

**Instytut
Inżynierii Budowlanej**

**Wydział
Inżynierii Lądowej**

**Politechnika
Warszawska**



al. Armii Ludowej 16, p. 225
00-637 Warszawa
tel. +48 (22) 234 65 56
tel. +48 (22) 825 65 32
fax: +48 (22) 825 65 32
iib@il.pw.edu.pl
iib.il.pw.edu.pl

Określenie głównych zalet ocieplania budynków istniejących
oraz wpływu termomodernizacji na ograniczenie smogu
(niskiej emisji)

Autorzy opracowania:

dr inż. Szymon Firląg

mgr inż. Agnieszka Wójcicka

inż. Adrian Chmielewski

Zlecniodawca:

TERMO ORGANIKA Sp. z o.o.

ul. Bolesława Prusa 33

30-117 Kraków

Spis treści

1.	Model obliczeniowy i przyjęte założenia	3
2.	Główne zalety ocieplania przegród	8
3.	Wariant 0 – stan istniejący	13
4.	Wariant 1 – wymiana kotła.....	14
5.	Wariant 2 – ocieplenie przegród	15
6.	Wariant 3 – kompleksowa termomodernizacja zaawansowana.....	16
7.	Analiza wariantów	17
8.	Wnioski	27

1. Model obliczeniowy i przyjęte założenia

Wprowadzenie

Na podstawie opracowania „Efektywność Energetyczna Budynków w Polsce, Przegląd z 2013 roku”, wiadomo, że standard energetyczny 72% jednorodzinnych budynków mieszkalnych jest niski albo bardzo niski. Wysokie zapotrzebowanie na energię w budynkach wynika w głównej mierze z historycznych oraz częściowo z obecnie obowiązujących wymagań dotyczących efektywności energetycznej. Zmiany w polskich przepisach budowlanych powinny przyczynić się do zmniejszenia strat ciepła poprzez przegrody, a tym samym ograniczyć zużycie energii do ogrzewania. W Tablicy 1.1 określono minimalny poziom izolacyjności przegród zewnętrznych U [W/m^2K].

Tablica 1.1. Zestawienie maksymalnego współczynnika przenikania ciepła $U_{C(max)}$ dla wybranych przegród budowlanych, na przestrzeni lat (źródło: Finansowanie poprawy efektywności energetycznej budynków w Polsce; BPIE 2016)

Okres	Przepisy	Ściana zewnętrzna	Dach	Strop nad nieogrzewaną piwnicą	Strop pod nieogrzewanym poddaszem
		$U_{C(max)}$ [$W/(m^2K)$]			
1957 - 1964	PN-57/B-024051	1,16; 1,42	0,87	1,16	1,04; 1,16
1964 - 1974	PN-64/B-034041	1,16	0,87	1,16	1,04; 1,16
1974 - 1982	PN-74/B-034042	1,16	0,70	1,16	0,93
1982 - 1991	PN-82/B-020202	0,75	0,45	1,16	0,40
1991 - 2002	PN-91/B-020202	0,55; 0,70	0,30	0,60	0,30
2002 - 2008	Dz. U. 2002 poz. 690	0,30; 0,50	0,30	0,60	0,30
2009 - 2013	Dz. U. 2008 poz. 1238	0,30	0,25	0,45	0,25
2014 - 2016	Dz. U. 2013 poz. 926	0,25	0,20	0,25	0,20
2017 - 2020		0,23	0,18	0,25	0,18
od 2021		0,20	0,15	0,25	0,15

Niska efektywność energetyczna dotyczy zwłaszcza budynków jednorodzinnych usytuowanych na terenach wiejskich. W publikacji "Efektywność energetyczna w Polsce przegląd 2015"¹ pokazano, że większość budynków jednorodzinnych nie posiada izolacji termicznej lub są one ocieplone jedynie częściowo.

¹ Efektywność energetyczna w Polsce przegląd 2015, Instytut Ekonomii Środowiska 2016, Kraków

Jednocześnie 70% budynków jednorodzinnych ogrzewanych jest przy użyciu węgla, co powoduje że w Polsce jest około 3,5 milionów kotłów węglowych (zużywają one łącznie 9 milionów ton węgla w ciągu roku). Wśród wykorzystywanych kotłów węglowych przeważają urządzenia wiekowe. Udział stosunkowo nowych kotłów, do 3 lat, wynosi zaledwie 23%. Dalsze 37% kotłów to już urządzenia w wieku od 4 do 10 lat. Pozostałe 40% kotłów ma 10 lat i więcej. Średni wiek kotłów retortowych (7,5 roku) jest znacznie niższy niż zasypowych (10,5 roku). Wśród kotłów zasypowych udział kotłów dziesięcioletnich i starszych wynosi 44%. Oznacza to, że znacznie ponad milion budynków ogrzewanych jest urządzeniami wyeksploatowanymi, cechującymi się niską efektywnością spalania i bardzo wysokimi wartościami emisyjności. W konsekwencji zgodnie z danymi Ministerstwa Środowiska indywidualne ogrzewanie budynków mieszkalnych odpowiada za 40% emisji pyłu zawieszonego PM10 oraz 78% emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, w tym rakotwórczego benzo(a)pirenu.

