

# Przykłady analiz opłacalności energetycznej i ekonomicznej



- ✓ Docieplanie pełnych przegród zewnętrznych
- ✓ Zamiana istniejących okien na nowe
- ✓ Wykorzystanie pompy ciepła do wspomaganie systemu przygotowania ciepłej wody
- ✓ Wykorzystanie pompy ciepła do wspomaganie systemu centralnego ogrzewania
- ✓ Zastosowanie układu źródła ciepła: olejowy kocioł grzewczy i elektryczna sprężarkowa pompa ciepła (ESPE) w miejsce kotła kondensacyjnego
- ✓ Zastosowanie rekuperatora ciepła w układzie wentylacyjnym budynku

# Docieplenie pełnych przegród zewnętrznych

<b>Ocena opłacalności i wybór wariantu zmniejszającego straty ciepła przez przenikanie ciepła</b>	<b>Przegroda</b>
	<b>Pełne przegrody zewnętrzne</b>
Dane: powierzchnia przegrody do obliczenia strat $A$ , m <sup>2</sup>	<b>136,08</b>
powierzchnia przegrody do obliczenia kosztu $A_{\text{koszt}}$ , m <sup>2</sup>	<b>145,15</b>
Opis wariantów usprawnienia: założono ocieplenie ściany metodą bezspoinową (BSO) z użyciem styropianu o współczynniku przewodności $\lambda=0,045$ W/mK	
<b>Analizowano 5 wariantów różniących się grubością warstwy izolacji termicznej:</b>	
Wariant 1: <b>o grubości warstwy izolacji 4 cm</b>	
Wariant 2: <b>o grubości warstwy izolacji 8 cm</b>	
Wariant 3: <b>o grubości warstwy izolacji 11 cm</b>	
Wariant 4: <b>o grubości dla której <math>U \leq 0,3</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	
Wariant 5: <b>o grubości warstwy izolacji o 1 cm większej niż w wariancie 4</b>	

**Oszczędności kosztów dla wariantów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego**

Lp.	Rodzaj usprawnienia termomodernizacyjnego	planowane koszty robót	SPBT
		zł	lata
1	grubość izolacji 4 cm	15967,0	12,61
2	grubość izolacji 8 cm	16837,0	11,65
3	grubość izolacji 11 cm	17708,0	11,69
4	<b>grubość izolacji 12 cm</b>	<b>17999,0</b>	<b>11,75</b>
5	grubość izolacji 13 cm	18288,0	11,82

Lp.	Omówienie	Jednostka	Stan istniejący	Warianty				
				1	2	3	4	5
1	Grubość dodatkowej warstwy izolacji termicznej; g =	m	—	0,04	0,08	0,11	0,12	0,13
2	Zwiększenie oporu cieplnego $\Delta R$	(m <sup>2</sup> ·K)/W		0,901	1,79	2,457	3,431	2,901
3	Opór cieplny R	(m <sup>2</sup> ·K)/W	0,752	1,653	2,542	3,209	3,431	3,653
4	$Q_{0U}, Q_{1U} = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot S_d \cdot A/R$	GJ/a	63,34	28,65	18,63	14,76	13,80	12,96
5	$q_{0U}, q_{1U} = 10^{-6} \cdot A \cdot (t_{W0} - t_{Z0})/R$	MW	0,0077	0,0035	0,0023	0,0018	0,0017	0,0016
6	Roczna oszczędność kosztów $\Delta O_{ru} = (Q_{0U} - Q_{1U})O_Z + 12(q_{0U} - q_{1U})O_m$	zł/a		1265,94	1445,43	1514,80	1531,91	1546,93
7	Cena jednostkowa usprawnienia	zł/m <sup>2</sup>		110	116	122	124	126
8	Koszt realizacji usprawnienia ( $N_U$ )	zł		15966,50	16837,40	17708,30	17998,60	18288,90
9	SPBT = $N_U/\Delta O_{ru}$	lata		12,61	11,65	11,69	11,75	11,82
10	$U_0, U_1$	W/m <sup>2</sup> ·K	1,329	0,605	0,393	0,312	0,291	0,274

**Podstawa przyjętych wartości  $N_U$**

Przyjęto ceny jednostkowe ocieplenia 1m<sup>2</sup> wg oferty firmy "LIPIŃSKI" ul. Kozia 20 Kraków

Koszt usprawnienia stanowi iloczyn ceny jednostkowej i całkowitej powierzchni ścian zewnętrznych do ocieplenia ( $A_{10,15}$ )

Wybrany wariant: 4

Koszt: 17998,60

SPBT = 11,75

Nr wariantu	$Q_{co}$ , GJ	$q_{co}$ , kW	$Q_{or}$ , zł	$Q_r$ , zł	N, zł
1	196,50	21,10	9017,0	1528,4	15967,0
2	187,07	19,80	8566,3	1979,1	16837,0
3	182,53	19,25	8354,1	2191,3	17708,0
4	180,42	18,97	8253,9	2291,5	17999,0
5	179,86	18,89	8227,0	2318,4	18288,0
istniejące	228,81	25,30	10545,4	—	—

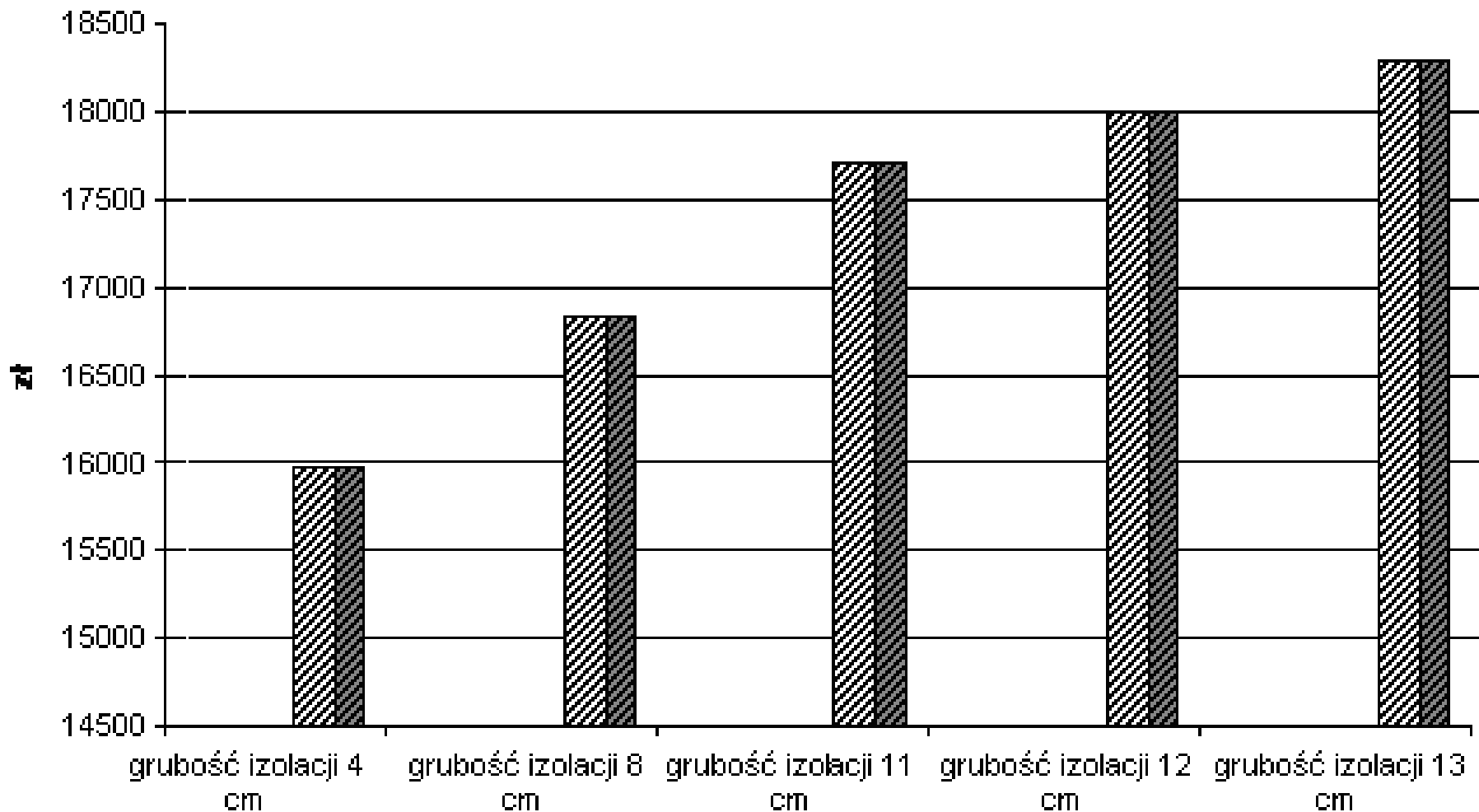
$Q_{co}$ -sezonowe zużycie energii,  $q_{co}$ - obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplna na ogrzewanie,  $Q_{or}$ - koszt ogrzewania,  $Q_r$ -roczna oszczędność kosztów, N- koszty realizacji usprawnień

