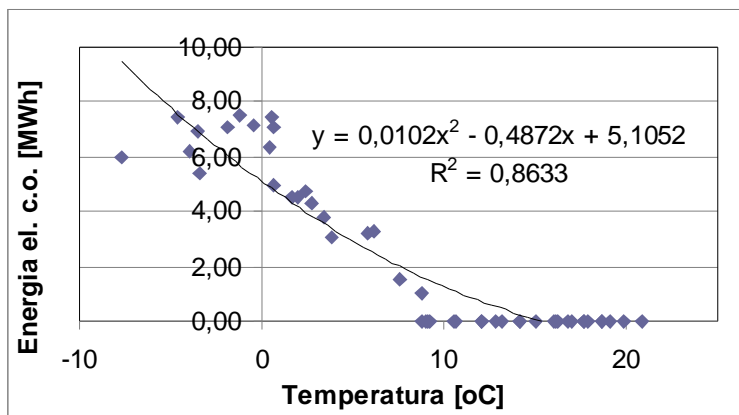
Rys. 8.21: Wykres modelu liniowego dla zużycia energii elektrycznej w szkole.



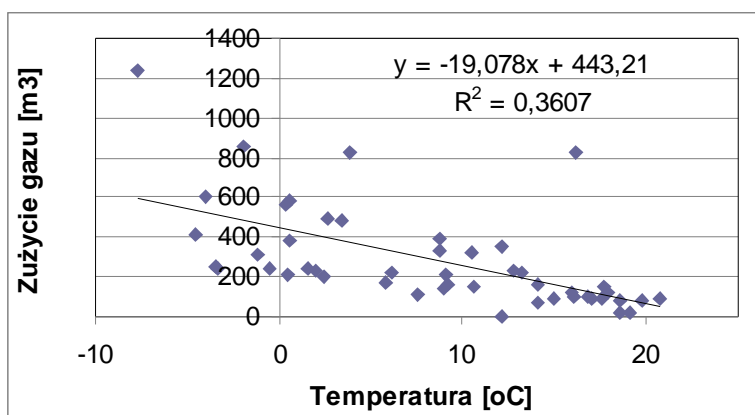
Rys. 8.22: Wykres modelu wielomianowego dla zużycia energii elektrycznej w szkole.



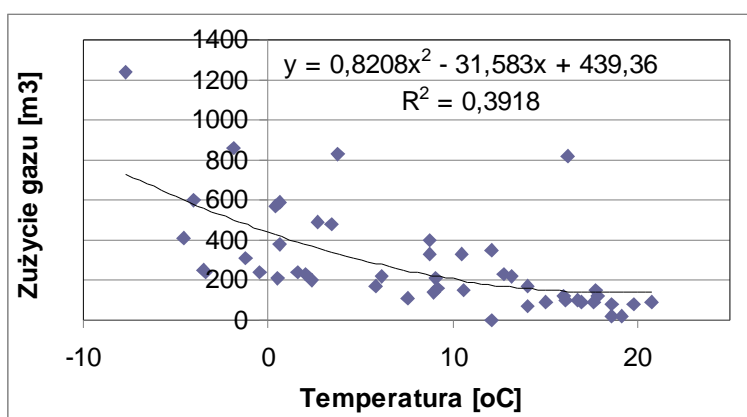
Rys. 8.23: Wykres modelu liniowego dla zużycia energii elektrycznej dla potrzeb c.o.



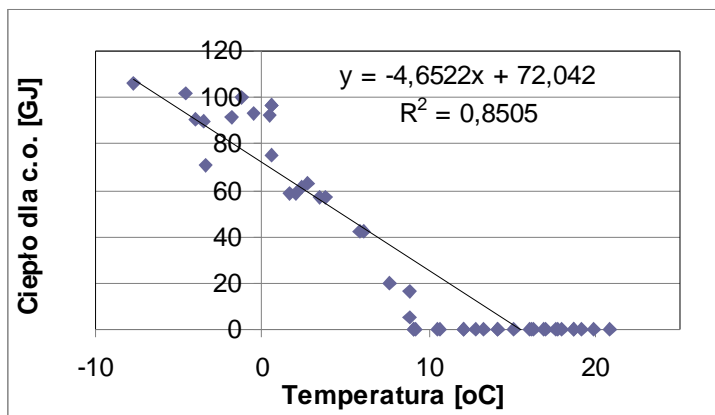
Rys. 8.24: Wykres modelu wielomianowego dla zużycia energii elektrycznej dla potrzeb c.o.



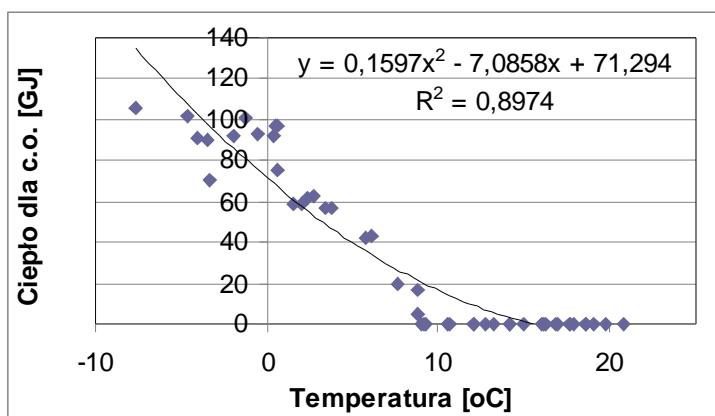
Rys. 8.25: Wykres modelu liniowego dla zużycia gazu.



Rys. 8.26: Wykres modelu wielomianowego dla zużycia gazu.



Rys. 8.27.: Wykres modelu liniowego dla ciepła dla potrzeb c.o.



Rys. 8.28: Wykres modelu wielomianowego dla ciepła dla potrzeb c.o.

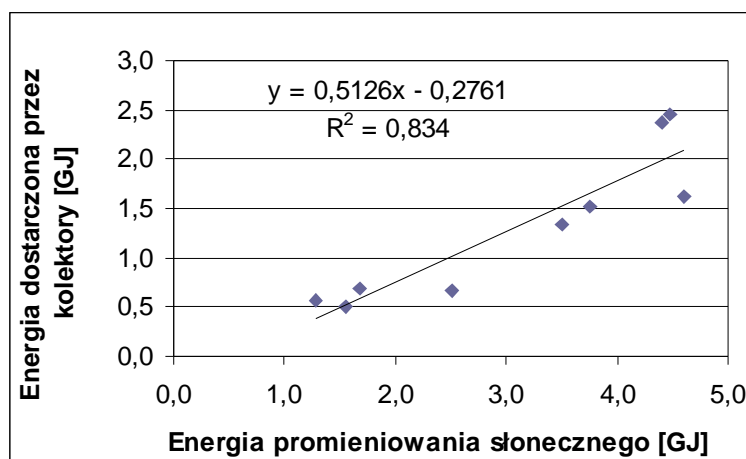
8.6.2 Energia dostarczana przez system solarny

W oparciu o dane pomiarowe określono relację energii odebranej z kolektorów słonecznych w funkcji wartości napromieniowania słonecznego (wg stacji IMGW w Rabce). Dane wejściowe do obliczeń przedstawiono w tabeli 8.28.

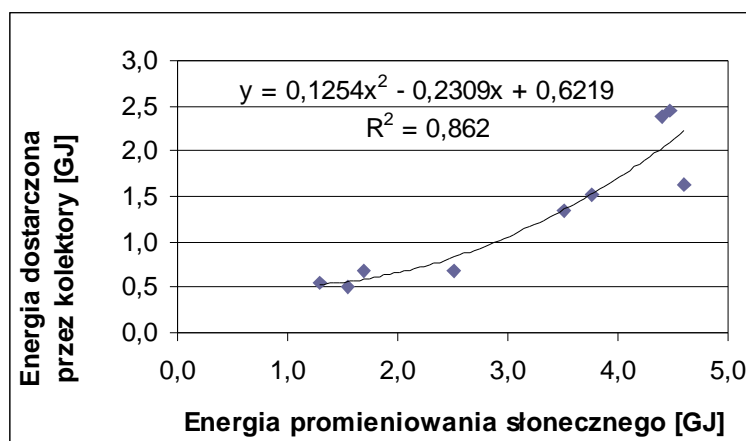
Tabela 8.28: Napromieniowanie wieloletnie i energia dostarczona przez kolektory słoneczne.

Miesiąc	Srednie napromieniowanie miesięczne	Energia dostarczona przez kolektory słoneczne
	Wh/m ²	GJ
lis 07	46800	0,690
gru 07	35712	0,559
sty 08	43152	0,516
lut 08	69888	0,675
mar 08	97464	1,345
kwi 08	104400	1,525
maj 08	127968	1,625
cze 08	122400	2,381
lip 08	124248	2,445

Na rysunkach 8.29 i 8.30 przedstawiono uzyskane zależności funkcyjne i ich przebiegi dla badanych wielkości dla modelu liniowego i wielomianowego. Wartości obliczonych współczynników determinacji R^2 wskazują na silną korelację energii dostarczonej przez kolektory słoneczne do węzła cieplnego szkoły oraz wielkości promieniowania słonecznego.



Rys. 8.29: Wykres modelu liniowego dla energii z kolektorów słonecznych.



Rys. 8.30: Wykres modelu wielomianowego dla energii z kolektorów słonecznych.

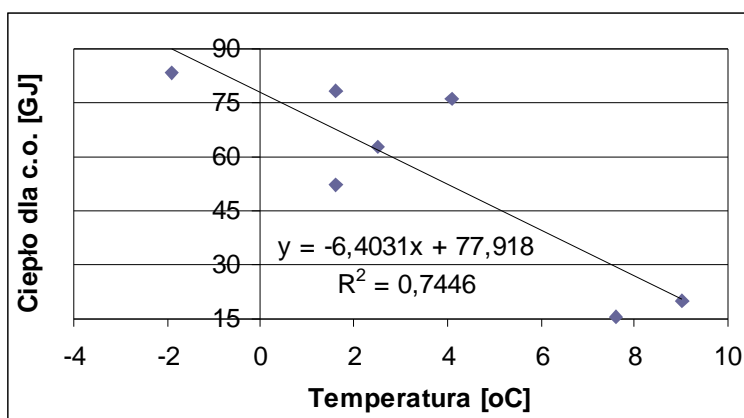
8.6.3 Sezon grzewczy 2007/2008

Wykorzystując dane pomiarowe z zainstalowanych ciepłomierzy zbadano wpływ średniej miesięcznej temperatury otoczenia na wielkość ciepła zużywanego dla ogrzewania szkoły. Dane do obliczeń zawarto w tabeli 8.29.

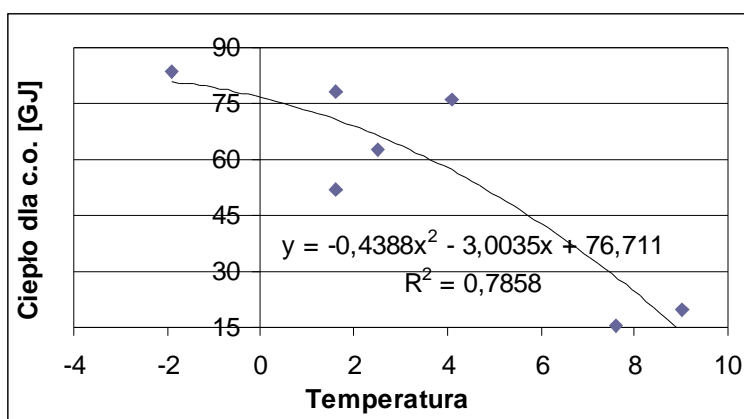
Tabela 8.29: Temperatura otoczenia i ciepło zużyte dla potrzeb c.o. szkoły w sezonie 2007/2008.

Miesiąc	Temperatura °C	Ciepło dla c.o. GJ
paź 07	7,6	15,60
lis 07	1,6	52,11
gru 07	-1,9	83,59
sty 08	1,6	78,41
lut 08	2,5	62,68
mar 08	4,1	76,28
kwi 08	9,0	19,88

Uzyskane rezultaty badań wskazują na silną korelację zużytego ciepła dla c.o. oraz temperatury otoczenia. Przedstawiono je na rysunkach 8.31 i 8.32.



Rys. 8.31: Wykres modelu liniowego dla ciepła dla budynku szkoły.



Rys. 8.32: Wykres modelu wielomianowego dla ciepła dla budynku szkoły.

8.7 Efektywność energetyczna badanego budynku

8.7.1 Ogrzewanie

Znaczący udział potrzeb cieplnych w zapotrzebowaniu energetycznym budynku w polskiej strefie klimatycznej powoduje iż najczęściej są one podstawą do określania jego energochłonności. Służą temu wskaźniki rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania 1m^2 powierzchni lub 1m^3 kubatury. Wyniki obliczeń tych wskaźników dla badanego obiektu zestawiono w tabeli 8.30. Dla sezonu grzewczego 2007/08 wyznaczono wskaźniki netto.

Tabela 8.30: Wartości wskaźników E_A oraz E_V dla potrzeb grzewczych budynku.

Wielkość	OZC	Model	Model „w”	2004-2007	Sezon 2007/08
Netto					
Q [GJ]	923,86	916,02	415,05	396,61	401,64
E_A kWh/m ²	98,22	97,38	44,12	42,16	42,70
E_V kWh/m ³	33,19	32,91	14,91	14,25	14,43
Brutto					
Q [GJ]	350,31	341,15	154,57	137,55	
E_A kWh/m ²	37,24	36,27	16,43	14,62	
E_V kWh/m ³	12,59	12,26	5,55	4,94	

Wobec przedstawionych w rozdziale 2.3 wartości porównawczych, można uznać, iż pod względem potrzeb grzewczych budynek ten jest obiektem energooszczędnym.

8.7.2 Oświetlenie

Efektywność oświetlenia mierzona jest wartością mocy zainstalowanej źródeł światła w odniesieniu do wielkości oświetlanej powierzchni (Tab. 8.31).

Tabela 8.31: Wartości wskaźnika P_{oA} dla oświetlenia budynku.

Wielkość	Wartość	Jedn.
P_o	18080	W
P_{oA}	6,92	W/m ²

Wartości te pozwalają na stwierdzenie że oświetlenie budynku nie odbiega od spotykanych standardów [79].

8.7.3 Struktura zużycia energii w budynku

Punktem odniesienia dla badanego obiektu może być porównanie z obecnym stanem budynków w krajach zachodnioeuropejskich. Dane takie dla budynków użyteczności publicznej przedstawione zostały w opracowaniu [81].

Tabela 8.32: Struktura zużycia energii w budynkach w krajach EU 15 [81] oraz w budynku badanym.