Można sformułować wniosek, że Polacy zamieszkują w niedostatecznie zaizolowanych budynkach. Szacuje się, że problem ten dotyczy ponad 70% jednorodzinnych domów mieszkalnych w Polsce (około 3,6 mln). Budynki te są najczęściej wyposażone w przestarzałe systemy grzewcze oparte na spalaniu węgla będące głównym źródłem smogu. Większość budynków, bez izolacji termicznej zostało wzniesionych przed 1989 r. Zaledwie 1% wszystkich budynków w Polsce można uznać za energooszczędne, przede wszystkim te, które zostały zbudowane w ciągu ostatnich kilku lat.

Model obliczeniowy

Na rysunku 1.1. przedstawiono zdjęcie poglądowe budynku jednorodzinnego wybudowanego w 1980 roku w Warszawie. Charakteryzuje się on rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi typowymi dla budownictwa jednorodzinnego sprzed 1989 roku. Przedstawiony budynek został przyjęty jako referencyjny dla wskazanego okresu i posłużył za model obliczeniowy do dalszej analizy.



Rysunek 1.1. Zdjęcie poglądowe budynku referencyjnego

Budynek wybudowany w technologii tradycyjnej, ma dwie kondygnacje nadziemne i jest całkowicie podpiwniczony. Ściany murowane ze słabo wentylowaną szczeliną powietrza. Stropy między kondygnacyjne oraz konstrukcja stropodachu pełnego wykonane w technologii stropu gęstożebrowego DZ-3. Wentylacja naturalna. W tablicy 1.2. przedstawiono dane geometryczne budynku.

Tablica 1.2. Dane geometryczne budynku

1. liczba kondygnacji	3
2. powierzchnia zabudowy	107 m ²
3. kubatura części ogrzewanej	326 m ³
4. powierzchnia o regulowanej temperaturze	125,4 m ²
5. współczynnik kształtu A/V	0,57

W tablicach 1.3., 1.4. i 1.5. wyszczególniono warstwy przegród zewnętrznych poddawanych termomodernizacji i ich współczynniki przenikania ciepła (zgodnie z PN-EN ISO

6946). Przyjęto współczynnik przenikania ciepła dla wymienionej stolarki okiennej 1,6 W/(m²K) i drzwiowej równy 2,5 W/(m²K).

Tablica 1.3. Ściana zewnętrzna budynku

Sz	Ściana zewnętrzna			
l.p.	warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1.	powierzchnia wewnętrzna - R _{si}	-	-	0,130
2.	tynek cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
3.	mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 600 kg/m ³	0,240	0,300	0,800
4.	puszka powietrzna słabo wentylowana	0,060	-	0,090
5.	mur z cegły dziurawki, na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 1400 kg/m ³	0,065	0,620	0,105
6.	tynek cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
7.	powierzchnia zewnętrzna - R _{se}	-	-	0,040
		d =	0,41	m
		R _T =	1,214	(m ² K)/W
		U =	0,82	W/m²K

Tablica 1.4. Strop nad piwnicą budynku

St	Strop nad piwnicą			
l.p.	warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1.	powierzchnia wewnętrzna - R _{si}	-	-	0,170
2.	parkiet dębowy	0,030	0,220	0,136
3.	podkład z betonu chudego - beton zwykły z kruszywa kamiennego, gęstość 2200 kg/m ³	0,070	1,300	0,054
4.	strop gęstożebrowy dz-3	0,240	-	0,260
5.	tynek cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
6.	płyta pilśniowa twarda, gęstość 1000 kg/m ³	0,030	0,180	0,167
7.	powierzchnia zewnętrzna - R _{se}	-	-	0,170
		d =	0,39	m
		R _T =	0,981	(m ² K)/W
		U =	1,02	W/m²K

Tablica 1.5. Dach (stropodach pełny) budynku

D	Stropodach pełny			
l.p.	warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1.	powierzchnia wewnętrzna - R _{si}	-	-	0,100
2.	tynek cementowo wapienny	0,02	0,820	0,024
3.	strop gęstożebrowy dz-3	0,24	-	0,260
4.	żużel wielkopiecowy granulowany, gęstość 700 kg/m ³	0,19	0,200	0,950