## Dokumentacja wyboru optymalnego wariantu przedsięwzięcia termomodernizacyjnego

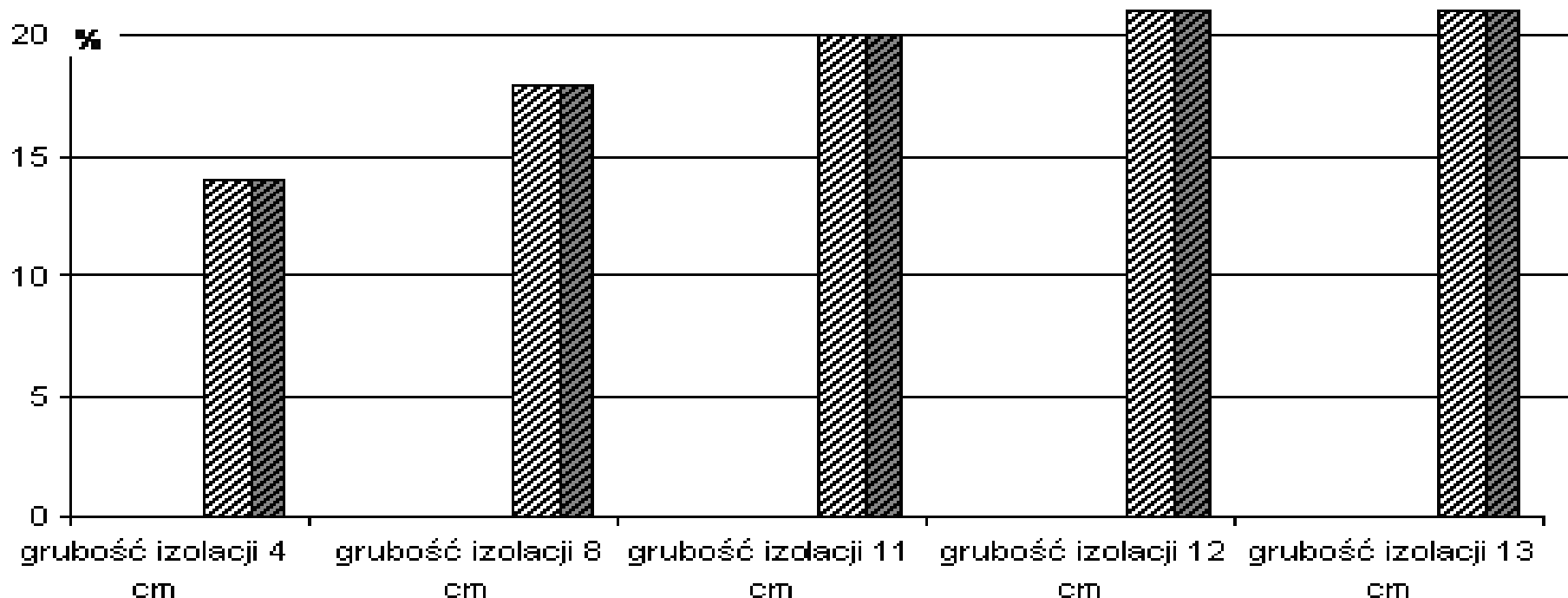
Lp	wariant przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	planowane koszty całkowite	roczna oszczędność kosztów energii	procentowa oszczędność zapotrzebowania na energię	planowana kwota środków własnych i kwota kredytu		różnica między 1/12 rocznej oszczędności kosztów energii i miesięczną ratą kapitałową wraz z odsetkami	miesięczna rata kapitałowa
		zł	zł	%	zł	%		
1	ocieplenie ścian zewn. o grubości izolacji 4 cm	15967	1528	14	3993 11975	0,25 0,75	44	83
2	ocieplenie ścian zewn. o grubości izolacji 8 cm	16837	1979	18	4210 12628	0,25 0,75	77	88
3	ocieplenie ścian zewn. o grubości izolacji 11 cm	17708	2191	20	4427 13281	0,25 0,75	90	92
4	ocieplenie ścian zewn. o grubości izolacji 12 cm	17999	2292	21	4500 13499	0,25 0,75	97	94
5	ocieplenie ścian zewn. o grubości izolacji 13 cm	18288	2318	21	4572 13716	0,25 0,75	98	95

**Poniższe wykresy słupkowe pokazują ile można zaoszczędzić na ogrzewaniu budynku w zależności od grubości warstwy styropianu oraz koszt realizacji poszczególnych rozwiązań**

### **Porównanie kosztu inwestycji poszczególnych wariantów**



# Porównanie procentowej oszczędności kosztów energii



**Najkorzystniejszym pod względem ekonomicznym i energetycznym rozwiązaniem docieplenia pełnych ścian zewnętrznych jest wariant czwarty; ocieplenie ścian grubością izolacji 12 cm pozwala także na spełnienie wymagań dotyczących maksymalnego współczynnika przenikania ciepła  $\rightarrow U_{\max} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Koszt tej inwestycji (materiał z robocizną) wynosi 17 999 zł, i posiada największą procentową oszczędność zapotrzebowania na energię spośród rozpatrywanych wariantów - 21%. Wariant piąty natomiast posiada taką samą procentową oszczędność zapotrzebowania na energię 21%, tyle, że koszt inwestycji wzrasta do 18 288 zł**

# Zamiana istniejących okien na nowe

**Przykład 1.** Budynek jednorodzinny zlokalizowany w III strefie klimatycznej Ogrzewana kubatura budynku  $356\text{m}^3$ , średnia temperatura w budynku  $t_i=+20^\circ\text{C}$ , na zewnątrz  $t_e=-20^\circ\text{C}$ , średnia temperatura okresu grzewczego  $+3^\circ\text{C}$ , czas trwania sezonu grzewczego 222dni. Budynek wyposażony jest w grzejniki ogrzewania radiacyjnego, parametry nominalne czynnika grzejnego  $80/60^\circ\text{C}$

Zainstalowano kocioł kondensacyjny Termet. Sprawność kotła kondensacyjnego zależna od temperatury zasilania. Wg danych technicznych dołączonych do niniejszego projektu sprawność użyteczna kotła dla średniej temperatury wody kotłowej  $70^\circ\text{C}$  ( $t_p=60^\circ\text{C}$ ) wynosi 98%, sprawność użyteczna kotła dla średniej temperatury powrotnej  $30^\circ\text{C}$  wynosi 108%. Przyjęto, że sprawność zmienia się liniowo ze zmienną temperaturą zasilania kotła. Energii elektrycznej nie uwzględnia się w kalkulacjach, ze względu na fakt, iż pompa obiegowa będzie uruchomiona zarówno przy oknach o współczynniku  $U=2,6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  jak i przy oknach o współczynniku  $U=0,8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Podobnie w obliczeniach nie uwzględnia się kosztów obsługi kotła. Koszt jednostkowy gazu (odczytany z bieżącego rachunku za gaz) wg taryfy W-2 należność za paliwo gazowe wynosi  $0,8382\text{zł}/\text{m}^3 + 22\% = 1,0226\text{zł}/\text{m}^3$ , opłata dystrybucyjna zmienna  $\rightarrow 0,4325\text{zł}/\text{m}^3 + 22\% = 0,5277\text{zł}/\text{m}^3$ , łączny koszt jednostkowy brutto gazu  $\rightarrow 1,5503\text{zł}/\text{m}^3$  (do obliczeń przyjęto  $1,55\text{zł}/\text{m}^3$ ). W kalkulacji nie uwzględniano stałej opłaty dystrybucyjnej oraz abonamentu ze względu na fakt, iż koszt ten ponoszony jest w obu wariantach (przed wymianą okien i po wymianie okien). Wartość opałowa gazu  $Q_{jo}^r = 47000 \text{ kJ}/\text{kg}$ , gęstość gazu  $\rho=0,73\text{kg}/\text{m}^3$ . Okres trwałości elementów  $n = 15$  lat. Stopa oprocentowania  $p=10\%$ , wzrost cen gazu  $ag=8\%$  (udział własnych środków  $0\%$ , kredyt  $100\%$ )

# OBLICZENIA WIELKOŚCI EKONOMICZNYCH

Stopa dyskonta  $q = 1 + \frac{p}{100} = 1 + \frac{10}{100} = 1,10$

Współczynnik obsługi kapitału  $a = \frac{q^n \cdot (q-1)}{q^n - 1} = \frac{1,10^{15} \cdot (1,10-1)}{1,10^{15} - 1} = 0,13$

Współczynnik wzrostu kosztów gazu  $k_c = 1 + \frac{a_g}{100} = 1 + \frac{8}{100} = 1,08$

Współczynnik sumacyjny kosztów  $d = \frac{q^n - k_c^n}{q^n \cdot (q - k_c)} = \frac{1,1^{15} - 1,08^{15}}{1,1^{15} \cdot (1,1 - 1,08)} = 12,03$

# OBLICZENIA KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH

Obliczenia przeprowadzono na podstawie danych z projektu budowlanego – zestawienia stolarki okiennej i cennika producenta stolarki okiennej firmy Okfens Sp. z o.o.