Rodzaj zużycia	UE 15	Model	Model „w”	2004-7
Ogrzewanie i wentylacja	52,0	54,6	36,4	49,6
Przygotowanie c.w.u.	9,0	17,8	26,4	24,4
Gotowanie	5,0	-		-
Oświetlenie	14,0	9,26	13,6	19,5
Chłodzenie	4,0	6,17	14,3	-
Pozostałe urządzenia	16,0	12,17	9,3	6,5

Duży, w porównaniu do danych UE (Tab. 8.32), udział zużycia energii dla c.w.u. wynika z ujęcia w danych UE także budynków użyteczności publicznej, o innym charakterze użytkowania niż szkoły, które charakteryzuje duże zużycie ciepłej wody przez uczniów.

8.8 Certyfikacja energetyczna budynku

Według dyrektywy EPBD (Art. 3) [17], [19], [65], [86] certyfikat energetyczny (świadczenie energetyczne) jest dokumentem zawierającym określenie jakości energetycznej budynku, czyli ilości energii koniecznej dla zaspokojenia potrzeb związanych z jego standardowym użytkowaniem, ujętej za pomocą odpowiednich wskaźników liczbowych.

Dla określenia klasy energetycznej budynku zastosowano metodykę zaproponowaną w pracach [73], [74], [83], [84] opartą na obliczaniu wskaźnika zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynku WZE. Wyraża on jakość badanego obiektu w odniesieniu do obiektu referencyjnego. Budynek referencyjny to obiekt o wymiarach identycznych jak oceniany, spełniający obowiązujące normy oraz przepisy techniczno-budowlane.

Certyfikację badanego obiektu wykonano dla stanu przed i po jego termomodernizacji. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o opracowany model zapotrzebowania energetycznego budynku (rozdział 4). Ze względu na brak odpowiednich wytycznych odnoszących się do chłodzenia, w pracy ograniczono się do ujęcia ogrzewania, c.w.u. i oświetlenia budynku. Na tej podstawie wyznaczono wartość WZE oraz określono klasę energetyczną obiektu.

8.8.1 Wskaźnik charakterystyki energetycznej budynku

Charakterystyka energetyczna budynku jest określana za pomocą klas energetycznych budynku od A do G (Tab. 8.33) przyporządkowanym wartościom wskaźnika WZE. Linia pogrubiona oznacza wartość $WZE = 1$ odpowiadającą obiektowi referencyjnemu.

Tabela 8.33: Klasy energetyczne budynków wg propozycji wymagań polskich, [73], [83].

KLASA	WZE
A	$\leq 0,25$
B	$0,25 < WZE \leq 0,50$
C	$0,50 < WZE \leq 0,75$
D	$0,75 < WZE \leq 1,00$
E	$1,00 < WZE \leq 1,25$
F	$1,25 < WZE \leq 1,50$
G	$> 1,50$

Wskaźnik zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynku WZE oblicza się z zależności [39], [73], [83]:

$$WZE = N_g \cdot f_g + N_w \cdot f_w + N_o \cdot f_o + N_{ch} \cdot f_{ch} \quad (8.1)$$

gdzie:

N – bezwymiarowy wskaźnik charakterystyki energetycznej, odpowiednio dla ogrzewania (g), ciepłej wody (w), oświetlenia (o) i chłodzenia (ch),

f – bezwymiarowe współczynniki udziału ilości energii dla danej potrzeby energetycznej w całkowitym zużyciu energii

oraz:

$$f_g = \frac{\sum_i w_i \cdot E_{gi}}{Q} \quad (8.2)$$

$$f_w = \frac{\sum_i w_i \cdot E_{wi}}{Q} \quad (8.3)$$

$$f_o = \frac{\sum_i w_i \cdot E_{oi}}{Q} \quad (8.4)$$

$$f_{ch} = \frac{\sum_i w_i \cdot E_{chi}}{Q} \quad (8.5)$$

gdzie:

Q – całkowite zużycie energii w budynku, [J],

w – waga zależna od rodzaju nośnika energii, [-],

E_i – zużycie energii w i-tej strefie obliczeń, [J],

i – numer kolejnej strefy obliczeń, [-].

Obiekty bardziej złożone mogą być podzielone na strefy. W odniesieniu do ogrzewania mogą to być strefy temperaturowe, dla oświetlenia – strefy o różnych wartościach wymaganego natężenia oświetlenia, itp.

Każdemu z nośników i surowców energetycznych przyporządkowane są odpowiednie współczynniki wagowe według tabeli 8.34.

Tabela 8.34: Wartości współczynników wagowych, [39], [73], [83].

Nośniki i surowce energetyczne	Waga w
Energia elektryczna	2,5
Biomasa	0,5
Energia słoneczna i geotermalna	0,0
Pozostałe	1,0

Określenie składowej N_g wskaźnika charakterystyki zużycia energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji dokonuje się na podstawie wzoru:

$$N_g = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{gi}}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{gri}} \quad (8.6)$$

gdzie:

E_{gi} – obliczeniowe zapotrzebowanie brutto energii do ogrzewania i wentylacji i-tej strefy budynku, [J],

r – indeksy wielkości w budynku referencyjnym.

Obliczenie składowej N_w wskaźnika charakterystyki zapotrzebowania energii na potrzeby ciepłej wody użytkowej dokonuje się z zależności:

$$N_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{wi}}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{wri}} \quad (8.7)$$

gdzie:

E_{wi} – obliczeniowe zużycie brutto energii dla c.w.u. w i-tej strefie budynku, [J].

Moc instalowana oświetlenia w budynku wynika z wymagań dotyczących wartości strumienia świetlnego na 1m^2 oświetlanej powierzchni. Efektywność zainstalowanego oświetlenia wyrażana jest wartością strumienia świetlnego na 1wat mocy źródła. Zatem składową dotyczącą oświetlenia wnętrza budynku określono jako [79], [80], [83] iloraz średnich ważonych mocy jednostkowej rzeczywistej i referencyjnej w budynku:

$$N_o = \frac{P_{\acute{s}rj}}{P_{\acute{s}rjr}} \quad (8.8)$$

gdzie:

$P_{\acute{s}rj}$ – średnia ważona mocy jednostkowej rzeczywistej oświetlenia, [W/m^2],

$P_{\acute{s}rjr}$ – średnia ważona mocy jednostkowej referencyjnej oświetlenia, [W/m^2],

przy czym:

$$P_{s_{rj}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (8.9)$$

gdzie:

A_i – powierzchnia i-tej strefy budynku, [m²].

oraz:

$$P_{s_{rjr}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ri} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (8.10)$$

Określenie składowej N_{ch} wskaźnika charakterystyki zapotrzebowania na chłód budynku dokonuje się na podstawie wzoru:

$$N_{ch} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{chi}}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot E_{chri}} \quad (8.11)$$

gdzie:

E_{chi} – obliczeniowe zużycie brutto chłodu w i-tej strefie budynku, [J].

8.8.2 Klasa energetyczna budynku

W oparciu o skonstruowany program obliczeniowy opisany w rozdziale 7.1 określono obliczeniowe zapotrzebowanie energii brutto w budynku referencyjnym, budynku przed termomodernizacją i po jej wykonaniu.

Wartości współczynników przenikania przegród budowlanych przyjęto według projektów i danych z audytu energetycznego, a dla obiektu referencyjnego – z obowiązujących przepisów [87]. Przedstawiono je w tabeli 8.35.

W związku z tym że Gródek nad Dunajcem posiada sieć gazową do obliczeń referencyjnych przyjęto kotłownię gazową kondensacyjną o sprawności wytwarzania ciepła [85] 0,95, a dla potrzeb c.w.u. – 0,92. Po modernizacji założono pokrycie 90% potrzeb ciepłych przez pompę ciepła, a pozostałe 10% przez kocioł gazowy i kolektory słoneczne. Wartości mocy oświetlenia dla poszczególnych pomieszczeń, w zależności od ich funkcji, założono zgodnie z zaleceniami normowymi [79], [80].

Efektom termomodernizacji budynku i zastosowania odnawialnych źródeł energii jest zmniejszenie zużycia energii i uzyskanie przez budynek klasy energetycznej C w porównaniu do klasy G przed modernizacją. Obiekt prezentuje zatem dobry standard energetyczny.

Tabela 8.35: Dane budynków badanych oraz rezultaty obliczeń wskaźnika WZE.

Przegrody	Przed modernizacją	Budynek referencyjny	Po modernizacji
Rodzaj przegrody	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Ściany zewnętrzne podłużne i szczytowe	0,65	0,55	0,22
Strop nad ostatnią kondygnacją	1,87	0,50	0,52
Podłoga na gruncie	0,81	0,67	0,40
Okna	1,30	2,30	1,30
Drzwi zewnętrzne	2,00	2,60	2,00
Instalacja c.o.			
Źródło ciepła	Kotłownia węglowa	Kocioł gazowy	Pompa ciepła + kocioł gaz.
Sprawność wytwarzania	0,50	0,95	4,00/0,85
Przesył ciepła	0,95	0,95	1,00
Regulacja	0,87	0,97	0,95
Wykorzystanie	0,95	0,95	0,95
Instalacja c.w.u.			
Źródło ciepła	Kocioł węglowy	Kocioł gazowy	Kocioł gaz.+ kolektory słon.
Sprawność wytwarzania c.w.u.	0,57	0,85	0,85
Sprawność przesyłania c.w.u.	0,95	0,70	0,95
Temperatura wody zimnej [°C]	10	10	10
Temperatura wody cieplej [°C]	60	60	60
Instalacja oświetleniowa			
Moc lamp podstawowych [W]	18080	22054	18080
Moc lamp awaryjnych [W]	240	240	240
Ocena energetyczna budynku			
Wskaźnik WZE	2,60	1,00	0,56
Klasa energetyczna budynku	G	D	C

9 Analiza ekonomiczna przedsięwzięcia ekoenergetycznego

Urząd Gminy w Gródku nad Dunajcem zlecił w 2001 roku Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych AGH przeprowadzenie kompleksowej termomodernizacji budynku szkoły, obejmującej zmniejszenie strat cieplnych budynku przez docieplenie przegród budowlanych oraz podniesienie sprawności wytwarzania ciepła z zamianą źródeł ciepła na ekologicznie czyste, opomiarowanie, automatyzację i komputerowe zarządzanie energią.

9.1 Metodyka obliczeń

Celem określenia efektywności ekonomicznej planowanej inwestycji wykonano jej analizę w oparciu o dane z audytu energetycznego i przetargu publicznego. Analizę oparto na zapisach Ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych [102] dzięki której w Polsce realizowane jest wspieranie finansowe z budżetu państwa tego typu inwestycji.

W niniejszym rozdziale przeprowadzono rezultaty następujących analiz:

- 1) analizę kompleksowej termomodernizacji budynku według standardu określonego Ustawą wraz z wyborem rodzaju źródła ciepła dla obiektu.
- 2) analizę wariantu optymalnego inwestycji wybranego do realizacji za pomocą rachunku przepływów pieniężnych (cash flow),
- 3) analizę kosztów eksploatacyjnych zmodernizowanej kotłowni na podstawie obliczeń teoretycznych oraz pomiarów rzeczywistego zużycia energii w budynku,
- 4) analizę zanieczyszczeń na podstawie przepisów krajowych i wytycznych Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
- 5) analizę finansową i ekologiczną przedsięwzięcia modernizacyjnego za pomocą pakietu obliczeniowego RETScreen® International, wersja 4.0 beta [12].

9.2 Modernizacja energetyczna budynku szkoły

W oparciu o audyt energetyczny szkoły zaproponowano jej termomodernizację, budowlaną obejmującą ocieplenie ścian zewnętrznych, dachu, stropu nad poddaszem, stropu nad piwnicami i podłogi przy gruncie. Dodatkowo przewidziano zamianę systemu grzewczego.

Na wstępie, dla stanu przed i po termomodernizacji budynku, określono (Tab. 9.1.):

- obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku: Q_{co} , [GJ],
- obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło dla przygotowania c.w.u.: Q_{cwu} , [GJ],
- moc kotłowni: P_k , [kW],
- koszt modernizacji (bez kosztów modernizacji kotłowni): K_t , [zł],
- prosty czas zwrotu inwestycji budowlanej SPBT, [lat]
- zdyskontowaną wartość inwestycji NPV dla okresu 10 lat, [zł].

Tabela 9.1: Energetyczne efekty termomodernizacji budowlanej budynku [128], [129].

Wielkość	jedn.	Stan istniejący	Stan po modernizacji
Q_{co}	GJ	1508,8	923,9
Q_{cwu}	GJ	383,3	383,3
Q_{cocwu}	GJ	1892,1	1307,2
P_k	kW	188	137
K_t	zł	-	132734
SPBT	lat		5,17
NPV ₁₀	zł		24880

Dla wyboru rozwiązania docelowego kotłowni przeprowadzono analizę porównawczą różnych źródeł ciepła dla celów c.o. i c.w.u. po pełnej termomodernizacji budynku. Jako odniesienie przyjęto pierwotny projekt ogrzewania budynku. Analizie poddano ogrzewanie:

- gazowe, taryfa W4,
- olejowe,
- węglowe – kotłownia z automatycznym podajnikiem węgla,
- elektryczne, zasilanie wg taryfy C22b, strefa dzienna 50% i nocna 50%,
- pompa ciepła, zasilanie (taryfa C21) + kolektory słoneczne.
- pompa ciepła (taryfa C21) – 90% ciepła + kocioł gazowy (będący w dyspozycji inwestora, taryfa W3) + zestaw kolektorów słonecznych – 10% ciepła.

Dla każdego z nich określono (Tab. 9.2):

- łączne koszty inwestycyjne N , obejmujące modernizację źródła ciepła i pełną termomodernizację budowlaną szkoły,
- roczne koszty eksploatacyjne kotłowni K_k ,
- roczne oszczędności względem stanu istniejącego O_r ,
- koszt jednostkowy ciepła K_{jc} .

Całkowity koszt roczny eksploatacji kotłowni jest równy:

$$K_k = K_{co} + K_{cwu} + K_o + K_r$$

gdzie:

K_{co} – koszt energii dla potrzeb c.o., [zł],

K_{cwu} – koszt energii dla potrzeb przygotowania c.w.u., [zł],

K_o – koszt obsługi kotłowni, [zł],

K_r – koszt remontów, konserwacji, itp., [zł].

Tabela 9.2: Koszty modernizacji kotłowni [zł].