## Koszty inwestycyjne

symbol wg projektu budowlanego	D5	01	02
symbol producenta	OBD 7-8	O5/1P	O34S
ilość sztuk	1	3	5
cena jednostkowa netto	1 500,00 zł	390,00 zł	890,00 zł
dopłata 205,00zł/m <sup>2</sup> (wsp. U=0,8)	830,39 zł	148,07 zł	430,97 zł
cena jednostkowa netto z dopłatą	2 330,39 zł	538,07 zł	1 320,97 zł
wartość netto	2 330,39 zł	1 614,21 zł	6 604,85 zł
wartość brutto	2 843,08 zł	1 969,34 zł	8 057,92 zł
<b>wartość brutto</b>	<b>12 870,33 zł</b>		
<b>wartość montażu okien</b>	<b>1 500,00 zł</b>		
<b>łącznie wartość brutto wraz z montażem</b>	<b>14 370,33 zł</b>		



**Koszt inwestycyjny w roku realizacji inwestycji -  $K_{i_0}=14\ 370,33$  zł; zdyskontowany przeciętny koszt roczny inwestycyjny -  $K_i=K_{i_0} \times a=14\ 370,33 \times 0,13=1\ 868,14$ zł/a**

**OBLICZENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO PRZY ISTNIEJĄCYCH OKNACH dla  $U=2,6\text{W/m}^2\text{K}$  (Purmo OZC); zgodnie z wynikami obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi **9951W****

**OBLICZENIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO DLA NOWYCH OKIEN dla  $U=0,8\text{W/m}^2\text{K}$  (Purmo OZC); zgodnie z wynikami obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną wynosi **8614W****

**OBLICZENIA RÓŻNICY KOSZTU EKSPLOATACYJNEGO ZUŻYTEGO PALIWA PRZEZ KOCIOŁ -  $K_{e_0}=K_{e_0\text{ I}} - K_{e_0\text{ II}}$ , gdzie:  $K_{e_0\text{ I}}$  – koszt eksploatacyjny zużytego paliwa przez kocioł dla wariantu I (okna  $U=2,6\text{W/m}^2\text{K}$ ),  $K_{e_0\text{ II}}$  – koszt eksploatacyjny zużytego paliwa przez kocioł dla wariantu II (okna  $U=0,8\text{W/m}^2\text{K}$ ), przy czym  $K_{e_0\text{ I}} = k_{jg} \times V_{g\text{ I}}$ , zaś  $K_{e_0\text{ II}} = k_{jg} \times V_{g\text{ II}}$ , gdzie:  $k_{jg}$  – koszt jednostkowy gazu,  $V_{g\text{ I}}$  – strumień objętości gazu dla wariantu I,  $V_{g\text{ II}}$  – strumień objętości gazu dla wariantu II**

# OBLICZENIA ŚREDNIEGO ZAPOTRZEBOWANIA CIEPŁA DLA TEMPERATURY ŚREDNIEJ TEMPERATURY OKRESU GRZEWczego

$$\dot{Q} = \dot{Q}_B^N \cdot \frac{t_i - \bar{t}_e}{t_i - t_e^N}$$

gdzie:  $\dot{Q}_B^N$  - obliczeniowe zapotrzebowanie ciepła,  $t_i$  - temperatura wewnętrzna,  $t_e^N$  - zewnętrzna temperatura obliczeniowa,  $\bar{t}_e$  - średnia temperatura zewnętrzna okresu grzewczego

obliczenia dla wariantu I  $\dot{Q}_B^N = 9951\text{W}$   $\dot{Q}_I = 9951 \cdot \frac{20-3}{20-(-20)} = 4229\text{W}$

obliczenia dla wariantu II  $\dot{Q}_B^N = 8614\text{W}$   $\dot{Q}_{II} = 8614 \cdot \frac{20-3}{20-(-20)} = 3661\text{W}$

## OBLICZENIA ILOŚCI CIEPŁA WYTWORZONEGO PRZEZ KOCIOŁ KONDENSACYJNY

$$\dot{Q}_{BI} = \dot{Q}_I \cdot 222 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 4229\text{W} \cdot 222 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 8,11 \cdot 10^{10} \text{J/a}$$

$$\dot{Q}_{BII} = \dot{Q}_{II} \cdot 222 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 3661\text{W} \cdot 222 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 7,02 \cdot 10^{10} \text{J/a}$$

## OBLICZENIA ŚREDNIEJ TEMPERATURY ZASILANIA I POWROTU

$$\left[ \frac{\frac{t_1 + t_2}{2} - t_i}{\frac{t_1^N + t_2^N}{2} - t_i} \right]^{1+m} = \frac{t_1 - t_2}{t_1^N - t_2^N} = \frac{t_i - \bar{t}_e}{t_i - t_e^N}$$

$$t_1 = +50,5^\circ\text{C}, t_2 = +42^\circ\text{C}$$

$t_1$  - średnia temperatura zasilania,  $t_2$  - średnia temperatura powrotu,  $t_i$  - temperatura wewnętrzna (+20°C),  $t_1^N$  - obliczeniowa temperatura zasilania (+80°C),  $t_2^N$  - obliczeniowa temperatura powrotu (+60°C),  $t_e$  - średnia zewnętrzna temperatura (+3°C),  $t_e^N$  - obliczeniowa zewnętrzna temperatura (-20°C),  $m$  - wykładnik zależny od rodzaju grzejników (0,33)

## OBLICZENIA ŚREDNIEJ SPRAWNOŚCI KOTŁA (%)

$$\eta_k = \eta_k|_{60^\circ\text{C}} + \frac{\eta_k|_{30^\circ\text{C}} - \eta_k|_{60^\circ\text{C}}}{60 - 30} \cdot (60 - 42) = 98 + \frac{108 - 98}{60 - 30} \cdot (60 - 42) = 104$$

## OBLICZENIA STRUMIENIA OBJĘTOŚCI GAZU

$$V_{gI} = \frac{8,11 \cdot 10^{10} \text{ J/a}}{47000 \text{ kJ/kg} \cdot 1,04 \cdot 0,73 \text{ kg/m}^3} = 2272,9 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$V_{gII} = \frac{7,02 \cdot 10^{10} \text{ J/a}}{47000 \text{ kJ/kg} \cdot 1,04 \cdot 0,73 \text{ kg/m}^3} = 1967,4 \text{ m}^3/\text{a}$$

## KOSZT EKSPLOATACYJNY

$$K_{eoI} = 1,55 \text{ zł./m}^3 \cdot 2272,9 \text{ m}^3/\text{a} = 3523,00 \text{ zł./a}$$

$$K_{eoII} = 1,55 \text{ zł./m}^3 \cdot 1967,4 \text{ m}^3/\text{a} = 3049,47 \text{ zł./a}$$

$$K_{eo} = K_{eoI} - K_{eoII} = 3523,00 - 3049,47 = 473,53 \text{ zł./a}$$

## PRZECIĘTNY ZDISKONTOWANY KOSZT EKSPLOATACYJNY Z UWZGLĘDNIENIEM WSPÓŁCZYNNIKA WZROSTU CEN - OSZCZĘDNOŚĆ

$$K_c = K_{io} + K_i + K_e = 14370,33 + 1868,14 - 740,55 = 15497,92 \text{ zł.}$$

$$\frac{1}{(1 + 1,1)^{15}} = 1,47 \cdot 10^{-5}$$

$$PV = -K_c \cdot 1,47 \cdot 10^{-5} = -0,23 \text{ zł.}$$

$NPV = -15497,92 - 0,23 = -15\,498,15 \text{ zł.}$  ponieważ  $NPV < 0$  inwestycja jest nieopłacalna

**Przykład 2.** Budynek jednorodzinny (2-piętrowy, podpiwniczony, z garażem) o kubaturze  $412\text{m}^3$ , usytuowany w III strefie klimatycznej. Okna drewniane o współczynniku przenikania ciepła  $U=2,6\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  wymieniono na nowe o współczynniku  $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Wartość  $U$  obejmuje szybę wraz z ramą (analizę przeprowadzono za pomocą PURMO OZC 4,0 zgodnie z nową normą PN-EN 12831:2006 )

### Projektowe obciążenie cieplne budynku

Przed wymianą okien	12,851 kW
Po wymianie okien	11,018 kW

oszczędność energii wynosi 1,833 kW co stanowi 14% wartości sprzed wymiany okien

### Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

Przed wymianą okien	76,20 GJ/rok
Po wymianie okien	63,95 GJ/rok

zapotrzebowanie na ciepło zmniejsza się o 12,25 GJ/rok co stanowi 16% wartości sprzed wymiany okien

## Wyniki analizy opłacalności ekonomicznej

Wymiar okna	Ilość	Cena jednostkowa	Cena montażu	Wartość
m x m		zł.	zł.	zł.
1,2 x 0,8	5	383	63	1978
1,5 x 1,0	4	530	82	2202
1,2 x 1,2	9	1020	112	9292
1,8 x 1,5	2	1700	140	3540

**SUMA**

**17 012 zł**

**Cena energii ciepłej w Krakowie według stawek SPEC**

cena za zamówioną moc cieplną	cena ciepła
zł/MW/m-c	zł/GJ
8540	47,3

**Roczna oszczędność kosztów  $\Delta O_{ru}$**

$$\Delta O_{ru} = (Q_{0U} - Q_{1U}) \cdot O_Z + 12 \cdot (q_{0U} - q_{1U}) \cdot Om =$$

$$= (76,20 - 63,95) \cdot 47,3 + 12 \cdot (0,012851 - 0,011018) \cdot 8540 = 767,27 \text{ zł}$$

**Prosty czas zwrotu nakładów SPBT**

$$SPBT = N_{OK} / \Delta O_{ru} = 17012 / 767,27 = 22 \text{ lat}$$

**Inwestycja zwróci się po 22 latach. Biorąc pod uwagę oszczędność energetyczną wymiana starych okien na nowe może być opłacalną inwestycją. Zarówno wartości obciążenia cieplnego budynku jak i sezonowego zapotrzebowania na ciepło ulegają zmniejszeniu (z punktu widzenia opłacalności ekonomicznej należy ocenić czy obliczony czas zwrotu SPBT spełnia oczekiwania inwestora)**

# Wykorzystanie pompy ciepła do wspomagania systemu przygotowania ciepłej wody dla wybranego budynku

Do analizy przyjęto budynek jednorodzinny o łącznej kubaturze 450 m<sup>3</sup> znajdujący się w III strefie klimatycznej. Budynek zamieszkuje czteroosobowa rodzina. Przyjęto, że zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową wynosi 60 l/osobę·doba. Rozpatrywany jest przypadek w którym przy istniejącym gazowym kotle kondensacyjnym zainstalowano pompę ciepła typu powietrze/woda, której średnioroczny stopień pokrycia zapotrzebowania budynku na ciepłą wodę wynosi 60%

## Koszt ogrzewania budynku z istniejącym źródłem ciepła

Zapotrzebowanie na moc grzewczą do przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Dane:  $V_{H_2O} = 4 \text{ osoby} \cdot 60 \text{ l/osoba} = 240 \text{ l}$ ,  $t_z = +10^\circ\text{C}$ ,  $t_c = +50^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 0,9881 \text{ kg/l}$ ,  $c_w = 4,174 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ,  $m = 240 \cdot 0,9881 = 237 \text{ kg}$ ,  $Q = m \cdot c_w \cdot \Delta t = 237 \cdot 4,174 \cdot 40 = 39569,52 \text{ kJ}$ . Roczne zapotrzebowanie na moc grzewczą do przygotowania ciepłej wody –  $Q_a = 0,46 \cdot 24 \cdot 365 = 4029,6 \text{ kW}$

Roczne zużycie gazu na przygotowanie ciepłej wody

$$Q_r = \frac{Q_a}{W_g \cdot \eta} = \frac{4029,6}{9,54 \cdot 0,98} = 431,01 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

**Roczne koszty za zużyty gaz; koszt jednostkowy: 0,74 zł/m<sup>3</sup>, abonament: 6,40zł, opłata sieciowa stała: 10zł, opłata sieciowa zmienna: 0,45 (R- opłata sieciowa stała + abonament)**

$$K_a = Q_r \cdot K_j + R = 431,01 \cdot (0,74 + 0,45) + (6,40 + 10) \cdot 12 = 709,70 \text{ zł/rok}$$

**Koszt inwestycji zamontowania pompy ciepła wspomagającej instalację przygotowania ciepłej wody. Pompa ciepła ( Viessmann Vitocal 300AW) wraz z instalacją i sterownikiem o mocy 8,42kW – 48739,00 zł, biwalentny zbiornik buforowy o pojemności 390 l – 8734,00 zł - suma: I = 48739,00 +8734,00 = 57473,00 zł**

**Koszt ogrzewania w budynku z zainstalowaną pompą ciepła**

**Założono że na wyprodukowanie 1 kW ciepła potrzebne jest 0,25 kW energii elektrycznej**

**Zapotrzebowanie pokrywane przez pompę ciepła**

$$Q_{pc} = 0,95 \cdot Q = 0,95 \cdot 0,46 = 0,437 \text{ kW}$$

**Zapotrzebowanie energii elektrycznej na wyprodukowanie ciepła**

$$Q_{el} = Q_{pc} \cdot 0,25 = 0,437 \cdot 0,25 = 0,109 \text{ kW}$$

**Koszt jednostkowy energii elektrycznej 0,36 zł/kWh**

## Roczny koszt zużytej energii elektrycznej

Zapotrzebowanie na moc grzewczą do przygotowania ciepłej wody poza okresem grzewczym –  $Q_g = 0,46 \cdot 24 \cdot 143 = 1578,72 \text{ kW}$

Zużycie gazu na przygotowanie ciepłej wody poza okresem grzewczym

$$Q_{rg} = \frac{Q_g}{W_g \cdot \eta} = \frac{1578,72}{9,54 \cdot 0,98} = 168,86 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Koszty za zużyty gaz poza okresem grzewczym

$$K_g = Q_{rg} \cdot K_j + R = 168,86 \cdot (0,74 + 0,45) + (6,40 + 10) \cdot 5 = 282,94 \text{ zł} / \text{rok}$$

Sumaryczny koszt ogrzewania budynku

$$K_c = K_{el} + K_g = 209,1 + 282,94 = 492,04 \text{ zł} / \text{rok}$$

## Analiza opłacalności

Roczna oszczędność po zainstalowaniu pompy ciepła

$$K_o = K_a - K_c = 709,7 - 492,04 = 217,66 \text{ zł} / \text{rok}$$

Prosty czas zwrotu inwestycji SPBT

$$SPBT = \frac{I}{K_o} = \frac{57473}{217,66} = 264,05 \text{ lat} \Rightarrow 264 \text{ lata}$$



# Wykorzystanie pompy ciepła do wspomagania systemu centralnego ogrzewania dla wybranego budynku

Przyjęto budynek jednorodzinny z użytkowym poddaszem oraz niektórymi pomieszczeniami w piwnicy o łącznej ogrzewanej kubaturze 449 m<sup>3</sup>, położony w III strefie klimatycznej. Przyjęto, że zapotrzebowanie na ciepło wynosi 25 W/m<sup>3</sup>. W opracowaniu rozpatrzono przypadek w którym przy istniejącym gazowym kotle kondensacyjnym zainstalowano pompę ciepła typu powietrze/woda, która pokrywa zapotrzebowanie budynku przez 95% sezonu grzewczego. W okresie nominalnego zapotrzebowania działa tylko kocioł który pokrywa całe zapotrzebowanie budynku na ciepło.