Rodzaj kotłowni	Koszt termomodernizacji budynku K_t	Łączne nakłady inwestycyjne N	Roczne koszty eksploatacyjne K_r	Oszczędności roczne O_r	Koszt jednostkowy ciepła K_{jc}
Przed modernizacją	zł	zł	zł	zł	zł/GJ
Węglowa	-	92000	102727	-	54,29
Po modernizacji					
Gazowa	132734	312734	47284	55443	36,17
Olejowa	132734	313734	55557	47171	42,50
Węglowa	132734	312734	37817	64910	28,93
Elektryczna	132734	307734	125119	-22392	95,72
Pompa ciepła + gaz + kolektory słoneczne	132734	462734	36813	65914	28,16

Właściciel obiektu, realizując inwestycję której zakres określony jest w pierwotnym projekcie uzyska określone zużycie ciepłą w budynku. Natomiast wydatkując dodatkowe środki na modernizację uzyska on oszczędności w zużyciu energii. I te dodatkowe nakłady są rzeczywistymi nakładami inwestycyjnymi przyjętymi do obliczeń. Dla określenia ekonomicznych efektów przedsięwzięcia modernizacyjnego obliczono [30], [31], [32], [90] NPV oraz koszt LCC, dla okresów 5, 10 i 15 lat, a także stopę IRR dla okresu 10 lat. Stopa dyskontowa założona w obliczeniach $i=10\%$. Rezultaty obliczeń zawarto w tabeli 9.3.

Tabela 9.3: Wartość NPV, LCC IRR dla różnych rodzajów źródeł ciepła.

Rodzaj kotłowni	NPV [tys. zł]			LCC [tys. zł]			IRR
	czas [lata]			czas [lata]			%
	5	10	15	5	10	15	10 lat
Przed modernizacją (węglowa)				481,42	723,22	873,35	-
Po modernizacji							
Gazowa	-10,56	119,94	200,97	399,98	511,28	580,38	21,55
Olejowa	-42,92	68,11	137,05	432,34	563,11	644,30	16,75
Węglowa (retortowa)	25,33	178,11	272,98	364,09	453,10	508,38	26,63
Elektryczna	-300,62	-353,32	-386,05	690,04	984,54	1167,40	-
Pompa ciepła + gaz + kol. sł.	-120,87	34,28	130,61	510,28	596,94	650,74	12,11

Z powyższych obliczeń dla inwestora wynikają następujące wnioski:

- Najwyższymi nakładami inwestycyjnymi, a jednocześnie najniższym rocznym kosztem eksploatacji oraz najniższym kosztem jednostkowym wytwarzanego ciepła charakteryzuje się kotłownia hybrydowa z pompą ciepła, kotłem gazowym i kolektorami słonecznymi. Nieco gorsze wartości uzyskano w przypadku kotłowni węglowej.
- W przypadku ogrzewania elektrycznego uzyskano koszty eksploatacji K_r wyższe niż w stanie przed modernizacją, dlatego ten rodzaj ogrzewania uznano za nieopłacalny ekonomicznie w analizowanym obiekcie.

- Z punktu widzenia szybkości zwrotu inwestycji (wartość NPV), jak i całkowitych kosztów eksploatacyjnych LCC, w horyzoncie 5, 10 i 15 letnim najlepszym zastosowaniem są kolejno: kotłownia węglowa retortowa, gazowa i pompa ciepła.
- Dla poszczególnych inwestycji uzyskana wartość wewnętrznej stopy zwrotu IRR liczonej dla okresu 10 lat wskazuje na bezpieczeństwo ekonomiczne sfinansowania inwestycji z kredytu termomodernizacyjnego.

Względy ekologiczne i położenie szkoły na terenie atrakcyjnym turystycznie spowodowało wybór rozwiązania z pompą ciepła, kotłem gazowym i kolektorami słonecznymi. Jego parametry ekonomiczne przedstawiono w tabeli 9.4.

Tabela 9.4: Efekty ekonomiczne pełnej termomodernizacji budynku szkoły.

Wielkość	jedn.	Stan istniejący	Stan po modernizacji
Q_{coccwu}	GJ	1892,1	1307,2
P_k	kW	188	137
K_r	zł/rok	102727	36813
O_r	zł/rok	-	65914
N	zł	92000	462734
N_d	zł	-	370734
K_{jc}	zł/GJ	54,29	28,16
NPV_{10}	zł		34280

9.3 Rachunek przepływów pieniężnych dla przedsięwzięcia modernizacyjnego

Inwestor planuje realizację inwestycji wg zapisów Ustawy [102] w celu uzyskania premii termomodernizacyjnej. Dla określenia wpływu planowanego przedsięwzięcia na budżet inwestora wykonano rachunek przepływów pieniężnych (CF, ang. cash flow) [136] w okresie 15 lat eksploatacji inwestycji. Na wstępie określono wydatki i korzyści finansowe uzyskiwane przez inwestora związanych z realizacją inwestycji. Przyjęto:

- Całkowite nakłady inwestycyjne $N = 462734$ zł,
- Środki własne inwestora na realizację inwestycji zgodnie z pierwotnym projektem przed planowaną modernizacją: 92000 zł.
- Nakłady inwestycyjne dodatkowe ponoszone przez inwestora jednorazowo w roku bazowym (oznaczonym liczbą „0”) na realizację planowanej kompleksowej termomodernizacji budynku i węzła cieplnego: $462734 - 92000 = 370734$ zł.
- Wkład własny inwestora na realizację inwestycji modernizacyjnej wymagany przez bank w wysokości 20% nakładów dodatkowych: $0,2 \cdot 370734 = 74147$ zł.
- Kredyt bankowy: 80% nakładów dodatkowych: 296587 zł.
- Oprocentowanie kredytu zmienne, 10% w skali roku (stopa WIBOR 6M + marża bankowa), okres kredytowania wynosi 5 lat, spłata w ratach miesięcznych, malejących.

- Koszty audytu energetycznego oraz prac przygotowawczych, opracowań, projektów, pozwoleń i in. poniesione przez inwestora w roku bazowym: 15000 zł.
- Premia termomodernizacyjna przekazywana inwestorowi przez bank BGK po wykonaniu modernizacji: 25% kwoty kredytu: 74 147 zł.
- Prowizja pobierana przez BGK w wysokości 0,6% udzielonej premii. Pomniejsza ona wartość premii wypłacanej kredytobiorcy: 445 zł.
- Okres spłaty kredytu od chwili wypłaty premii nie może przekroczyć 10 lat.
- Roczne zmniejszenie kosztów energii i obsługi: 65 914 zł.

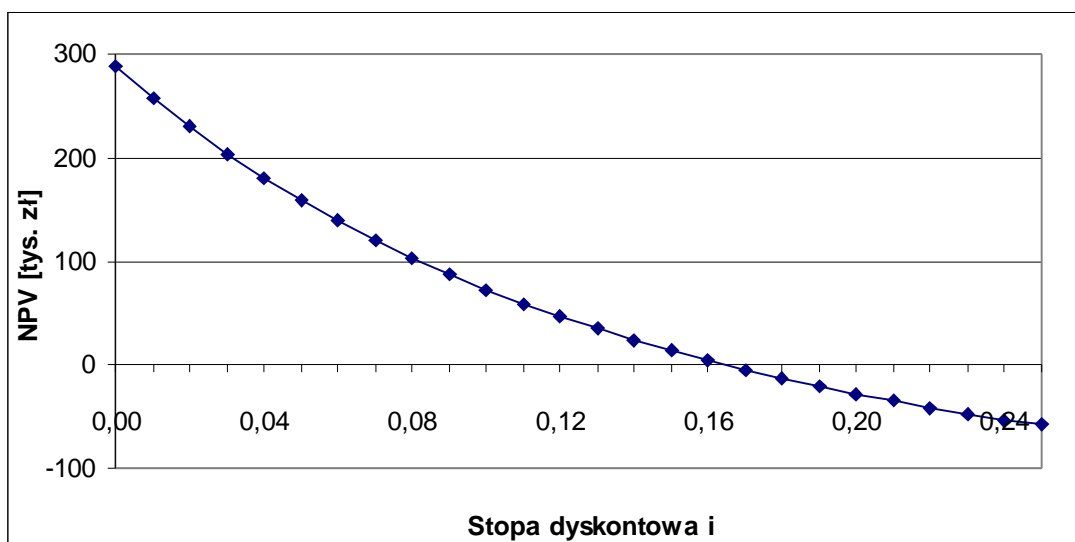
Powyższe założenia obliczeniowe pozwoliły na określenie wartościowe przepływów pieniężnych w kolejnych latach. Ujęto je w tabeli przepływów pieniężnych (Tab. 9.5).

Inwestycja jest wykonana i uruchomiona w roku bazowym (0). W związku z tym, zgodnie z przepisami [57-60], [102], na rachunek inwestora przekazywana jest premia termomodernizacyjna w wysokości 25% kwoty zaciągniętego kredytu. Wynosi ona 74147 zł. Jest ona zaliczana na spłatę zaciągniętego kredytu, zmniejszając pozostałą do spłacenia kwotę.

W pierwszym roku eksploatacji inwestycji pojawiają się korzyści z jej uruchomienia w postaci obniżonych kosztów eksploatacji, obsługi i remontów. Początkowo przepływy pieniężne są ujemne, co wynika głównie z kosztów obsługi kredytu bankowego. W ósmym roku eksploatacji roczne zyski z inwestycji przewyższą poniesione przez inwestora koszty.

Na podstawie danych zawartych w tabeli przepływów pieniężnych wyznaczono podstawowe wskaźniki efektywności ekonomicznej analizowanego przedsięwzięcia z których najważniejsze to SPBT, NPV i IRR.

Dla rozpatrywanej inwestycji SPBT wynosi 68 miesięcy. NPV dla okresu dziesięciu lat wynosi 72736 zł, zaś dla piętnastu lat: 169070 zł. W powyższym przypadku wartość stopy IRR dla 10 lat: 16,44%, dla 15 lat: 20,35%. Dla 10 lat IRR jest większa od założonej stopy dyskontowej o niemal 7 punktów procentowych, i ta wartość wyznacza margines bezpieczeństwa kredytowego dla całego przedsięwzięcia [90], [136]. Wartość NPV dla inwestycji w funkcji stopy dyskontowej przedstawiono na rysunku 9.1.



Rys. 9.1: Wartość bieżąca netto (NPV) inwestycji w funkcji stopy dyskontowej i .

Tabela 9.5: Tabela przepływów pieniężnych dla realizacji modernizacji kotłowni w budynku szkoły.

L.p.	Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Przychody																
	Zmniejszenie kosztów energii		65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914	65 914
	Koszty finansowe (raty odsetkowe)	-26 571	-14284	-10251	-6218	-2185											
	Kredyt bankowy	296 587															
2	Wydatki																
	Dodatkowe nakłady inwestycyjne	-370 734															
	Koszty przygotowawcze	-15000															
	Spłata kredytu - raty kapitałowe	-59317	-40892	-40892	-40892	-40892											
3	Przeptywy pieniężne	-175035	10738	14771	18804	22838	65914	65914	65914	65914	65914	65914	65914	65914	65914	65914	65914
	Skumulowane przepływy pieniężne	-175035	-164 297	-149 526	-130 722	-107 884	-41 970	23 944	89 859	155 773	221 687	287 601	353 515	419 430	485 344	551 258	617 172
	Współczynnik dyskontujący a	1,0000	0,9091	0,8264	0,7513	0,6830	0,6209	0,5645	0,5132	0,4665	0,4241	0,3855	0,3505	0,3186	0,2897	0,2633	0,2394
	Zdyskontowane przepływy a CF	-175035	9762	12208	14128	15598	40928	37207	33824	30749	27954	25413	23103	21002	19093	17357	15779
	Skumulowane zdyskontowane przepływy	-175035	-165273	-153066	-138938	-123339	-82412	-45205	-11381	19369	47323	72736	95838	116841	135934	153291	169070

9.4 Analiza przedsięwzięcia za pomocą pakietu RETScreen 0

Do obliczeń wykorzystano moduł „Przedsięwzięcie energooszczędne” z pakietu obliczeniowego RETScreen® International.

Danymi wejściowymi do programu były parametry fizyczne budynku charakteryzujące jego przegrody, okna i drzwi, oraz parametry instalacji wewnętrznych i urządzeń, a także dane techniczne i czasy użytkowania obiektu, poszczególnych rodzajów źródeł i odbiorników energii w budynku. Ich wartości były identyczne jak w rozdziale 7.1. Do oceny ekonomicznej inwestycji założono wielkości finansowe jak w rozdziale 9.3.

Parametry wejściowe analizy finansowej i jej rezultaty przedstawiono w tabeli 9.6. Wynika z nich ekonomiczna opłacalność realizowanego przedsięwzięcia.

W tabeli 9.7 przedstawiono rezultaty obliczeń energetycznych budynku w stanie przed i po jego modernizacji wraz z określenie kosztów eksploatacyjnych i oszczędności wynikających z realizacji przedsięwzięcia. Do wyznaczenia jednostkowego zapotrzebowania netto energii budynku program ujął ogrzewanie i przygotowanie c.w.u.

Tabela 9.6: Analiza finansowa kompleksowej termomodernizacji szkoły.

Analiza finansowa		
Parametry finansowe		
Stopa inflacji	%	3,0%
Czas trwania projektu	rok	15
Wskaźnik zadłużenia	%	60%
Oprocentowanie zadłużenia	%	8,00%
Okres zadłużenia	rok	5
Koszty początkowe		
Przedsięwzięcia energooszczędne	PLN	370 734
Inne	PLN	15 000
Łączne koszty początkowe	PLN	385 734
Zachęty i granty		
	PLN	73 702
Roczne koszty i spłaty zadłużenia		
EiK (oszczędności) koszt	PLN	-12 914
Koszty paliwa - stan planowany	PLN	29 979
Spłaty zadłużenia - 5 lat	PLN	57 966
Inne	PLN	0
Łączne koszty roczne	PLN	75 030
Roczne oszczędności i przychody		
Koszty paliwa - stan bazowy	PLN	79 360
Inne	PLN	
Łączne roczne oszczędności i przychody	PLN	79 360
Wykonalność finansowa		
IRR przed opodatkowaniem - kapitał	%	31,9%
IRR przed opodatkowaniem - aktywa	%	11,6%
Prosty okres zwrotu	rok	5,0
Zwrot kapitału	rok	5,4

Tabela 9.7: Tabela „Podsumowanie” analizy finansowej termomodernizacji szkoły.