## Koszt ogrzewania budynku z istniejącym źródłem ciepła

### Nominalne zapotrzebowanie

$$Q_N = V \cdot q = 449 \text{ m}^3 \cdot 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} = 11,23 \text{ kW}$$

### Średnie zużycie gazu w sezonie grzewczym

Producent kotła (Viessmann Vitodens 300W) podaje zużycie gazu dla nominalnego zużycia na poziomie 1,89 m<sup>3</sup>/h. Przyjęto że kocioł pracuje na 75% nominalnego zapotrzebowania i zużywa 1,42 m<sup>3</sup>/h.

## Roczne zapotrzebowanie

Czas trwania okresu grzewczego dla Katowic: 222 dni

$$Q_a = Q_N \cdot 24 \cdot 222 = 11,23 \cdot 24 \cdot 222 = 59833,44 \text{ kW/rok}$$

**Roczne koszty za zużyty gaz, koszt jednostkowy: 0,6327 zł/m<sup>3</sup>**

$$K_a = 1,42 \cdot K_j \cdot 24 \cdot 222 = 1,42 \cdot 1,035 \cdot 24 \cdot 222 = 7830,56 \text{ zł/rok}$$

**Koszt inwestycji** zamontowania pompy ciepła: pompa ciepła ( Viessmann Vitocal 300AW) wraz z instalacją i sterownikiem o mocy 8,42kW – 48 739zł oraz biwalentny zbiornik buforowy o pojemności 200 l – 3960 zł

$$\text{Suma: } I = 48\,739 + 3960 = 52\,699 \text{ zł}$$

**Koszt ogrzewania** w budynku z zainstalowaną pompą ciepła; założono że na wyprodukowanie 1 kW ciepła potrzeba 0,25 kW energii elektrycznej

**Zapotrzebowanie pokrywane przez pompę ciepła**

$$Q_p = 0,75 \cdot Q_N = 0,95 \cdot 11,23 = 8,42 \text{ kW}$$

**Zapotrzebowanie energii elektrycznej na wyprodukowanie ciepła**

$$Q_e = Q_p \cdot 0,25 = 8,42 \cdot 0,25 = 2,11 \text{ kW}$$

**Koszt jednostkowy energii elektrycznej: 0,324 zł/kWh**

**Roczny koszt zużytej energii**

**elektrycznej**  $K_e = Q_e \cdot 24 \cdot 211 \cdot 0,324 = 2,11 \cdot 24 \cdot 211 \cdot 0,324 = 3461,95 \text{ zł/rok}$

**Roczne koszt gazu**  $K_g = 1,42 \cdot K_j \cdot 24 \cdot 11 = 1,42 \cdot 1,035 \cdot 24 \cdot 11 = 388,0 \text{ zł/rok}$

**Sumaryczny koszt ogrzewania budynku**

$$K_c = K_e + K_g = 3\,461,95 + 388,0 = 3\,849,95 \text{ zł/rok}$$

**Analiza opłacalności**

**Roczna oszczędność po zainstalowaniu pompy ciepła**

$$K_o = K_a - K_c = 7830,56 - 3849,95 = 3980,61 \text{ zł/rok}$$

**Prosty czas zwrotu inwestycji SPBT**  $SPBT = \frac{I}{K_o} = \frac{52699}{3890,61} = 13,24 \text{ lat}$

Z przeprowadzonej analizy wynika że inwestycja zwróci się po 13,24 lat co czyni ją nieopłacalną w świetle dzisiejszych cen energii, lecz z niestabilną sytuacją geopolityczną i nie gwarantowaną dostawą paliwa gazowego inwestycja ta może okazać się trafną. Dodatkowo zastosowanie pompy ciepła może wpłynąć pozytywnie na stan środowiska naturalnego

## **Oplacalność zastosowania układu źródła ciepła: olejowy kocioł grzewczy i elektryczna sprężarkowa pompa ciepła (ESPE) w miejsce kotła kondensacyjnego**

**Dane:** Nominalne zapotrzebowanie cieplne dla budynku zasilanego z analizowanego źródła ciepła 170 kW, średnia temperatura w budynku  $+20^{\circ}\text{C}$ , budynek znajduje się w V strefie klimatycznej, wyposażony jest w grzejniki ogrzewania radiacyjnego, parametry nominalne czynnika grzejnego centralnego ogrzewania  $60/45^{\circ}\text{C}$ . Temperatura początku samodzielnej pracy ESPE  $\rightarrow -1^{\circ}\text{C}$ , przeciętne wartości współczynnika wydajności dla okresu samodzielnej pracy 3,6 (w przypadku pracy z kotłem olejowym 2,9), dolnym źródłem dla pompy jest woda gruntowa, przeciętna wartość sprawności kotła olejowego 0,89, sprawność kotła kondensacyjnego zależna od temperatury zasilania kotła jest dla temperatury zasilania  $60^{\circ}\text{C} \Rightarrow 0,99$ , zaś dla  $30^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1,08$  (przyjmując liniową zmienność sprawności ze zmienną temperaturą zasilania kotła). Koszt jednostkowy energii elektrycznej 0,37 zł/kWh, koszt jednostkowy oleju 1,60 zł/dm<sup>3</sup>, koszt jednostkowy gazu 0,7 zł/m<sup>3</sup>, wartość opałowa oleju 42000 kJ/kg (gęstość oleju 850 kg/m<sup>3</sup>), wartość opałowa gazu 47.000 kJ/kg (gęstość gazu 0,73 kg/m<sup>3</sup>). Koszt jednostkowy pompy ciepła z dolnym źródłem ciepła 600 zł/kW, koszt jednostkowy kotła olejowego 290 zł/kW, koszt jednostkowy kotła kondensacyjnego 330 zł/kW (podane koszty zawierają w sobie również koszty osprzętu). Koszt jednostkowy zbiornika oleju 750 zł/m<sup>3</sup>. Koszt obsługi przyjmując jako 8% rocznych kosztów inwestycyjnych w przypadku kotła olejowego i kondensacyjnego. Koszt obsługi ESPE 5% rocznych kosztów inwestycyjnych. Okres trwałości elementów źródła przyjmując jako 18 lat (brakujące dane przyjmując według cennika).

**Wielkości ekonomiczne: stopa dyskonta**  $\rightarrow q = 1 + P/100 = 1 + 10\%/100 = 1,1$

**Współczynnik obsługi kapitału :**  $a = \frac{q^n (q - 1)}{q^n - 1} = \frac{1,1^{18} (1,1 - 1)}{1,1^{18} - 1} = 0,12$

**Współczynniki wzrostu:**

$$k_{co} = 1 + \frac{a_o}{100} = 1 + \frac{11\%}{100} = 1,1$$

$$d_o = \frac{q^n - k_{co}^n}{q^n \cdot (q - k_{co})} = \frac{1,1^{18} - 1,1^{18}}{1,1^{18} \cdot (1,1 - 1,11)} = 17,69$$

$$k_{cg} = 1 + \frac{a_g}{100} = 1 + \frac{8\%}{100} = 1,08$$

$$d_g = \frac{q^n - k_{cg}^n}{q^n \cdot (q - k_{cg})} = \frac{1,1^{18} - 1,08^{18}}{1,1^{18} \cdot (1,1 - 1,08)} = 9,34$$

$$k_{cg} = 1 + \frac{a_g}{100} = 1 + \frac{7\%}{100} = 1,07$$

$$d_{el} = \frac{q^n - k_{cel}^n}{q^n \cdot (q - k_{cel})} = \frac{1,1^{18} - 1,07^{18}}{1,1^{18} \cdot (1,1 - 1,07)} = 13,069$$

## WARIANT PIERWSZY – KOCIOŁ OLEJOWY + ESPC

**Koszty inwestycyjne - Koszt inwestycyjny w roku realizacji inwestycji:**

$$K_{IO} = K_{iKO} \cdot (Q_B^N - Q_{tp}) + K_{iESPC} \cdot Q_{tp}$$

$$Q_{tp} = (t_i - t_p) / (t_i - t_e^N) \cdot Q_B^N = (20 - (-1)) / (20 - (-24)) \cdot 170 = 81,14$$

$$K_{IO} = 600 \cdot 81,14 + (170 - 81,14) \cdot 290 = 74453 \text{ zł}$$

**Zdyskontowany przeciętny koszt roczny inwestycyjny**

$$K_I = K_{IO} \cdot a = 74453 \cdot 0,12 = 8934 \text{ zł/a}$$

**Koszty eksploatacyjne - Koszt eksploatacyjny zużytego paliwa w kotle olejowym:**

$$K_{eoKO}^P = K_{jo} \cdot V_{oKO}$$

**Zużycie oleju przez kocioł olejowy:**

$$V_{oKO} = \frac{Q_B^{KO} \Big|_{-24}^{-1}}{Q_{jo}^r \cdot \eta_{KO} \Big|_{-24}^{-1}} \quad Q_B^{KO} \Big|_{-24}^{-1} = (\bar{Q}_B \Big|_{-24}^{-1} - Q_{tp}) \cdot n_z \cdot 24 \cdot 3600 = 14,06 \cdot 10^7 \text{ kJ/a}$$
$$\bar{Q}_B \Big|_{-20}^{-1} = \frac{t_i - \bar{t}_e \Big|_{-24}^{-1}}{t_i - t^N} \cdot Q_B^N = \frac{20 - (-6,2)}{20 + 24} \cdot 170 = 101,22 \text{ kW}$$

**Średnia sprawność kotła olejowego:**

$$\bar{\eta}_{KO} \Big|_{-24}^{-1} = 0,89 \quad V_{oKO} = \frac{14,06 \cdot 10^7}{42000 \cdot 0,89} = 3760 \text{ kg/a} = 4424,5 \text{ dm}^3 / \text{a}$$

$$K_{eoKO}^P = 1,60 \cdot 4424,5 = 7079,2 \text{ zł/a}$$

**Koszty zużytej energii przez ESPC:**  $K_{\text{eoESPC}} = K_{\text{jel}} \cdot \left( E \Big|_{-24}^{-1} + E \Big|_{-1}^{+12} \right)$

**Zużycie energii elektrycznej dla  $t_e > t_p$ :**  $E \Big|_{-1}^{+12} = \frac{Q_B \Big|_{-1}^{+12} \cdot n \cdot 24}{\bar{\varepsilon} \Big|_{-1}^{+12}}$

**Zużycie energii elektrycznej dla  $t_e < t_p$ :**  $E \Big|_{-24}^{-1} = \frac{Q_{tp} \cdot n \cdot 24}{\bar{\varepsilon} \Big|_{-24}^{-1}}$

**Współczynnik wydajności ESPC:**

$$\varepsilon = \text{tg} \cdot \left( \frac{0,14}{\text{tg} - \text{td}} + 0,069 \right)$$

$$\varepsilon \Big|_{-1}^{12} = 36,8 \cdot \left( \frac{0,14}{36,8 - 8} + 0,069 \right) = 2,68$$

$$\varepsilon \Big|_{-24}^{-1} = 35,94 \cdot \left( \frac{0,14}{35,94 - 8} + 0,069 \right) = 2,66$$

$$E \Big|_{-1}^{+12} = \frac{57,18 \cdot 81 \cdot 24}{3,6} = 30877 \text{ kWh}$$

$$E \Big|_{-24}^{-1} = \frac{101,22 \cdot 155 \cdot 24}{2,66} = 141528 \text{ kWh}$$

**Zdyskontowany przeciętny koszt roczny całkowity:**

$$K_C^{\text{KO+ESPC}} = K_i + K_e = 8934 + 116065 = 124999$$

# WARIANT DRUGI – KOCIOŁ GAZOWY KONDENSACYJNY

**Koszty inwestycyjne - Koszt inwestycyjny w roku realizacji inwestycji:**

$$K_{i0} = K_{iKK} \cdot Q_{KK}^W = 330 \cdot 170 = 56100zł$$

**Zdyskontowany przeciętny koszt roczny inwestycyjny:**  $K_i = K_{i0} \cdot a = 56100 \cdot 0,12 = 6732zł/a$

**Koszty eksploatacyjne:**  $K_e = K_{eo}^P \cdot a \cdot d_P + K_{eo}^O \cdot a \cdot d_O$

**Koszty eksploatacyjne zużytego paliwa:**  $K_{eo}^P = K_{eoKK}^P$

**Koszty eksploatacyjne zużytego paliwa przez KK :**  $K_{eoKK}^P = k_{jg} \cdot \dot{V}_{gKK}$

**Zużycie gazu przez KK:**

$$\dot{V}_{gKK} = \frac{Q_B^{KK} \Big|_{-24}^{tp}}{Q_{jo}^r \cdot \eta_{KK} \Big|_{-24}^{tp}} + \frac{Q_B^{KK} \Big|_{tp}^{+12}}{Q_{jo}^r \cdot \eta_{KK} \Big|_{tp}^{+12}}$$

$$Q_B^{KK} \Big|_{tp}^{+12} = \bar{Q}_S \Big|_{-1}^{+12} n \cdot 24 \cdot 3600$$

**Średnia temperatura**  $\bar{t}_e \Big|_{-1}^{+12}$  dla  $(0 \leq t_e \leq +12^\circ C)$

$$t_e \left( \overline{t_{e2} - t_{e1}} \right) = \frac{\bar{t}_{e2} \cdot t_{e2}^n - \bar{t}_{e1} \cdot t_{e1}^n}{t_{e2}^n - t_{e1}^n} \quad \bar{t}_e \Big|_{-1}^{+12} = \frac{\bar{t}_e \Big|_{-24}^{+12} \cdot Z \Big|_{-24}^{+12} - \bar{t}_e \Big|_{-24}^{-1} \cdot Z \Big|_{-24}^{-1}}{Z \Big|_{-24}^{+12} - Z \Big|_{-24}^{-1}} = \frac{1,3 \cdot 236 - (-6,2 \cdot 81)}{236 - 81} = 5,2^\circ C$$



## Średnie zapotrzebowanie ciepła dla tej temperatury:

$$\dot{Q}_{-1}^{+12} = \dot{Q}_B^N \cdot \frac{t_i \cdot \bar{t}_e \Big|_{-1}^{+12}}{t_i - t_e^N} = 170 \cdot \frac{20 - 5,2}{20 + 24} = 57,18 \text{ kW}$$

## Ilość ciepła wytworzona przez kocioł kondensacyjny:

$$Q_B^{KK} \Big|_{-1}^{+12} = 57,18 \cdot 155 \cdot 24 \cdot 3600 = 7,65 \cdot 10^8 \text{ kJ / a}$$

## Średnia sprawność kotła kondensacyjnego dla $t_e \geq t_p$

$$\left[ \frac{\frac{t_1 + t_2}{2} - t_i}{\frac{t_1^N \cdot t_2^N}{2} - t_i} \right]^{1+m} = \frac{t_1 - t_2}{t_1^N - t_2^N} = \frac{t_i - t_e \Big|_{-1}^{+12}}{t_i - t_e^N}$$

$$\left[ \frac{\frac{t_1 + t_2}{2} - 20}{\frac{60 \cdot 45}{2} - 20} \right]^{1+0,33} = \frac{t_1 - t_2}{60 - 45} = \frac{20 - 5,2}{20 + 24}$$

$$t_1 = 36,85^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 31,8^\circ\text{C}$$

$$\eta_{KK} \Big|_{-1}^{+12} = \eta_{KK} \Big|_{60^\circ\text{C}} + \frac{\eta_{KK} \Big|_{30^\circ\text{C}} - \eta_{KK} \Big|_{60^\circ\text{C}}}{60 - 30} \cdot (60 - 31,8) = 107,5\%$$

**Ciepło wytwarzane przez KK w okresie  $t_e < t_p$**

$$Q_B^{KK} \Big|_{-24}^{-1} = 81,14 \cdot 81 \cdot 24 \cdot 3600 = 5,68 \cdot 10^8 \text{ kJ/a}$$

**Średnia sprawność kotła kondensacyjnego dla  $t_e < t_p$**

**Średnia temperatura**  $\bar{t}_e \Big|_{-24}^{-1}$   $\bar{t}_e \Big|_{-24}^{-1} = -6,2^\circ\text{C}$

$$\left[ \frac{\frac{t_1 + t_2}{2} - t_i}{\frac{t_1^N \cdot t_2^N}{2} - t_i} \right]^{1+m} = \frac{t_1 - t_2}{t_1^N - t_2^N} = \frac{t_i - t_e \Big|_{-1}^{+12}}{t_i - t_e^N}$$
$$\eta_{KK} \Big|_{-24}^{-1} = \eta_{KK} \Big|_{60^\circ\text{C}} + \frac{\eta_{KK} \Big|_{30^\circ\text{C}} - \eta_{KK} \Big|_{60^\circ\text{C}}}{60 - 30} \cdot (60 - 31,24) = 107,6\%$$
$$\left[ \frac{\frac{t_1 + t_2}{2} - 20}{\frac{60 \cdot 45}{2} - 20} \right]^{1+0,33} = \frac{t_1 - t_2}{60 - 45} = \frac{20 - 6,2}{20 + 24}$$
$$V_{gKK} = \frac{7,65 \cdot 10^8}{47000 \cdot 1,075} + \frac{5,68 \cdot 10^8}{47000 \cdot 1,076} = 29372,5 \text{ kg/a} = 36126,8 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$t_1 = 35,94^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 31,24^\circ\text{C}$$