Rodzaj paliwa	Paliwo		Stan bazowy		Stan planowany		Oszczędności kosztów paliwa	
	Zużycie paliwa - jednostka	Cena paliwa	Zużycie paliwa	Koszty paliwa	Zużycie paliwa	Koszty paliwa	Oszczędność paliwa	Oszczędności kosztów paliwa
Energia elektryczna	MWh	PLN 290,000	0,0	-	103,4	PLN 29 979	-103,4	PLN (29 979)
Węgiel	t	PLN 540,000	147,0	PLN 360	0,0	PLN -	147,0	PLN 79 360
Razem				PLN 79 360		PLN 9 979		PLN 49 382
Weryfikacja projektu	Zużycie paliwa - jednostka	Zużycie paliwa - historyczne	Zużycie paliwa Stan bazowy	Zużycie paliwa - zmienność				
Energia elektryczna	MWh		0,0					
Węgiel	t		147,0					
	Ciepło	Chłód	Energia elektryczna	Razem				
Zapotrzebowanie energii	GJ	GJ	GJ	GJ				
Zapotrzebowanie energii - stan bazowy	1 881			1 881				
Zapotrzebowanie energii - stan planowany	1 343			1 343				
Oszczędność energii	537			537				
Oszczędność energii - %	28,6%			28,6%				
Punkt odniesienia								
Jednostka energii	GJ							
Jednostka odniesienia	m²	2 613						
Punkt odniesienia	Ciepło	Chłód	Energia elektryczna	Razem				
Zapotrzebowanie energii	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²				
Zapotrzebowanie energii - stan bazowy	200			200				
Zapotrzebowanie energii - stan planowany	143			143				
Oszczędność energii	57			57				

9.5 Emisja zanieczyszczeń i efekt ekologiczny

Dla określenia wielkości emisji zanieczyszczeń posłużono się wskazaniem Ministerstwa Ochrony Środowiska [114]. Wykorzystano arkusz kalkulacyjny dostępny na stronie internetowej Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku [23], [115] oraz program RETScreen [12].

Przy obliczeniach dotyczących pompy ciepła i ogrzewania elektrycznego przyjęto iż energia elektryczna będzie pochodzić z elektrowni systemowych opalanych węglem katowickim [91]. W tych przypadkach założono iż działają instalacje odsiarczania, a ich efektywność wynosi 80%. W tabeli 9.8 przedstawiono rezultaty obliczeń. Należy przy tym pamiętać iż w miejscu pracy pompy ciepła nie występuje żadna emisja zanieczyszczeń do atmosfery, a wyliczone wartości dotyczą miejsca lokalizacji elektrowni.

Tabela 9.8: Zestawienie wielkości emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych rodzajów źródeł ciepła.

Wielkość	Przed moder.	Po modernizacji				
		Olej	Gaz	Węgiel	Energia elektryczna	Pompa ciepła (en. elektr.)
Rodzaj paliwa	Węgiel					
Zużycie roczne	178,31	34,11	38778	64,54	370,71	90,78
Jednostka	ton/rok	ton/rok	m ³ /rok	ton/rok	MWh	MWh
EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ (ton/rok)						
Pyły	3,566	0,061	0,001	1,291	3,902	0,956
SO ₂	1,712	0,194	0,000	1,031	0,375	0,092
NO _x	0,178	0,171	0,050	0,107	0,195	0,048
CO	8,024	0,020	0,014	4,831	8,780	2,150
CO ₂	356,630	56,274	76,159	214,700	390,221	95,556

W tabeli 9.9 przedstawiono rezultaty obliczeń wykonane programem RETScreen. Uzyskana wielkość redukcji emisji CO₂ odpowiada 133 hektarom lasu wychwytyjącego węgiel (efekt ekologiczny modernizacji), a zatem przedsięwzięcie ma charakter proekologiczny.

Tabela 9.9: Emisja dwutlenku węgla przed i po planowanej modernizacji kotłowni (RETScreen).

Stan bazowy systemu elektroenergetycznego (stan referencyjny)		Emisja GHG (bez PiD)
Kraj - region	Rodzaj paliwa	tCO ₂ /MWh
Polska	Węgiel	0,686
Emisja GHG		
Stan bazowy	tCO ₂	465
Stan planowany	tCO ₂	79
Roczna red. emisji GHG brutto	tCO₂	386

9.6 Rzeczywiste koszty eksploatacyjne zmodernizowanego systemu grzewczego

Na podstawie podanych w rozdziale 7.3 i 7.4 zmierzonych wartości zużycia energii elektrycznej i gazu dla potrzeb c.o. oraz przygotowania c.w.u. określono rzeczywiste koszty eksploatacyjne zmodernizowanej kotłowni dla poziomu cen z roku 2001 i 2007. Do obliczeń przyjęto:

- Średnie zużycie energii elektrycznej dla pompy ciepła 24,05MWh rocznie,
- Średnie roczne zużycie energii elektrycznej dla pomp obiegowych: 7,74 MWh,
- Gaz dla potrzeb c.o. i c.w.u.: 3400 m³,
- Obsługa kotłowni: 1 osoba na ½ etatu, przez cały rok.

Energia elektryczna jest zużywana w taryfie C22b dwustrefowej, wg taryfy dostawcy, tj. spółki ENION S.A., w 40% w strefie dziennej i 60% w nocnej. Gaz ziemny dostarczany jest przez Gazownię Jasielską, według taryfy W3.

Tabela 9.10: Rzeczywiste koszty eksploatacyjne zmodernizowanej kotłowni według cen bieżących.

Składnik kosztów	2001	2007
Energia elektryczna	11 269,86 zł	12 866,07 zł
Gaz ziemny	3 009,28 zł	4 218,82 zł
Obsługa	4 560,00 zł	5 616,00 zł
Remonty i konserwacja	1500,00 zł	2000,00 zł
RAZEM	21 939,14 zł	26 700,89 zł

Wzrost kosztów eksploatacyjnych (Tab. 9.10) w okresie 2001 do 2007 wyniósł 20,85%, w porównaniu do wzrostu cen wg GUS (Dodatek 3) wynoszącego 18,55%. Zatem wzrost cen nośników energii, głównego składnika kosztów eksploatacyjnych, był w analizowanym okresie szybszy niż wartość inflacji.

10 Podsumowanie i wnioski końcowe

10.1 Wnioski poznawcze

W rozprawie przedstawiono metody i wyniki badań zużycia energii dla potrzeb oceny energetycznej budynku użyteczności publicznej. Ocenę tą oparto na określeniu teoretycznego oraz rzeczywistego zapotrzebowania na energię dostarczaną do budynku szkolnego dla pokrycia potrzeb związanych z jego bieżącą eksploatacją. Analizy przeprowadzono dla dwóch poziomów konsumpcji, tj. energii koniecznej do zaspokojenia poszczególnych potrzeb (netto) oraz, po uwzględnieniu sprawności urządzeń i instalacji, dostarczanej do obiektu (brutto). W tym celu wykorzystano cztery metody badawcze, dwie obliczeniowe i dwie pomiarowe.

Tak szerokie podejście do problemu analizy energetycznej budynków z tej grupy nie było dotychczas spotykane. W dostępnych publikacjach [5], [53], [72], [121] zaprezentowano badania dotyczące wybranych potrzeb energetycznych dużych obiektów biurowych. Jedyne w pracy [49] przedstawiono rezultaty kompleksowych i szczegółowych badań pomiarowych zużycia ciepła dla ogrzewania weryfikujących obliczenia komputerowe. Dotyczyły one jednorodzinnego budynku mieszkalnego, a zatem zarówno rodzaj jak i wielkość tego obiektu znacznie różniła się od badanego budynku szkolnego.

Zaproponowana w rozprawie metodyka określania efektywności energetycznej obiektu użyteczności publicznej obejmuje wyznaczenie, dla kolejnych miesięcy w roku, zapotrzebowania na energię dla budynku i zużycia mediów energetycznych dostarczanych do obiektu oraz określenie bilansu jego potrzeb energetycznych. Na tej podstawie obliczane są wskaźniki efektywności energetycznej budynku.

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań można stwierdzić że:

- Najważniejszym elementem zapotrzebowania energetycznego budynku jest jego ogrzewanie. W przypadku obliczeń opartych na modelu zapotrzebowania energetycznego (bez chłodzenia obiektu) obejmuje ono 80,71% potrzeb netto. Dla obniżonego zapotrzebowania na ciepło, przy ograniczonej wentylacji jest to 68,80%, a dla obliczeń na podstawie pomiarów miesięcznych wartość ta wynosi 67,91%.
- Dzięki zastosowaniu w badanym obiekcie jako głównego źródła ciepła pompy ciepła o wysokim współczynniku efektywności, energia dostarczona do budynku (brutto) na potrzeby ogrzewania, pochodząca z konwencjonalnych zasobów energetycznych, jest mniejsza niż obliczeniowe zapotrzebowanie netto. Wynosi ona odpowiednio 341,15GJ, 154,57GJ oraz 143,57GJ. Jest to podstawowy fakt wpływający na wysoką efektywność energetyczną rozpatrywanego budynku szkolnego.

-
- Zastosowanie pompy ciepła dla celów grzewczych budynku znacząco wpłynęło na strukturę zużycia energii elektrycznej w szkole. Według pomiarów miesięcznych pompa ciepła zużywała w ciągu roku średnio 28,43MWh (52,17% całkowitego zużycia energii elektrycznej). Oświetlenie odpowiada za 19,89MWh (36,49%) zużycia, sprzęt elektroniczny – 6,18MWh (11,34%), a pozostałe urządzenia za 4,88MWh (8,96%). Wartości te wskazują na kierunki racjonalnego zarządzania zużyciem energii w budynku, obejmującego odpowiednią organizację zajęć szkolnych tak aby nie ogrzewano pojedynczych pomieszczeń po zakończeniu lekcji w sąsiednich salach, czyszczenie i konserwację opraw oświetleniowych itp.
 - Weryfikacja pomiarowa przeprowadzonych badań symulacyjnych wykazała niższe, niż wyznaczone dla warunków normowych, zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku. Dla obliczeń programem OZC wynosi ono 923,86GJ oraz 916,02GJ dla modelu. Badania pomiarowe prowadzone w okresie 2004-2007 wykazały iż wartość ta jest znacznie mniejsza, i wynosi średnio 396,61GJ, a pomiary systemem ciepłomierzy w sezonie grzewczym 2007/2008 dały wartość 401,64GJ. Najistotniejszy powód tej różnicy to rzeczywisty tryb pracy budynku, który jest w pełni użytkowany przez dziesięć godzin na dobę. Obliczenia symulacyjne dla rzeczywistych warunków pracy dały wartość zapotrzebowania na ciepło w wysokości 415,05GJ.
 - Porównanie rezultatów obliczeń i pomiarów wartości sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku wykazały ich dobrą zgodność. Błąd względny, w odniesieniu do wartości zmierzonych za pomocą ciepłomierzy, nie przekroczył 4%. Większe rozbieżności zanotowano dla rezultatów z poszczególnych miesięcy. Wynikają one głównie z dwóch przyczyn, tj. przyjęcia do obliczeń symulacyjnych temperatur ze stacji pomiarowej IMGW w Nowym Sączu, różniących się od notowanych w miejscu badań, a także z oszczędności wprowadzanych doraźnie przez właściciela obiektu.
 - Energochłonność ogrzewania budynku netto określono wskaźnikiem E_A który wynosi dla warunków normowych 98,22 kWh/m² (OZC) oraz 97,38 kWh/m² (model). Wartość wyznaczona z pomiarów za okres 2004-7 to 42,16 kWh/m². Dla sezonu grzewczego 2007/2008 uzyskano wartość 42,70 kWh/m². Oświetlenie budynku spełnia wymagania obowiązujących norm i jest ono energooszczędne. Badany obiekt poddano certyfikacji energetycznej. Uzyskał on klasę energetyczną C w porównaniu do klasy G przed modernizacją. Powyższe wartości wskazują jednoznacznie iż jest to budynek efektywny energetycznie.
 - Zmierzone zużycie energii elektrycznej i ciepło dla ogrzewania szkoły są silnie uzależnione od wartości temperatury otoczenia. Wartości współczynników determinacji R^2 wyznaczone dla modelu liniowego i wielomianowego zużycia energii elektrycznej wynoszą 0,8704 oraz 0,8869, a dla ciepła na potrzeby grzewcze szkoły:

0,8505 i 0,8974. Rezultaty te wskazują na silną korelację badanych zmiennych zależnych od temperatury otoczenia.

Dla zużycia gazu w szkole uzyskano wartości współczynnika R^2 równe 0,3607 oraz 0,3918, co wskazuje na słabą korelację. Wynika to ze struktury zużycia gazu, który w głównej mierze jest stosowany dla potrzeb c.w.u., w przybliżeniu stałych przez cały rok (z wyjątkiem wakacji i ferii), a szczytowo uzupełnia potrzeby c.o.

- W budynku poddanym termomodernizacji największymi oszczędnościami względem rozwiązania pierwotnego charakteryzuje się zastosowany układ hybrydowy – pompa ciepła + kocioł gazowy + kolektory słoneczne. Wynoszą one 65914zł rocznie. Nieco gorsze parametry posiada nowa kotłownia węglowa (64910zł), jednak ze względów ekologicznych to rozwiązanie było niewskazane dla badanego obiektu. Mniejsze oszczędności daje także rozwiązanie z kotłem gazowym (55443zł) oraz olejowym (47171zł). Nieopłacalne jest zastosowanie ogrzewania elektrycznego.

Jednostkowy koszt ciepła jest również najmniejszy dla kotłowni z pompą ciepła (28,16zł/GJ). Dla kotłowni węglowej wynosi on 28,93zł/GJ, dla gazowej 36,17zł/GJ oraz olejowej 42,50zł/GJ.

Mimo tak korzystnych parametrów, rozwiązanie z pompą ciepła charakteryzuje się najwyższymi kosztami inwestycyjnymi spośród analizowanych wariantów, co w późniejszym okresie wpływa na wartość NPV dla całego przedsięwzięcia modernizacyjnego. Wynosi ona dla 10 lat 34,3tys. zł., a dla kotłowni węglowej 178,11 tys. zł i gazowej 119,39 tys. zł. Wskazuje to na konieczność wspierania tego typu przedsięwzięć ze źródeł zewnętrznych, uzasadnioną zarówno czynnikami środowiskowymi jak i energetycznymi.

- Obliczenia rocznej emisji zanieczyszczeń: CO₂, SO₂, NO_x i pyłów wykazały celowość zastosowania pompy ciepła dla celów grzewczych budynku szkoły. W miejscu zainstalowania urządzenia nie występuje żadna emisja. Ponadto, wytwarzanie energii elektrycznej przez energetykę zawodową jest poddawane coraz ściślejszym rygorom ekologicznym, a rosnący udział elektryczności pochodzącej z wykorzystania źródeł i zasobów odnawialnych powodują iż zastosowanie pomp ciepła jest rozwiązaniem korzystnym z punktu widzenia wpływu na środowisko naturalne [132].