**Koszt eksploatacyjny:**  $K_{eoKK}^P = 0,7 \cdot 36126,8 = 25289 \text{ z1/a}$

**Koszt eksploatacyjny obsługi**  $K_{eo}^O = 0,08 \cdot 6732 = 538,56 \text{ z1/a}$

$$K_e = 25289 \cdot 0,12 \cdot 9,34 + 538,56 \cdot 0,12 \cdot 7,59 = 28834 \text{ z1/a}$$

## Zdyskontowany przeciętny roczny koszt całkowity:

$$K_C^{KK} = 28834 + 6732 = 35566 \text{zł/a}$$

**Z przeprowadzonej analizy wynika, że wariant drugi jakim jest samodzielnie pracujący kondensacyjny kocioł grzewczy jest ekonomicznie lepszym rozwiązaniem**

## **Przeanalizować opłacalność zastosowania rekuperatora ciepła w układzie wentylacyjnym budynku**

**Dane: kubatura powierzchni wentylowanej w budynku 1200m<sup>3</sup>, liczba wymian powietrza dla pracy podstawowej 0,9/h, a dla pracy oszczędnej 0,3/h, średnia temperatura powietrza w pomieszczeniach w okresie pracy podstawowej +20°C, a w okresie pracy oszczędnej +16°C, sprawność wymiennika ciepła w okresie pracy podstawowej 0,58, a w okresie pracy oszczędnej 0,55. Budynek znajduje się w III strefie klimatycznej, temperatura końca okresu ogrzewania +12°C, koszt rekuperatora 6300zł (żywność 22 lat). Koszt jednostkowy energii elektrycznej 0,5 zł/kWh, nagrzewnica w układzie wentylacyjnym zasilana jest przez kocioł grzewczy olejowy, którego średnia sprawność roczna wynosi 0,92, wartość opałowa oleju 44500 kJ/kg, koszt jednostkowy oleju 1,70 zł/dm<sup>3</sup>, czas pracy podstawowej układu wentylacyjnego i grzewczego 17 h/dobę, spadek ciśnienia przy przepływie powietrza przez rekuperatora: w okresie pracy podstawowej 60 Pa, a w okresie pracy oszczędnej 17 Pa. Założyć, że w czasie pracy poza okresem grzewczym wymiennik jest zastąpiony wkładką, której opór możemy pominąć. Przyjąć, że temperatury powietrza usuwanego są równe temperaturze powietrza w pomieszczeniu**

**Pominać:** koszty obsługi i montażu, zmiany mocy nominalnej wentylatora i kotła ogrzewanego na skutek zastosowania rekuperatora. Założyć stałą sprawność wentylatora 0,72. **Przyjąć:** współczynnik kosztów energii elektrycznej 5%, współczynnik wzrostu kosztów paliwa 4%, stopa dyskonta 8%. Brakujące wartości dobrać wg obowiązujących cenników. Opłacalność uzasadnić poprzez określenie średnich rocznych kosztów całkowitych. Wyznaczyć wartość NPV (z normy PN-82/B-02020 odczytano liczbę dni w których temperatura jest niższa od + 12°C; n = 217 dni, zaś średnia temperatur w tym okresie wynosi +2,1°C).

**Wielkości ekonomiczne:**  $q = 1 + \frac{r}{100} = 1 + \frac{8}{100} = 1,08$

$$a = \frac{q^n (q - 1)}{q^n - 1} = \frac{1,08^{22} (1,08 - 1)}{1,08^{22} - 1} = 0,098$$

**Współczynnik wzrostu kosztów cen energii elektrycznej:**

$$K_{ee} = 1 + \frac{e_e}{100} = 1 + \frac{5}{100} = 1,05 \quad d_{el} = \frac{q^n - (K_{ee})^n}{q^n (q - K_{ee})} = \frac{1,08^{22} - 1,05^{22}}{1,08^{22} (1,08 - 1,05)} = 15,40$$

**Współczynnik wzrostu cen paliwa:**

$$K_{ep} = 1 + \frac{e_p}{100} = 1 + \frac{4}{100} = 1,04 \quad d_{ep} = \frac{q^n - (K_{ep})^n}{q^n (q - K_{ep})} = \frac{1,08^{22} - 1,04^{22}}{1,08^{22} (1,08 - 1,04)} = 14,10$$

**Wariant bez rekuperatora.** Maksymalne zapotrzebowanie ciepła do ogrzania powietrza w układzie wentylacyjny. W okresie pracy podstawowej

$$Q_{pod}^N = \rho(V_w)_{pod} c_p \Delta t = 1,2 \frac{1200 * 0,9}{3600} 1 * (20 + 20) = 14,4 kW$$

**W okresie pracy oszczędnej**

$$Q_{oszcz}^N = \rho(V_w)_{oszcz} c_p \Delta t = 1,2 \frac{1200 * 0,3}{3600} 1 * (16 + 20) = 4,32 kW$$

$$E_{pod} = \rho(V_w)_{pod} c_p \Delta t_R h = 1,2 \left[ \frac{1200 * 0,9}{3600} \right] * 1,0 * (20 - 2,1) \left( 217 * \frac{17}{24} 24 \right) = 23771,92 kWh = 85,58 GJ$$

**W okresie pracy oszczędnej**

$$E_{oszcz} = \rho(V_w)_{oszcz} c_p \Delta t_R h = 1,2 \left[ \frac{1200 * 0,3}{3600} \right] * 1,0 * (16 - 2,1) \left( 217 * \frac{21-17}{24} 24 \right) = 1447,82 kWh = 5,21 GJ$$

**Roczne zużycie paliwa w roku zerowym**

$$V_p = \frac{E}{Q_j \eta_{kot} \rho_{ol}}$$

**W okresie pracy podstawowej**

$$V_{pp} = \frac{85,58 * 10^6 kJ}{44500 * 860 * 0,92} = 2,431 \frac{m^3}{a} = 2431 \frac{dm^3}{a}$$

**W okresie pracy oszczędnej**  $V_{po} = \frac{5,21 * 10^6 kJ}{44500 * 860 * 0,92} = 0,148 \frac{m^3}{a} = 148 \frac{dm^3}{a}$

**Całkowite roczne zużycie paliwa**  $V_{PC} = V_{pp} + V_{po} = 2431 + 148 = 2579 \frac{dm^3}{a}$

**Roczny koszt eksploatacyjny kotła grzewczego olejowego**  $K_e = V_{pc} * k_{jp} = 2579 * 1,70 = 4384,3 \frac{zl}{a}$

**Przeciętny zdyskontowany koszt całkowity**  $K_{c1} = K_e * a * d_{ep} = 4384,3 * 0,098 * 14,1 = 6058,22 \frac{zl}{a}$

## **Wariant z zastosowaniem rekuperatora.**

**Ilość ciepła odzyskana przy temperaturze nominalnej. W okresie pracy podstawowej**

$$Q_{opod} = Q_{pod}^N * \eta_{rpod} = 14,4 * 0,58 = 8,352 kW$$

**W okresie pracy oszczędnej**

$$Q_{ooszcz} = Q_{oszcz}^N * \eta_{roszcz} = 4,32 * 0,55 = 2,376 kW$$

**Roczna ilość zaoszczędzonej energii. W okresie pracy podstawowej**

$$E_{rpod}^o = E_{pod} * \eta_{rpod} = 85,58 * 0,58 = 49,64GJ$$

**W okresie pracy oszczędnej**  $E_{roszcz}^o = E_{oszcz} * \eta_{roszcz} = 5,21 * 0,55 = 2,86GJ$

**Roczna ilość paliwa potrzebna do ogrzania powietrza**

$$V_{epal} = \frac{(E_{pod} - E_{rpod}^o)}{Q_j * \rho_{ol} * \eta_k} + \frac{(E_{oszcz} - E_{roszcz}^o)}{Q_j * \rho_{ol} * \eta_k} =$$
$$\frac{(85,58 - 49,64) * 10^6}{44500 * 860 * 0,92} + \frac{(5,21 - 2,86) * 10^6}{44500 * 860 * 0,92} = 1,087 \frac{m^3}{a} = 1087 \frac{dm^3}{a}$$