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki badań, należy uznać iż **zakreślony cel pracy został osiągnięty, a tezy rozprawy udowodnione.**

Zaproponowana metodyka oceny energetycznej budynku może być stosowana szczególnie przez właścicieli obiektów lub osoby odpowiedzialne za gospodarkę energetyczną.

10.2 Wnioski praktyczne

- W pracy przeprowadzono wszechstronną analizę zużycia energii w budynku szkolnym. Zaprezentowano cztery różne metody badań, a dla każdej z nich przedstawiono metodykę obliczeń i zakres możliwych do wykonania analiz. Dają one właścicielowi budynku, w zależności od posiadanych przez niego danych, możliwość określenia wielkości obliczeniowego lub rzeczywistego zużycia energii i wyznaczenia jej kosztów.
- Przedstawiono zastosowanie miesięcznych rozliczenia z dostawcami energii do budynku dla przeprowadzenia analizy energetycznej obiektu. Wykazała ona dobrą dokładność przeprowadzonych obliczeń sezonowego zapotrzebowania na ciepło oraz zużycia mediów energetycznych dla poszczególnych potrzeb w budynku. Jest to istotne, ponieważ dane te są dla każdego właściciela obiektu podstawowym, dokładnym oraz wiarygodnym źródłem danych pomiarowych. Z przeprowadzonych badań wynika iż ich zastosowanie do określenia bilansu potrzeb energetycznych budynku jest uwarunkowane stopniem złożoności budynku. Dla obiektów złożonych, takich jak badana szkoła, należy jednak zastosować dodatkowe przyrządy pomiarowe, co podnosi dokładność prowadzonych badań.
- Najistotniejszym osiągnięciem praktycznym pracy jest opracowanie i budowa systemu komputerowego opomiarowania energetycznego budynku. Obejmuje on obecnie pomiary ciepła w węźle cieplnym, i będzie rozbudowywany o zużycie energii elektrycznej i gazu (w porozumieniu z dostawcami). System ten jest zainstalowany na stałe w szkole. Pozwalając na śledzenie zużycia energii w budynku umożliwi weryfikację obliczeń symulacyjnych i określenie jego bilansu potrzeb energetycznych, a także prowadzenie badań dotyczących praktycznego wykorzystania odnawialnych zasobów i źródeł energii w budownictwie. Komputerowa wizualizacja rezultatów pomiarowych będzie dostępna dla użytkowników szkoły i przez internet, co ma zarówno znaczenie praktyczne (bieżący nadzór) oraz edukacyjne.
- Opracowano model matematyczny zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej z uwzględnieniem występujących w nim potrzeb energetycznych, takich jak: ogrzewanie, chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, oświetlenie, zasilanie sprzętu elektronicznego oraz zasilanie pomp obiegowych i urządzeń wentylacyjnych w instalacji grzewczo-klimatyzacyjnej. W modelu uwzględniono energię ze źródeł i zasobów kopalnych (węgiel, gaz ziemny, olej opałowy) i odnawialnych (biomasa, energia słoneczna, pompy ciepła). Energia elektryczna, gaz i inne media dostarczane do obiektu mogą być rozliczane według różnych dostępnych na rynku taryf, co może obniżyć koszty eksploatacyjne obiektu oraz poprawiać ogólny stan wykorzystania energii w szerszej skali – np. kraju (energia elektryczna zużywana w strefie pozaszczytowej – nocnej). Pozwala to także na określenie kosztów dla różnych wariantów rozliczeń.

-
- Wykorzystano opracowany model dla jego komputerowej implementacji. Dzięki temu możliwe było określenie ilościowe wszystkich potrzeb energetycznych budynku w skali roku dla poszczególnych miesięcy, wyznaczenie wskaźników energetycznych oraz określenie klasy energetycznej analizowanego budynku w odniesieniu do obiektu referencyjnego.
 - Weryfikacja pomiarowa modelu która wykazała niższe od obliczeniowego – normowego, zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku w związku z jego okresowym charakterem pracy. Ponowne obliczenia, zgodnie z jego aktualnymi warunkami użytkowania, potwierdziły zgodność obliczeń wykonanych w oparciu o model i rezultatów uzyskanych na podstawie miesięcznych rozliczeń energii.
 - Przeprowadzono analizę ekonomiczną zastosowania różnego rodzaju źródeł ciepła dla szkoły oraz zrealizowanej inwestycji termomodernizacyjnej budynku szkoły. Wynika z niej, iż mimo relatywnie wysokich kosztów inwestycyjnych instalacji z pompą ciepła i kolektorami słonecznymi, jest to przedsięwzięcie opłacalne ekonomicznie.
 - Efektywność energetyczna zastosowanego rozwiązania kotłowni z pompą ciepła odniesiona do rozwiązania pierwotnie projektowanego, z niskosprawną kotłownią węglową, liczona dla dostarczonej energii brutto paliwa, jest ponad dziesięciokrotnie większa. Uzyskanie tak znacznego spadku zapotrzebowania na energię paliwa wskazuje na duże potencjalne możliwości oszczędności energii w tego typu obiektach.
 - Wykorzystanie lokalnie dostępnych odnawialnych zasobów energii ma zarówno pozytywne następstwa energetyczne jak i ekologiczne [56]. Doświadczenia innych autorów [50] wskazują że ich zastosowanie może znacząco wpłynąć na redukcję zużycia nieodnawialnych zasobów energetycznych, zapewniając utrzymanie komfortu użytkowania budynku na wymaganym poziomie.
 - Zaproponowana metodyka oceny energetycznej budynku może być stosowana szczególnie przez właścicieli obiektów lub osoby odpowiedzialne za gospodarkę energetyczną na różnych szczeblach administracji samorządowej. Przedstawienie czterech różnych metod określania zużycia energii w budynku umożliwia wybór jednej lub kilku z nich w zależności od potrzeb, dostępnych danych, czy też możliwości technicznych potencjalnie zainteresowanych osób. Proponowana metodyka oceny może być stosowana dla różnego rodzaju obiektów użyteczności publicznej, niezależnie od ich potrzeb energetycznych, ilości i rodzaju zużywanych nośników energii. Oczywiście, dla pewnych zastosowań, np. skomplikowanych dużych obiektów, może być konieczne zastosowanie bardziej rozbudowanych narzędzi obliczeniowych lub systemów pomiarowych. Niemniej, zasady postępowania pozostają te same.

10.3 Proponowane kierunki badań

Podstawowym kierunkiem dalszych prac będzie rozpoczęta i kontynuowana rozbudowa systemu monitoringu energetycznego budynku, tak aby oprócz węzła cieplnego pomiarami objąć cały obiekt. Dzięki temu wyodrębnione zostanie zużycie energii elektrycznej dla potrzeb:

- oświetlenia i sprzętu elektronicznego,
- sali gimnastycznej,
- pompy ciepła,
- urządzeń wentylacyjnych, klimatyzacyjnych i pomp obiegowych instalacji grzewczej.

Dodatkowo planowane jest uruchomienie podsystemu pomiaru parametrów klimatu, takich jak temperatura otoczenia (na różnych wysokościach), nasłonecznienie, itp. Dla celów planowanego systemu sterowania systemem grzewczo-wentylacyjnym zaplanowano pomiar temperatury pomieszczeń i parametrów pracy urządzeń wentylacyjnych. Pozwoli to na pełną i szczegółową weryfikację pomiarową obliczeń wykonanych na podstawie modelu matematycznego zapotrzebowania energetycznego obiektu użyteczności publicznej, a także na określenie efektywności energetycznej wykorzystania poszczególnych źródeł ciepła i sposobu ich wykorzystania dla optymalizacji kosztów pracy kotłowni.

Powyższe działania umożliwią także rozszerzenie profilu prowadzonych prac naukowych o badania pompy ciepła i kolektorów słonecznych. Uzyskane rezultaty uzupełnione doświadczeniami eksploatacyjnymi z rzeczywistego obiektu będą cennymi informacjami dla planujących tego rodzaju inwestycje. Wynikają z tego wnioski praktyczne dla innego rodzaju obiektów użyteczności publicznej, których koszty eksploatacyjne ponoszone są głównie przez lokalne samorzady. Minimalizacja tych kosztów jest zatem ważnym zadaniem o wymiernych efektach dla budżetu zarówno w skali poszczególnych miast i gmin [55], jak i całego kraju.

11 Bibliografia

1. Amanti S. T.: *Potential Energy Savings on the MIT Campus*, Submitted to the Department of Mechanical Engineering on May 12, 2006 in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering.
2. Bartkiewicz P., Heim D.: *Symulacje energetyczne w praktyce projektowej*, Rynek Instalacyjny, listopad 2005.
3. Bartkiewicz P.: *Specyfika symulacji zużycia energii w nowoczesnych budynkach biurowych w Polsce*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 2007.
4. Butala V., Novak P.: *Energy consumption and potential energy savings in old school buildings*, Energy and Buildings, Nr 29 1999 241–246
5. Carriere M., Schoenau G.J., Besant R.W.: *Investigation of some large building energy conservation opportunities using the DOE-2 model*, Energy Conversion & Management 40 (1999) 861-872.
6. *Centrale klimatyzacyjne CV-A*, Dokumentacja techniczno – ruchowa, DTR-CVA-ver. 2 (03.2005), VTS-CLIMA. www.vtsclima.com
7. Chow S., Ganji A.R., Hackett B., Parkin P., Fetters A.: *Energy Assessment of Selected schools in Anchorage School District*, 26th World Energy Engineering Congress, Atlanta Georgia, November 12-14, 2003.
8. Chudzicki J.: *Instalacje ciepłej wody w budynkach*, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa-Poznań, 2006.
9. Chudzicki J.: *Ocena energetyczna instalacji ciepłej wody*, Materiały Budowlane, Nr 1/2006.
10. *Ciepłomierze LQM-III..., CQM-III-K, LEC5 – Karta katalogowa*, APATOR-KFAP Sp. z o.o., Kraków.
11. Citherlet S., Hand J.: *Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program*, Building and Environment 37 (2002) 845 – 856
12. *Clean Energy Project Analysis: RETScreen® Engineering & Cases Textbook*, Third Edition, September 2005, Minister of Natural Resources Canada 2001-2005.
13. *Compact Air. Pokojowa centrala wentylacyjna*, PM-LUFT LEVACO.
14. Crawley D. B., Hand J. W., Kummert M., Griffith B. T.: *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*, Version 1.0, July 2005, www.eere.energy.gov

-
15. Czekański D., Obstawski P.: *Wydajność hybrydowego systemu pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych w warunkach eksploatacyjnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja, Nr 2/2006.
 16. Desideri U., Proietti S.: *Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy*, Energy and Buildings, 34/2002, pp. 1003-1016.
 17. *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*, 4.1.2003 L 1/65 Official Journal of the European Communities EN.
 18. Dunn G.N., Knight I.P.: *Evaluation of Heat Gains in UK Office Environments*, Worldwide CIBSE/ASHRAE Gathering of the Building Services Industry, Edinburgh, 24-26 September 2003.
 19. *Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków*.
 20. *Energia promieniowania słonecznego oszczędza koszty ogrzewania*, Seria fachowa Energetyka słoneczna, Viessmann, P200 01 PL 09/2004, www.viessmann.pl
 21. *Explanation of the general relationship between various CEN standards and EPBD*, CEN/BT WG 173 EPBD N 15 rev, "Umbrella document", European Committee for Standardization, Brussels, October, 2004.
 22. Ferdyn-Grygierek J.: *Efektywność energetyczna ogrzewania i wentylacji modernizowanych budynków szkół*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, Nr 10/2005.
 23. *Formularz EFEKTY-II. Planowany efekt ekologiczny – zadanie z dziedziny ochrony powietrza*, Wzór formularza stanowiący załącznik do wniosku o dofinansowanie zadania z dziedziny ochrony powietrza, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku, www.wfosigw-gda.pl
 24. Gawin D., Kossecka E.: *Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach*, Łódź, 2002.
 25. Gawin D.: *Komputerowa fizyka budowli: komputerowa symulacja procesów wymiany masy i energii w budynku, przykłady zastosowań*, Wydaw. Politechniki Łódzkiej, Łódź, 1998.
 26. Gaziński B. (red.): *Technika klimatyzacyjna dla praktyków: komfort cieplny, zasady obliczeń i urządzenia*, Systherm Serwis, 2005, Poznań.
 27. Gomes Martins A., Amaral P., Marques P.: *Barriers to energy efficiency in school buildings, Technical and policy issues: a case-study in Portugal*, Further than ever from Kyoto? Rethinking energy efficiency can get us there, ECEEE 2001 Summer Study, 11–16 June, Mandelieu, France.
 28. Górecki E., Mizerski A.: *Ocena energochłonności ogrzewania budynków użyteczności publicznej*, Materiały Budowlane 3/1996.
 29. Greń J.: *Statystyka matematyczna. Modele i zadania.*, PWN, Warszawa, 1984.

-
30. Gumuła S., Pytel K.: *Wpływ zmian cen energii, wysokości stopy dyskontowej i sposobów finansowania na przedsięwzięcie ekoenergetyczne na przykładzie elektrowni wiatrowych*, *Górnictwo*, 2002, R. 26, z. 4, s. 265–271.
 31. Gumuła S., Pytel K.: *Wybrane aspekty ekonomiczne inwestowania w przedsięwzięcie ekoenergetyczne na przykładzie elektrowni wiatrowych* *Górnictwo*, 2002, R. 26, z. 4, s. 259–264.
 32. Gumuła S., Pytel K.: *Wybrane metody oceny efektywności ekonomicznej inwestowania w energetykę wiatrową*, W: IX ogólnopolskie forum odnawialnych źródeł energii : konferencja naukowo-techniczna: Zakopane–Kościelisko 21–23 maja 2003, Kraków: Wydawnictwa AGH, 2003, S. 281–287.
 33. Gutkowski K. M.: *Chłodnictwo i klimatyzacja*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa, 2003.
 34. *Instrukcja obsługi ciepłomierza LEC 5*, KFAP Sp. z o.o., Kraków, 2004.
 35. Janssen R.: *Towards Energy Efficient Buildings in Europe. Final Report*, European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings, London, 2004.
 36. Jędrzejuk H.: *Optymalizacja osiedli mieszkaniowych*, Polska Akademia Nauk. Instytut Podstawowych Problemów Techniki. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Warszawa, IPPT PAN, Seria Studia z Zakresu Inżynierii, nr 54, 2006.
 37. Jones W. P.: *Klimatyzacja*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2001.
 38. *Kolektory słoneczne – poradnik projektanta*, Akademia Viessmann w Polsce, Wydanie I, Marzec 2006.
 39. Korohoda I. (red.): *Zarządzanie energią w budynkach szkolnych: etykiety energetyczne – poradnik*, Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć "Energie Cités", Kraków, 2006.
 40. Kotarska K., Kotarski Z.: *Ogrzewanie energią słoneczną: systemy pasywne*, Warszawa, Wyd. NOT-SIGMA, 1989.
 41. Krarti M.: *Energy Audit of Building Systems. An Engineering Approach*, CRC Press LCC, Boca Raton – London – New York – Washington D.C., 2000.
 42. Laskowski L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2005.
 43. *Liczniki indukcyjne energii elektrycznej prądu trójfazowego C52, B52 – Karta katalogowa*, Fabryka Aparatury Pomiarowej – Pafal S.A., Świdnica.
 44. Lis P., Nowak W.: *Zużycie ciepła a obliczone zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynków edukacyjnych*, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja*, Nr 1/2006.
 45. Lis P., Śliwowski L.: *Wskaźnikowa ocena energochłonności ogrzewania budynku*, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja*, Nr 1/2003.
 46. Lis P.: *Analiza teoretycznych i rzeczywistych uwarunkowań ogrzewania budynków szkół*, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja*, Nr 6/2004.

-
47. Lis P.: *Zużycie ciepła do ogrzewania w aspekcie budynków edukacyjnych*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja, Nr 5/2006.
 48. Magiera J.: *Efficiency of Solar Collectors and Air Heat Pump under Real Conditions*, Polish Journal of Environmental Studies, 2004, Vol. 13.
 49. Magiera J., Głuszek A., Wojtaś K., Turoń M.: *Obliczenie strat cieplnych dla obiektu mieszkalnego i ich doświadczalna weryfikacja*, Inżynieria i aparatura chemiczna, 2006, Nr 6, s. 16-20.
 50. Magiera J., Wojtaś K., Turoń M.: *Renewable sources of energy for house heating and usable warm water production*, Environment Protection Engineering, Vol. 32, No. 1, 2006.
 51. Malicki M.: *Wentylacja i klimatyzacja*, PWN, Warszawa, 1974.
 52. Marks W., Owczarek S.: *Optymalizacja wielokryterialna budynków energooszczędnych*, Polska Akademia Nauk. Instytut Podstawowych Problemów Techniki. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Warszawa, IPPT PAN, Seria Studia z Zakresu Inżynierii, nr 46, 1999.
 53. Mathews E.H., Arndt D., Geysler M.F.: *Reducing the energy consumption of a conference centre – a case study using software*, Building and Environment 37 (2002) 437–444.
 54. Meier A., Olofsson T., Lamberts R.: *What Is an Energy-Efficient Building?*, Proceedings of the ENTAC 2002 - IX Meeting of Technology in the Built Environment, Foz do Iguaçu, Brazil.
 55. Michalak P.: *Gminna energetyka w Rudzie Malenieckiej*, Aura, 2003, nr 9, s.28-29.
 56. Michalak P.: *Autonomiczne elektrownie słoneczno-wiatrowe: hybrydy*, Energia–Gigawat, 2005, Nr 3, s.56-57.
 57. Michalak P.: *Termomodernizacja dla samorządów : sześć lat funkcjonowania ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych*, Przegląd Komunalny : Gospodarka Komunalna i Ochrona Środowiska, 2005, Nr 9, s. 64-65.
 58. Michalak P.: *Kredyty bankowe : finansowanie przedsięwzięć termomodernizacyjnych*, Przegląd Komunalny : Gospodarka Komunalna i Ochrona Środowiska, nr 5/2006, s.72-74.
 59. Michalak P.: *Analiza finansowania inwestycji termomodernizacyjnych za pomocą kredytów bankowych*, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, nr 7-8/2006, s.32-36.
 60. Michalak P.: *Kredyty termomodernizacyjne w działalności zarządców nieruchomości*. Cz. 1, Administrator, 2007, Nr 1, s.22-24, Cz. II, Administrator, 2007, nr 2, s. 18-22.
 61. Mika M.: *Termo Danfoss 2.0 – pakiet programowy do obliczeń instalacji centralnego ogrzewania*, Polski Instalator, Nr 6/1999, ss. 50-51.
 62. Narowski P., Panek A.: *Świadectwo energetyczne budynku Komisji Europejskiej z trigeneracją energii*, Materiały Budowlane, Nr 2/2006.

-
63. Narowski P.: *Określenie sprawności instalacji i systemów ogrzewania. Przegląd projektów norm i wersji roboczych*, Forum Termomodernizacja 2006, 27 luty 2006, Warszawa.
 64. Norwisz J. (red.): *Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska: poradnik dla audytorów energetycznych, inspektorów środowiska, projektantów oraz zarządców budynków i obiektów budowlanych*, Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Gliwice, 2004.
 65. Norwisz J., Panek A.: *Wprowadzenie w Polsce Dyrektywy 2002/91/EU w sprawie jakości energetycznej budynków*, W: Wentylacja, klimatyzacja, ogrzewnictwo, zdrowie: materiały XV ogólnopolskiej konferencji naukowo-technicznej: Zakopane–Kościelisko, 2–4 czerwca 2004 r., Wydawnictwo PZITS, Kraków, 2004., ss. 383–392.
 66. Nowak B., Bartnicki G.: *Pompy obiegowe w systemach ogrzewczych*, Polski Instalator, Nr 12/2005.
 67. Nowak B.: *Energetycznie efektywne budownictwo*, Rynek Instalacyjny, Nr 10, 2007.
 68. *Objective methodology for simple calculation of the energy delivery of (small) Solar Thermal systems*, European Solar Thermal Industry Federation, 30/08/2007 www.estif.org
 69. Olofsson T., Meier A. Lamberts R.: *Rating the Energy Performance of Buildings*, The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings Vol. 3. 2004.
 70. Önüt S., Soner S.: *Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey*, Energy and Buildings 38 (2006) 964–971.
 71. Owczarek S.: *Optymalizacja kształtu budynków energooszczędnych o podstawie wieloboku*, Warszawa, Instytut Kształcenia Ekonomicznego, 1992.
 72. Pan Y., Huang Z., Wu G., Chen C.: *The Application of Building Energy Simulation and Calibration in Two High-Rise Commercial Buildings in Shanghai*,
 73. Panek A., Robakiewicz M., Jędrzejuk J.: *Metoda określania charakterystyki energetycznej budynków*, Materiały Budowlane, Nr 1/2006,
 74. Panek A.: *Określenie charakterystyki energetycznej budynków*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja, Nr 7-8/2006.
 75. Papamarcou M., Kalogirou S.: *Financial appraisal of a combined heat and power system for a hotel in Cyprus*, Energy Conversion and Management 42 (2001) 689-708
 76. Pfafferott J., Herkel S., Wambsganß M.: *Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation*, Energy and Buildings 36 (2004), pp. 455–465.
 77. Piotrowska-Woroniak J., Woroniak G.: *Modernizacja instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej w termomodernizowanych obiektach użyteczności publicznej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja, Nr 1/2005.

-
78. *Pompy ciepła – poradnik projektanta*, Akademia Viessmann w Polsce, Wydanie I, Marzec 2006.
 79. Pracki P.: *Aspekty energetyczne oświetlenia wewnątrz budynków użyteczności publicznej*, Materiały Budowlane, Nr 1/2006.
 80. Pracki P.: *Obliczenie zapotrzebowania na energię na potrzeby oświetlenia*, Forum Termomodernizacja 2006, 27 luty 2006, Warszawa.
 81. *Proposals for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings*, Brussels, 11.5.2001 COM (2001) 226 final.
 82. Przydróżny E., Schwitalla A.: *Zapotrzebowanie energii do całorocznej eksploatacji wentylatorów w układzie ze zmiennym strumieniem powietrza*, Chłodnictwo i Klimatyzacja, Nr 8/2003.
 83. *Racjonalne użytkowanie energii w budynkach - w świetle obowiązujących przepisów UE*, Wyd.: Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych, Polski Komitet Naukowo-Techniczny FSNT-NOT Gospodarki Energetycznej, Warszawa, 2006.
 84. Robakiewicz M., Panek A., Jędrzejuk J.: *Metoda określania charakterystyki energetycznej budynków*, Materiały Budowlane, Nr 1/2006.
 85. Robakiewicz M.: *Ocena cech energetycznych budynków*, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Warszawa, 2005.
 86. Robakiewicz M.: *System oceny energetycznej budynków - wprowadzone w Polsce przepisy Unii Europejskiej*, Czysta Energia, Nr 5/2005.
 87. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.*, Dz. U. z dnia 15 czerwca 2002 r.
 88. Sarosiek W., Świącicki A.: *Termomodernizacja grupy szkół – efekty energetyczne i finansowe*, XVII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna na temat Ekologiczne i Energooszczędne Budownictwo oraz Mieszkalnictwo Wojskowe : Zakopane, 3-5 września 2003 r., Wojskowa Akademia Techniczna przy współpr. Ministra Infrastruktury.
 89. *Solarrol. Control units for solar heating systems. Technical Data Manual. 04/01.* Viessmann.
 90. Solińska M., Soliński I.: *Efektywność ekonomiczna proekologicznych inwestycji rozwojowych w energetyce odnawialnej*, Kraków, Wydawnictwa AGH, 2003.
 91. Soliński I.: *Pompy ciepła : energia – ekologia – ekonomia*, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z lampką górniczą nr 15, Kraków, 2002.
 92. Sowa J.: *Kontrolowanie jakości powietrza wewnętrznego z wykorzystaniem wentylacji okresowej*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, Nr 5/2006.

-
93. Strączyński A.: *Wentylacja pomieszczeń piwnicy w Gimnazjum Centralnym w Gródku nad Dunajcem*, Dokumentacja projektowa, Firma Inżynieryjna GRAS, Kraków, 2002.
 94. *Strategia Ekoenergetyczna Powiatu Lidzbarskiego*, Starostwo Powiatowe w Lidzbarku Warmińskim, Lidzbark Warmiński, czerwiec 2002.
 95. Strzeszewski M.: *Określanie zapotrzebowania na ciepło do wentylacji w przypadku stosowania odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, bez nagrzewnic powietrza*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2003.
 96. *Taryfa dla energii elektrycznej ENION S.A. z siedzibą w Krakowie*, 2007.
 97. *Taryfa dla energii elektrycznej obowiązująca odbiorców obsługiwanych przez Zakład Energetyczny Kraków S.A. z siedzibą w Krakowie*, Biuletyn branżowy URE –Energia elektryczna, Nr 36/2001.
 98. *Taryfa dla paliw gazowych Nr 1/2000 obowiązująca odbiorców obsługiwanych przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A.*, Warszawa, 2000, Biuletyn branżowy URE – Paliwa gazowe, Nr 1/2000.
 99. Torcellini P., Long N., Pless S., Judkoff R.: *Evaluation of the Low-Energy Design and Energy Performance of the Zion National Park Visitors Center*, February 2005, NREL/TP-550-34607
 100. *Trójfazowy elektroniczny licznik energii elektrycznej czynnej i biernej EC9 EB9*, Karta katalogowa, Fabryka Aparatury Pomiarowej – Pafal S.A., Świdnica.
 101. Turner W. C.: *Energy management handbook*, Lilburn: Fairmont Press, New York, 2005.
 102. *Ustawa z dnia 18 grudnia 1998 r. o Wspieraniu Przedsięwzięć Termomodernizacyjnych*, Dz. U. 1998, Nr 162, p. 1121 z późniejszymi zmianami.
 103. *Vitocal – ogrzewanie ciepłem z natury*, Seria fachowa Pompy ciepła, P208 01 PL 06/2006
 104. *Vitocal 300, Varmepumpe 39,6 bis 106,8kW, Datenblatt*, 5811 271-3 3/2006
 105. *Vitocal 300. Typ AW, BW i WW z regulatorem CD 60. Instrukcja obsługi dla użytkownika instalacji*. Viessmann, 5594434 PL, 8/2002.
 106. *Vitocal 300/350 Heat pump systems. Technical guide*, 5822-122-6 GB, 5/2004.
 107. *Vitocal 300/350. Systemy pomp ciepła. Wytyczne projektowe*. 5824 122-7 PL, 5/2005.
 108. *Vitocell 050. Podgrzewacz magazynujący ciepłą wodę grzewczą. 200, 600 i 900 litrów pojemności*, 5811 839-2, 4/2003PL. 5824 145 PL, 5/2004.
 109. *Vitocell 333. Zasobnik buforowy wody grzewczej z podgrzewem wody użytkowej. Pojemność 750 litrów. Dane techniczne*. 5824 174 PL, 7/99.
 110. *Vitocell-VI100. Pionowy podgrzewacz pojemnościowy 160 do 1000 litrów pojemności. Dane techniczne*. 5824 159-4 PL, 4/2003.