**Roczny koszt paliwa**  $K_{ep}^o = V_{epal} * k_{jpal} = 1087 * 1,7 = 1847,9 \frac{zl}{a}$

**Zyski energii elektrycznej uzyskanej z wentylatora. Dodatek mocy wentylatora. W okresie pracy podstawowej**

$$P_{pod} = \frac{(V_w)_{pod} * \Delta p_{pod}}{\eta_w} = \frac{1200 * 0,9 * 60}{3600 * 0,72} = 25W$$

**W okresie pracy oszczędnej**

$$P_{oszcz} = \frac{(V_w)_{oszcz} * \Delta p_{oszcz}}{\eta_w} = \frac{1200 * 0,3 * 17}{3600 * 0,72} = 2,36W$$

**Roczne zapotrzebowanie energii.**

$$E_{wpod} = P_{pod} * n * 24 \frac{17}{24} =$$

**W okresie pracy podstawowej**

$$\frac{25}{100} * 217 * 24 \frac{17}{24} = 92,225kWh/a$$

$$E_{woszcz} = P_{oszcz} * n * 24 \frac{17}{24} =$$

**W okresie pracy oszczędnej**

$$\frac{2,36}{100} * 217 * 24 \frac{24-17}{24} = 3,585kWh/a$$

**Całkowite zapotrzebowanie**

**energii**

$$E_{wc} = E_{wpod} + E_{woszcz} = 92,225 + 3,585 = 95,81 kWh/a$$

**Roczny koszt energii elektrycznej**

$$K_{eel}^o = E_{wc} * k_{jel} = 95,81 * 0,5 = 47,90 \frac{zł}{a}$$



## Przeciętny zdyskontowany koszt całkowity

$$K_e = K_{ep}^o * a * d_{ep} + K_{eel}^o * a * d_{el} = 1847,9 * 0,098 * 14,10 + 47,90 * 0,098 * 15,40 = 2625,72 \frac{zł}{a}$$

**Koszt inwestycyjny rekuperatora**  $K_i^o = 6300zł$

**Zdyskontowany skumulowany roczny koszt inwestycyjny**  $K_i = K_i^o * a = 6300 * 0,098 = 617,4 \frac{zł}{a}$

**Przeciętny zdyskontowany koszt całkowity**  $K_{c2} = K_i + K_e = 617,4 + 2625,72 = 3243,12 \frac{zł}{a}$

**Wartość bieżąca netto NPV.** Roczny przeciętny zdyskontowany zysk całkowity w wyniku zastosowania rekuperatora wynosi:

$$K_{c1} - K_{c2} = 6058,22 - 3243,12 = 2815,1 \frac{zł}{a}$$

**Koszt rekuperatora 6300 zł o żywotności 22 lata daje**

$$\text{NPV} = - 6300 + 37159,32 = 30859,32 \text{ zł}$$

# Analiza opłacalności energetycznej i ekonomicznej zastosowania ogrzewania i chłodzenia układu powietrznego z gruntowym wymiennikiem ciepła dla budynku jednorodzinnego

Budynek jednorodzinny dwu kondygnacyjny o łącznej kubaturze 490m<sup>3</sup> (III strefa klimatyczna). Wyposażony jest w kocioł gazowy kondensacyjny oraz w wentylację mechaniczną nawiewno–wywiewną z odzyskiem ciepła (rekuperatorem). Rozpatrywany jest przypadek zainstalowania gruntowego wymiennika ciepła wspomagającego centralę wentylacyjną – zimą odpowiada za podgrzanie wstępne powietrza, a latem za schłodzenie. Przyjęto, zapotrzebowanie na ciepło wynosi 25 W/m<sup>3</sup>

## Koszt ogrzewania budynku z istniejącym źródłem ciepła

Nominalne zapotrzebowanie  $Q_N = V \cdot q = 490 \text{ m}^3 \cdot 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} = 12,25 \text{ kW}$

Średnie zużycie gazu w sezonie grzewczym; producent kotła [Vitodens 300-W](#) podaje zużycie gazu dla nominalnego zużycia na poziomie 1,87 m<sup>3</sup>/h. Przyjęto że kocioł pracuje na 80% nominalnego zapotrzebowania i zużywa 1,5 m<sup>3</sup>/h

Roczne zapotrzebowanie; czas trwania okresu grzewczego 01.10 – 31.03 (182 dni)

$$Q_a = Q_N \cdot 24 \cdot 182 = 12,25 \cdot 24 \cdot 182 = 53508 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}}$$

**Roczna oszczędność przy zastosowaniu GWC (osobne obliczenia) – pokrywa 5% zapotrzebowania na ogrzanie**  $Q_o = 2768,5 \text{ kWh/rok}$

**Roczny koszt za zużyty gaz; koszt jednostkowy: 1,2 zł/m<sup>3</sup>**

$$K_a = 1,5 \cdot K_j \cdot 24 \cdot 182 = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 182 = 7862,4 \text{ zł/rok}$$

**Roczna oszczędność przy zastosowaniu GWC**

$$K_g = 1,5 \cdot K_j \cdot 24 \cdot 11 = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 11 = 475,2 \text{ zł/rok}$$

**Koszt chłodzenia budynku (przy założeniu, że temperatura powietrza obniżona zostanie o 5 K)**

**Nominalne zapotrzebowanie na chłód (osobne obliczenia) –  $Q_{ch} = 6,065 \text{ kW}$**

**Roczne zapotrzebowanie przy założeniu że w roku jest 25 dni gdy o temperaturze zewnętrznej wyższej niż +25°C**

$$Q_a = Q_{ch} \cdot 24 \cdot 25 = 6,065 \cdot 24 \cdot 25 = 3639 \text{ kWh/rok}$$

**Roczna oszczędność przy zastosowaniu GWC (osobne obliczenia)**

$$Q_0 = 1037,7 \text{ kWh/rok}$$

**Koszt jednostkowy energii elektrycznej 0,324 zł/kWh; roczny koszt energii elektrycznej**

$$K_{e-ch} = Q_{ch} \cdot 24 \cdot 25 \cdot 0,324 = 6,065 \cdot 24 \cdot 25 \cdot 0,324 = 1179,04 \text{ zł/rok}$$

**Roczna oszczędność przy zastosowaniu GWC**

$$K_{e-GWC} = Q_0 \cdot 0,324 = 1037,7 \cdot 0,324 = 336,21 \text{ zł/rok}$$

## Koszt inwestycji zamontowania gruntowego wymiennika ciepła (Rehau)

	<b>Materiały</b>	<b>szt.</b>	<b>cena jedn.</b>	<b>z VAT</b>
1	Rury AWADUKT Thermo do DN 200 - 6m	5	534	651,48
2	Kolano AWADUKT PP	10	112	136,64
3	Rury AWADUKT Thermo do DN 200 - 5m	5	141	172,02
4	Wieżowa czerpnia powietrza AWADUKT Thermo	1	2116	2581,52
5	Komplet filtrów AWADUKT Thermo	1	236	287,92
6	Studnia zbierająca kondensat AWADUKT Thermo	1	1076	1312,72
7	Właz żeliwny AWADUKT Thermo	1	584	712,48
8	Odływ kondensatu AWADUKT Thermo	1	513	625,86
9	Syfon kulowy AWADUKT Thermo	1	276	336,72
10	Przejście szczelne* AWADUKT Thermo	1	56	68,32
	<b>SUMA</b>			<b>6885,68</b>

Założono, że montaż gruntowego wymiennika ciepła wyniesie 3000zł; całkowity koszt inwestycji (*I*) wyniesie **9885,68 zł**

**Analiza opłacalności - sumaryczny koszt ogrzewania i chłodzenia budynku**

$$K_s = K_g + K_{ch} = + 1179,04 = 9041,44 \text{ zł/rok}$$

**Sumaryczna oszczędność kosztów ogrzewania i chłodzenia budynku po zainstalowaniu GWC**  $K_{so} = K_g - K_c = 475,2 + 336,21 = 811,41 \text{ zł/rok}$

**Prosty czas zwrotu inwestycji SPBT**  $SPBT = \frac{I}{K_o} = \frac{9885,68}{811,41} = 12,18 \text{ lat}$