-
111. Vitosol 100, Kolektory płaskie do wykorzystania energii słonecznej. Moduły o powierzchni absorbera 2,5 lub 4,83 m². Dane techniczne. Viessmann. 4/2003.
112. Węglarz A.: Dyrektywa w sprawie efektywności końcowego użytkowania energii oraz usług energetycznych i jej znaczenie dla budownictwa, Forum Termomodernizacja 2006, 27 luty 2006, Warszawa.
113. Wesolowski M.: Metody szacowania ilości energii napromieniowanej na poziomą powierzchnię Ziemi, Część I, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 7-8/2006. Część II, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 9/2006.
114. Wskazówki dla wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza, Ministerstwo Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 2003
115. Wskazówki do obliczeń do formularza EFEKTY-II, Szacunkowe wartości emisji w zależności od rodzaju spalanego opału, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku, www.wfosigw-gda.pl
116. Yik, F. W. H., Burnett, J., Jones, P., Lee, W. L. (1998). Energy performance criteria in the Hong Kong Building Assessment Method, Energy and Buildings Journal, Issue 27. p. 212.
117. Żarski K.: Średnioroczny współczynnik efektywności z pompy ciepła z poziomym wymiennikiem gruntowym, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, Nr 2/2005.
118. Zawada B.: Porównanie zużycia energii elektrycznej wymaganej do napędu wentylatora w systemach wentylacji ze stałą i zmienną ilością powietrza (1), Chłodnictwo i Klimatyzacja, 2001, nr 9; (2), Chłodnictwo i Klimatyzacja, 2001, Nr 10.
119. Zawila T., Barczuk M.: Gimnazjum centralne w Gródku nad Dunajcem, Instalacje elektryczne, Projekt techniczny, ARCONEX, Kraków, 2001.
120. Zbiorniki i pojemnościowe wymienniki ciepła WP, Secespol, www.secespol.pl
121. Zhu Y.: Applying computer-based simulation to energy auditing: A case study, Energy and Buildings 38 (2006) 421–428
122. Ziębik A.: System analysis in thermal engineering, Archives of Thermodynamics, Vol. 17, 1996, No 3-4.
123. Ziębik A.: System approach to the rationalization of industrial energy plants, Archiwum Energetyki, Nr 1-2, 1997.
124. Ziemiński J., Gębski L.: Sieć technologiczna wod-kan instalacji ogrzewania budynku Gimnazjum pompą ciepła, Projekt budowlano – wykonawczy, ARCONEX, Kraków, 2001.
125. Ziemiński J., Gładysz K.: Zasilanie energetyczne pompy wodnej. Sieć technologiczna wod-kan instalacji ogrzewania Budynku Gimnazjum pompą ciepła, Projekt budowlano-wykonawczy, ARCONEX, Kraków, 2001.
126. Ziemiński J., Kubiński A.: Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła, Szkoła
-

-
- Gimnazjum (w budowie), Projekt budowlano-wykonawczy, ARCONEX, Kraków, 2001.*
127. Ziemiński J.: *Węzeł cieplny i instalacje grzewczo – klimatyzacyjne. Projekt techniczno – wykonawczy, dokumentacja powykonawcza. ARCONEX, Kraków, lipiec 2001.*
128. Zimny J., Fiszer T.: *Audyt energetyczny Szkoły gimnazjum (w budowie) w Gródku nad Dunajcem, Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Kraków, 2001.*
129. Zimny J., Fiszer T.: *Nowoczesne systemy grzewcze z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii – na przykładzie Gimnazjum Centralnego w Gródku nad Dunajcem, IX Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii: konferencja naukowo-techniczna: Zakopane–Kościelisko 21–23 maja 2003, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2003.*
130. Zimny J., Helak D.: *Opis automatycznego systemu przełączania instalacji poboru ciepła z wody Jeziora Rożnowskiego oraz z gruntu – propozycja rozszerzenia istniejącego systemu, Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych, AGH, 2002.*
131. Zimny J., Michalak P.: *Analiza zużycia energii przez budynek szkolny po termomodernizacji z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii: pierwsze doświadczenia eksploatacyjne, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2006, nr 6 s. 17–19.*
132. Zimny J., Michalak P.: *Ekologiczny system ogrzewania budynku szkoły w Gródku nad Dunajcem, Aura, 2006, nr 12, s. 28–29.*
133. Zimny J., Michalak P.: *Ocena modernizacji systemu grzewczego w budynku szkolnym z zastosowaniem pompy ciepła, Energetyka, 2007, nr 4, s. 254–256.*
134. Zimny J., Michalak P.: *Propozycja systemu sterowania i nadzoru dla hybrydowego systemu grzewczego z pompą ciepła i kolektorami słonecznymi, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2007, nr 3, s. 15–17.*
135. Zimny J., Michalak P.: *Przebieg rocznego zużycia energii przez budynek szkolny z kotłownią z pompą ciepła, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2006, nr 10, s. 21–22.*
136. Zimny J., Michalak P.: *Rachunek przepływów pieniężnych w ocenie ekonomicznej inwestycji termomodernizacyjnej z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii, Polityka Energetyczna, 2007, t. 10, z. 1, s. 141–151.*
137. Zimny J., Michalak P.: *Wpływ temperatury otoczenia na zużycie energii do ogrzewania budynku szkolnego, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 2007, nr 6, s. 26–28.*
138. Zmeureanu R., Peragine C.: *Evaluation of interactions between lighting and HVAC systems in a large commercial building, Energy Conversion & Management 40, 1999, ss. 1229-1236.*
139. *Zmiana Taryfy dla gazu ziemnego wysokometanowego Nr 2, Karpacka Spółka Gazownictwa, Biuletyn branżowy URE – Paliwa gazowe, Nr 46/2006.*
140. *Zmiana Taryfy dla paliwa gazowych Nr 1/2000 Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. , Biuletyn branżowy URE – Paliwa gazowe, Nr 1/2001.*
-

Dodatki

Dodatek 1 – Ceny energii elektrycznej i gazu w latach 2001 i 2007

Poniżej przedstawiono dane dotyczące cen i kosztów różnych nośników energii właściwych dla Gródka nad Dunajcem. Wartości te pochodzą z cenników i oficjalnych taryf dostawców energii, informacji od dostawców i firm handlujących węglem, olejem opalowym i drewnem. Ceny nośników energii i paliw przyjęto dla dwóch okresów, tj. 1 lutego 2001 roku, kiedy rozpoczęto planowanie inwestycji oraz w celach porównawczych dla 1 grudnia 2007 roku.

Ceny energii elektrycznej określono na podstawie taryfy spółki ENION S.A., oddział w Krakowie. Poszczególne składniki dla taryf stosowanych w obliczeniach zawarto w tabeli D. 1.

Tabela D. 1: Ceny energii elektrycznej dla taryf C11, C21 i C22b (netto, bez VAT), [96], [97].

wielkość	jedn.	ROK 2001			ROK 2007		
		C11	C21	C22b	C11	C21	C22b
cena za energię elektryczną – taryfa dzienna	zł/kWh	0,1381	0,1132	0,1580	0,1454	0,1471	0,1907
cena za energię elektryczną – taryfa nocna	zł/kWh	0,1381	0,1132	0,0665	0,1454	0,1471	0,0926
składnik zmienny stawki sieciowej	zł/kWh	0,1577	0,0833	0,0833	0,1406	0,1085	0,0846
stawka systemowa	zł/kWh	0,0492	0,0403	0,0403	0,0356	0,0356	0,0356
opłata za moc zamówioną	zł/kW	4,32	5,72	5,72	3,70	6,86	6,86
opłata abonamentowa	zł/m-c	2,44	4,00	4,00	3,05	9,50	9,50

Cena gazu ziemnego przyjęta została według taryfy dostawcy gazu dla szkoły, tj. PGNiG S.A., oddział Gazownia Jasielska. Poszczególne składniki dla dwóch taryf stosowanych w obliczeniach przedstawiono w tabeli D.2.

Tabela D. 2: Ceny gazu ziemnego dla taryf W-3 i W-4 (netto, bez VAT), [98], [139], [140].

Wielkość	Rok 2001		Rok 2007		Jedn.
	W-3	W-4	W-3	W-4	
cena za gaz	0,505	0,505	0,7403	0,7252	zł/m ³
opłata dystrybucyjna zmienna	0,3342	0,3280	0,3609	0,3564	zł/m ³
opłata dystrybucyjna stała	10,00	40,00	11,85	67,62	zł/m-c
opłata abonamentowa	3,00	3,00	7,00	15,00	zł/m-c

Ceny węgla i oleju opałowego (Tab. D.3) przyjęto według ofert lokalnych dostawców, właściwych dla Gródka nad Dunajcem.

Tabela D. 3: Ceny paliw stałych i ciekłych (brutto, z VAT).

Rodzaj paliwa	Rok 2001	Rok 2007	jedn.	Wartość opałowa
Węgiel gruby	440	540	zł/tonę	27,0 MJ/kg
Węgiel groszek	360	450	zł/tonę	27,0 MJ/kg
Olej opałowy EKOTERM	1,40	2,50	zł/kg	42,6 MJ/kg

Paliwa stałe i płynne dostarczane są do Gródka nad Dunajcem ze składów w Nowym Sączu. Odległość między tymi miejscowościami wynosi 22km. W tabeli D.4 przedstawiono koszty transportu w latach 2001 oraz 2007 dla paliw stałych (węgiel) i ciekłych (olej opałowy).

Tabela D. 4: Ceny transportu paliw (brutto, z VAT).

Rodzaj transportu	2001	2007	jedn.	ładunek
Węgiel	1,80	2,50	zł/km	10,0 t
Olej opałowy	2,50	3,50	zł/km	7,5 t

Dodatek 2 – Gaz ziemny stosowany w kotłowni

W badanym budynku stosowany jest gaz ziemny wysokometanowy, doprowadzany rurociągiem PGNiG S.A., oddział Gazownia Jasielska. Jego parametry zawiera tabela D.5.

Tabela D. 5: Właściwości gazu ziemnego wysokometanowego – symbol E.

Wartość opałowa	35,5	MJ/m ³
Ciepło spalania	39,5	MJ/m ³
Gęstość właściwa	0,73	kg/m ³
Granica wybuchowości	5-15	%
Temperatura zapłonu z powietrzem	645	°C

Dodatek 3 – Inflacja roczna w okresie 2001 – 2007

Dla porównania stopnia wzrostu cena paliw i energii oraz kosztów eksploatacji wykorzystano wielkość stopy inflacji w Polsce publikowaną przez GUS. Jej wartość w okresie 2001 – 2007 przedstawiono w tabeli D.6.

Tabela D.6.: Wskaźnik inflacji w latach 2000-2007.

Rok	Wskaźnik cen przy podstawie rok poprzedni = 100
2001	105,5
2002	101,9
2003	100,8
2004	103,5
2005	102,1
2006	101,0
2007	102,5

Dodatek 4 – Płaca minimalna w okresie 2001 – 2007

Wysokość płacy minimalnej w okresie 2001 – 2007 przedstawiono w tabeli D.7. Posłużyła ona do określenia kosztów obsługi kotłowni

Tabela D.7: Płaca minimalna w latach 2001-2007.

Rok	Płaca minimalna [zł]
2001	760
2002	760
2003	800
2004	824
2005	849
2006	899
2007	936

Dodatek 5 – Koszty modernizacji kotłowni

Dla określenia parametrów ekonomicznych modernizacji węzła ciepłego przedstawiono koszty dla różnego rodzaju źródeł ciepła dla roku 2001 i 2007. Określono je w oparciu o dostępne kosztorysy, dane z przetargu oraz oferty firm instalacyjnych i montażowych najbliższych dla Gródka nad Dunajcem.

Koszty węzła kotłowni przed modernizacją zawierają koszt zaworów odcinających, zaworów bezpieczeństwa, naczynia wyrównawczego, manometrów, filtrów siatkowych i armatury pomocniczej. Koszty węzła po modernizacji zawierają koszt dwóch zasobników wody (c.o. + c.w.u.), pomp obiegowych, zaworów trójdrogowych, naczyń przeponowych, zaworów bezpieczeństwa, termostatów, zaworów odcinających i armatury pomocniczej. Dodatkowo podano koszt instalacji kolektorów słonecznych.

Tabela D.8: Koszty modernizacji kotłowni [zł].

Rodzaj kotłowni	Kocioł	Węzeł ciepły	Instalacja c.o. c.w.u.	Inne koszty	Razem nakłady
2001 ROK					
Węglowa (projekt)	12000	20000	60000	0	92000
Gazowa	20000	60000	100000	0	180000
Olejowa	18000	60000	100000	3000	181000
Węglowa (retortowa)	20000	60000	100000	0	180000
Elektryczna	12000	60000	100000	0	175000
Pompa ciepła	100000	60000	120000	20000	300000
Kolektory słoneczne					30000
2007 ROK					
Węglowa (projekt)	15000	25000	70000	0	110000
Gazowa	23000	65000	120000	0	158000
Olejowa	23000	65000	120000	5000	213000
Węglowa (retortowa)	25000	65000	120000	0	210000
Elektryczna	15000	65000	140000	0	200000
Pompa ciepła	100000	65000	140000	25000	330000
Kolektory słoneczne					30000

Dodatek 6 – Parametry kotłowni dla różnych rodzajów zastosowanych paliw

W analizie porównawczej w celu wyboru źródła energii cieplnej dla budynku szkoły wyznaczono koszty inwestycyjne i eksploatacyjne kotłowni dla różnego rodzaju zastosowanych paliw. W tabeli D.9 przedstawiono dane przyjęte do obliczeń na podstawie analizy literatury oraz danych producentów [63], [64], [85], [103-101], [117]. Badana inwestycja charakteryzowała się następującymi założeniami narzuconymi przez Inwestora:

- pokrycie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku szkoły, $Q_{co-szkoła}$
- pokrycie zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynku szkoły, $Q_{cwu-szkoła}$
- rezerwa mocy dla pokrycia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania projektowanej sali gimnastycznej,
- pokrycie zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla projektowanej sali gimnastycznej, $Q_{cwu-sala}$.

Tabela D.9: Parametry techniczne i ekonomiczne kotłowni dla różnego rodzaju paliw.

Rodzaj paliwa	Przed moder.	Po modernizacji				
	węgiel	gaz	olej	węgiel	e. elektr.	p. ciepła
Sprawność:						
wytwarzania η_w	0,50	0,95	0,90	0,75	0,98	4,00
przesyłu η_p	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
regulacji η_r	0,87	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
wykorzystania η_e	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
całkowita η	0,393	0,857	0,812	0,677	0,884	3,610
Uwzględnienie dobowej przerwy na ogrzewanie w_d	1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Uwzględnienie tygodniowej przerwy na ogrzewanie w_t	1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
$Q_{co-szkoła}$ [GJ]	1508,8	923,9	923,9	923,9	923,9	923,9
$Q_{cwu-szkoła}$ [GJ]	291,3	291,3	291,3	291,3	291,3	291,3
$Q_{cwu-sala}$ [GJ]	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0
Łączne projektowe zapotrzebowanie na ciepło Q [GJ]	1892,1	1307,2	1307,2	1307,2	1307,2	1307,2
Obsługa (etaty)	2	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4

Dodatek 7 – Karta audytu energetycznego budynku szkoły

Dla zobrazowania efektów energetycznych i ekonomicznych kompleksowej termomodernizacji budynku szkoły przedstawiono kartę audytu energetycznego szkoły [128], [129]. Zestawione są w niej najistotniejsze wielkości dotyczące budynku, jego cech energetycznych oraz modernizacji.

KARTA AUDYTU ENERGETYCZNEGO GIMNAZJUM CENTRALNE W GRÓDKU N/DUNAJCEM

Dane identyfikacyjne:

Charakterystyka wariantów inwestycji termomodernizacyjnej budynku

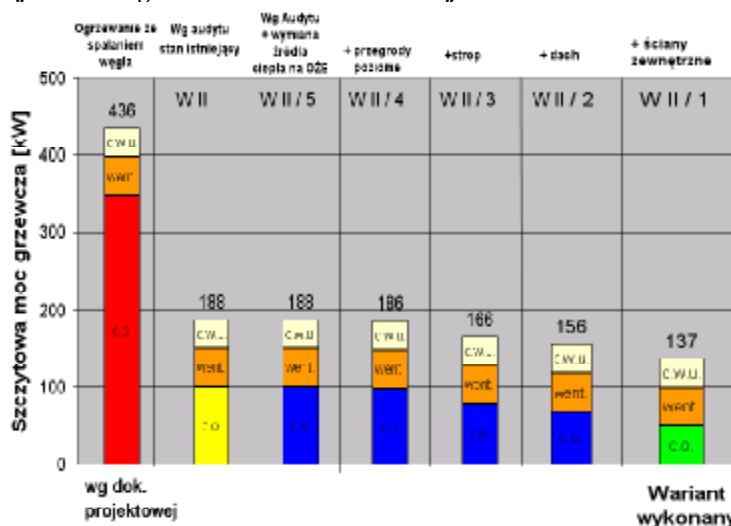
Zamawiający / Inwestor:

Urząd Gminy w Gródku n/Dunajcem

Wykres przedstawia zapotrzebowanie mocy (dla c.o., c.w.u i wentylacji) w funkcji określonego wariantu termomodernizacji

Wykonawca:

Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Prof. dr hab. inż. Jacek Zimny, audytor
KAPE Nr 0086,
Mgr inż. Tomasz Fiszer



Inwentaryzacja budowlana:

05.04.2001 – Gródek n/Dunajcem

Data opracowania:

Kwiecień 2001

Dane o obiekcie:

Typ budynku:

Budynek dydaktyczno-administracyjny,
4 - kondygnacyjny

Lokalizacja:

Gródek n/Dunajcem

Rok budowy:

W trakcie budowy, kontynuacja od 1991

Technologia:

Tradycyjna, pustak ceramiczny MAX, cegła ceramiczna, dach kryty blachą

Wielkość:

Kubatura całkowita: 8500 m³
Powierzchnia użytkowa: 2613 m²
Liczba kondygnacji: 4
Liczba pomieszczeń: 90
Liczba nauczycieli + uczniów 25+ 240

Wariant: 0 – ogrzewanie węglowe (c.o.+c.w.u.+went.=436 kW), bez termomodern

WII – stan istniejący (c.o.+c.w.u.+went.=188 kW),

WII /5 – zamiana źródła ciepła na OZE, audyt (c.o.+c.w.u.+went.=188 kW),

WII /4 – wariant 5 + docieplenie podłogi na gruncie i stropu nad piwnicą, (148+38 kW),

WII /3 – wariant 4 + docieplenie stropu nad poddaszem (128kW+38kW)

WII /2 – wariant 3 + docieplenie dachu (118kW+38kW)

WII /1 – wariant 2 + docieplenie ścian zewnętrznych (99kW +38kW)

Optymalny wariant termomodernizacyjny budynku – WII/1

Docieplenie stropu poddasza, ocieplenie dachu, ścian zewnętrznych, podłogi w piwnicy oraz stropu nad piwnicami (parkiet) + kompleksowa modernizacja systemu grzewczego z zastosowaniem sprężarkowej pompy ciepła.

- Zamiana ogrzewania tradycyjnego (spalanie węgla) na ogrzewanie indywidualne ekologicznie czyste (bez spalania) – pompa ciepła sprężarkowa (SPC) + kolektory słoneczne
- Instalacja grzewcza, 55°/45°, wymuszona, dwururowa, z rozdziałem dolnym

Stan po termorenowacji:

Efektywność ogrzewania:

Współczynniki przenikania U (W/m²·K)

Ściany zewn. 0,21 – 0,24
Strop 0,54
Dach 0,23
Strop piwnicy 0,39-0,51
Okna 1,3
Drzwi 2,0

Koszt_{inwest.} = 462 734 zł

DEs = 62,2 kWh/(m²·a)

Oszczędność energii: 75 %

Oszczędność mocy: 69 %

Oszczędność kosztów 81 436/a

Oszczędność kosztów 75 %

Stan istniejący budynku:

Współczynniki przenikania ciepła U (W/m²·K)

Ściany zewn.: 0,49 – 0,66
Strop: 1,87
Dach: 0,71
Strop piwnicy: 0,51 – 0,80
Okna: 1,3
Drzwi: 2,0

Sprawność systemu grzewczego

$h_e = 0,95$
 $h_r = 0,87$
 $h_p = 0,95$
 $h_w = 0,5$
 $h_s = h_e \cdot h_r \cdot h_p \cdot h_w = 0,393$

Sprawność systemu ogrzewania po modernizacji

$h_e = 0,95$ – montaż zaworów termostatycznych elektronicznych, monitoring, wizualizacja
 $h_r = 0,95$ – regulatory ciśnienia, zawory podpiłonowe, filtry
 $h_p = 1$ – hermetyzacja instalacji/ 0,95 – bez mian.
 $h_w = 4,0$
 $h_s = h_e \cdot h_r \cdot h_p \cdot h_w = 3,61$

Wskaźniki energetyczne

$q_{Moc\ co + cwu} = 436\text{ kW (wg. dok. proj.)}$
 $q_{Moc\ co + cwu} = 188\text{ kW (wg. audytu)}$
 $Q_{co + cwu} = 525500\text{ kWh/rok } 1892,1\text{ GJ/a}$
 $E = 54,2\text{ kWh/(m}^3 \cdot \text{a)} \quad 195,1\text{ MJ/m}^3 \cdot \text{a}$
 $E_s = 160,4\text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)} \quad 577,4\text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}$
 $K = 107\ 907\text{ zł/rok (spalanie węgla)}$

Wskaźniki energetyczne

$q_{Moc\ co + cwu} = 137\text{ kW}$
 $Q_{co+cwu} = 363\ 111\text{ kWh/rok } 1307,2\text{ GJ/a}$
 $E = 33,2\text{ kWh/(m}^3 \cdot \text{a)} \quad 119,5\text{ [MJ/m}^3 \cdot \text{a]}$
 $E_s = 98,2\text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)} \quad 353,6\text{ [MJ/m}^2 \cdot \text{a)}$
 $K = 26\ 471\text{ zł/a (taryfa dzień/noc)}$

Wskaźniki ekonomiczne

SPBT: 6 lat

Dodatek 8 – Koszty energii w zmodernizowanej kotłowni

Dla potrzeb centralnego ogrzewania używana jest energia elektryczna do zasilania pompy ciepła oraz urządzeń pomocniczych i gaz ziemny przez kocioł gazowy. Łączny koszt zużytych mediów energetycznych w miesiącu m jest równy:

$$K_{co(m)} = K_{co-e(m)} + K_{co-g(m)}$$

Gdzie:

$K_{co-e(m)}$ – koszt zużytej energii elektrycznej w miesiącu m , [zł],

$K_{co-g(m)}$ – koszt zużytego gazu ziemnego w miesiącu m , [zł],

przy czym:

$$K_{co-e(m)} = \sum_{i=1}^s c_{ji} \cdot E_{i(m)} + (S_p + S_{sz}) \cdot \sum_{i=1}^s E_{i(m)} + P \cdot S_{ss} + O_a$$

gdzie:

$K_{co-e(m)}$ – koszt energii elektrycznej dla potrzeb c.o. zużytej w miesiącu m , [zł],

m – numer kolejnego miesiąca, [-]

i – numer kolejnej strefy czasowej w której rozliczana jest energia elektryczna, [-],

s – łączna ilość stref czasowych w których rozliczana jest energia elektryczna, [-],

c_{ji} – cena jednostkowa energii elektrycznej w i -tej strefie czasowej w m -tym miesiącu, [zł/kWh],

$E_{i(m)}$ – ilość zużytej energii elektrycznej w i -tej strefie czasowej, [kWh],

S_p – Stawka systemowa opłaty przesyłowej, [zł/kWh],

S_{sz} – Składnik zmienny stawki sieciowej, [zł/kWh],

P – Moc umowna określana w umowie sprzedaży energii elektrycznej odbiorcy, [kW],

S_{ss} – Składnik stały stawki sieciowej, [zł/kW/m-c],

O_a – Stawka opłaty abonamentowej, [zł/m-c].

Koszt gazu ziemnego zużytego przez odbiorcę dla potrzeb c.o.:

$$K_{co-g(m)} = (c_{jg} + o_{dz}) \cdot V_{co-g(m)} + O_{ds} + O_a$$

gdzie:

$K_{co-g(m)}$ – koszt gazu zużytego na potrzeby c.o. w miesiącu m , [zł],

c_{jg} – cena jednostkowa gazu, [zł/m³],

o_{dz} – opłata dystrybucyjna zmienna, [zł/m³],

o_{ds} – opłata dystrybucyjna stała, [zł/m-c],

$V_{co-g(m)}$ – ilość zużytego gazu na potrzeby c.o. w miesiącu m , [m³],

O_a – opłata abonamentowa, [zł/m-c].

Koszt roczny jest równy sumie kosztów z poszczególnych miesięcy:

$$K_{co} = \sum_{m=1}^{12} K_{co-e(m)} + \sum_{m=1}^{12} K_{co-g(m)}$$

Dla potrzeb przygotowania ciepłej wody użytkowej zużywany jest gaz ziemny przez kocioł gazowy i wynosi on:

$$K_{cwu-g(m)} = (c_{jg} + o_{dz}) \cdot V_{cwu-g(m)}$$

Gdzie:

$K_{cwu-g(m)}$ – koszt gazu zużytego na potrzeby c.w.u. w miesiącu m , [zł],

c_{ji} – cena jednostkowa gazu, [zł/ m³],

o_{dz} – opłata dystrybucyjna zmienna, [zł/ m³],

$V_{cwu-g(m)}$ – ilość zużytego gazu na potrzeby c.w.u. w miesiącu m , [m³].

Pominięto opłatę abonamentową wliczoną już do kosztów c.o.

Dodatek 9 – Opis pakietu Termo Danfoss 2.0

Pakiet Termo Danfoss w wersji 2.0 służy [61] do obliczeń strat ciepła i sezonowego zapotrzebowania ciepła w budynkach oraz do obliczeń instalacji centralnego ogrzewania. Składa się z programu OZC w wersji 3.1 oraz Instal c.o. Podstawowe cechy użytkowe programu OZC to:

- obliczanie współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych,
- obliczanie zapotrzebowania ciepła pomieszczeń o kubaturze do 600m³ oraz budynków składających się z takich pomieszczeń,
- dobór grzejników w poszczególnych pomieszczeniach na podstawie dostępnych katalogów producentów, z uwzględnieniem wychłodzenia czynnika grzewczego w rurociągach,
- bilansowanie ilości powietrza wentylacyjnego w grupach pomieszczeń,
- określenie temperatur pomieszczeń nieogrzewanych w oparciu o bilans cieplny,
- prezentacja rezultatów obliczeń w formie graficznej (wykresy) lub tabelarycznej, z uwzględnieniem poszczególnych składników bilansu cieplnego budynku.

Dodatek 10 – Opis pakietu RETScreen®

Wykorzystywane oprogramowanie [11], jest dostępne na stronie internetowej <http://www.retscreen.net> dla wszystkich którzy dokonają rejestracji i zaakceptują warunki licencji tam zamieszczonej. Aby móc korzystać z programu, użytkownik musi mieć zainstalowany arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel w formacie którego pracuje RETScreen.

Pakiet RETScreen® International jest powszechnie stosowanym na świecie narzędziem do oceny technicznej i ekonomicznej inwestycji w zakresie wytwarzania i oszczędzania energii w oparciu o technologie energooszczędne i odnawialne źródła energii, oraz do wyznaczania efektów ekologicznych badanych przedsięwzięć. Został on opracowany przez Ministerstwo Zasobów Naturalnych Kanady i CANMET Centrum Technologii Energetycznych w Varennes we współpracy z Programem Środowiskowym ONZ (UNEP), GEF i NASA.

W skład pakietu wchodzi moduły do oceny projektów z zakresu:

- skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej,
- energetycznego wykorzystania biomasy
- energii wiatru
- małych elektrowni wodnych
- ogniw fotowoltaicznych
- pomp ciepła
- energii słonecznej, w tym:
 - solarnego podgrzewania wody
 - solarnego podgrzewania powietrza
 - pasywnych systemów solarnych
- przedsięwzięć oszczędzających energię w budynkach z zastosowaniem w/w technologii.

Program składa się z następujących modułów:

- Start,
- Model systemu,
- Analiza kosztów,
- Ocena emisji,
- Analiza finansowa,
- Analiza ryzyka,
- Narzędzia.

Na stronie początkowej „Start” użytkownik dokonuje wyboru jednego z modułów obliczeniowych oraz podaje podstawowe dane o projekcie, takie jak: nazwa i opis obiektu, rodzaj analizowanego przedsięwzięcia, typ obiektu, język, walutę, układ jednostek miar oraz lokalizację danych klimatycznych.

W pracy wykorzystano moduł dotyczący przedsięwzięć oszczędzających energię w budynkach. Obliczenia są wykonywane w arkuszu „Model systemu”, w którym określone są dla obiektu, w stanie przed i po jego modernizacji, kolejno:

- rodzaj paliwa,
- harmonogram pracy
- charakterystyka obiektu.

Charakterystyka obiektu zawiera wykonywany przez użytkownika opis obiektu i jego instalacji. Są to kolejno:

- system ciepłowniczy,
- system chłodniczy,
- skorupa budynku,
- wentylacja,
- oświetlenie,
- urządzenia elektryczna,
- gorąca woda,
- energia elektryczna i ciepło z procesów technologicznych,
- straty pary,
- sprężone powietrze,
- chłodzenie,
- inne.

Dla każdego z tych elementów określa się parametry techniczne (sprawność, wydajność, itp.), oraz ekonomiczne wynikające z realizacji modernizacji (oszczędności kosztów eksploatacji). Na tej podstawie, w części „Podsumowanie” program określa dla stanu bazowego i po modernizacji zużycie i koszt paliwa oraz zapotrzebowanie energii.

W oparciu o powyższe rezultaty, w części „Ocena emisji” określana jest redukcja emisji CO₂ po wykonaniu inwestycji, a w części „Analiza finansowa” podstawowe parametry finansowe inwestycji: łączne oszczędności i koszty roczne, SPBT, IRR, tabelę przepływów pieniężnych i skumulowanych przepływów pieniężnych oraz wykres przepływów skumulowanych.

W arkuszu „Analiza ryzyka” możliwe jest przeprowadzanie analizy ryzyka, która może dotyczyć wielu parametrów jednocześnie. Można także ustalić zakresu niepewności dla każdego z parametrów oddzielnie.

W arkuszu „Narzędzia” użytkownik może także definiować własne rodzaje paliw, taryf energetycznych, cen jednostkowych nośników energii, urządzeń i szereg innych dodatkowych parametrów wykorzystywanych w analizie.