5. podkład z betonu chudego - beton zwykły z kruszywa kamiennego, gęstość 2200 kg/m ³	0,03	1,300	0,023
6. papa asfaltowa	0,01	0,180	0,056
7. powierzchnia zewnętrzna - R _{se}	-	-	0,040
d = 0,49 m			
R _T = 1,453 (m ² K)/W			
U = 0,69 W/m ² K			

Źródłem ciepła w budynku jest stary kocioł węglowy zasypowy. Grzejniki nie są wyposażone w zawory termostatyczne. Ciepła woda użytkowa jest przygotowywana w podgrzewaczu starego typu zasilanym z kotła węglowego.

Koszt energii

Do obliczeń przyjęto, że w wariantcie bazowym mieszkańcy będą wykorzystywać miks paliwowy. Natomiast po modernizacji zakładającej wymianę kotła na węglowy 5 klasy ekogroszek.

Tablica 1.6. Koszt wytworzenia energii w zależności od nośnika

lp.	rodzaj paliwa	wartość opałowa	koszt paliwa	koszt	
				zł/kWh	zł/GJ
1.	energia elektryczna	-	0,55 zł/kWh	0,55	153
2.	gaz ziemny	34,4 MJ/kg	1,70 zł/m ³	0,18	49
3.	olej opałowy*	42,6 MJ/kg	2,85 zł/l	0,28	78
4.1.	węgiel kamienny - kostka	25,0 MJ/kg	0,80 zł/kg	0,12	32
4.2.	węgiel kamienny - orzech	27,0 MJ/kg	0,75 zł/kg	0,10	28
4.3.	węgiel kamienny - miał	23,0 MJ/kg	0,45 zł/kg	0,07	20
5.	ekogroszek	27,0 MJ/kg	0,92 zł/kg	0,12	34
6.	pellet	19,0 MJ/kg	0,80 zł/kg	0,15	42
7.	drewno opałowe - brzoza**	20,1 MJ/kg	0,38 zł/kg	0,07	19
8.	miks paliwowy (wariant bazowy)	24 MJ/kg	-	0,09	26
	węgiel kamienny - kostka 30%	25,0 MJ/kg	0,80 zł/kg	0,12	32
	węgiel kamienny - orzech 30%	27,0 MJ/kg	0,75 zł/kg	0,10	28
	węgiel kamienny - miał 15%	23,0 MJ/kg	0,45 zł/kg	0,07	20
	drewno opałowe - brzoza 20%	20,1 MJ/kg	0,38 zł/kg	0,07	19
	drewno opałowe - własne 5%	20,1 MJ/kg	0 zł/kg	0,07	19

*olej opałowy 2,85 zł/l, gęstość 860 kg/m³

**drewno kominkowe brzoza (1 mp = 0,65 m³), gęstość 650 kg/m³ - 15% wilgotności, 160 zł/mp

2. Główne zalety ocieplania przegród

Do zobrazowania głównych zalet ocieplania przegród posłużyła analiza wykonana programem symulacyjnym THERM. W programie określono pole temperatur i współczynnik U dla naroża ściany zewnętrznej przed i po zaizolowaniu.

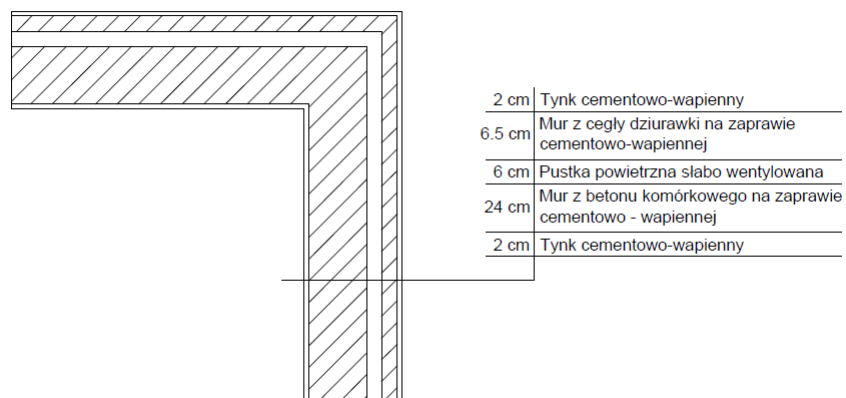
Przegroda ściany zewnętrznej bez ocieplenia

Tabela 2.1. Zestawienie materiałów - przegroda bez ocieplenia

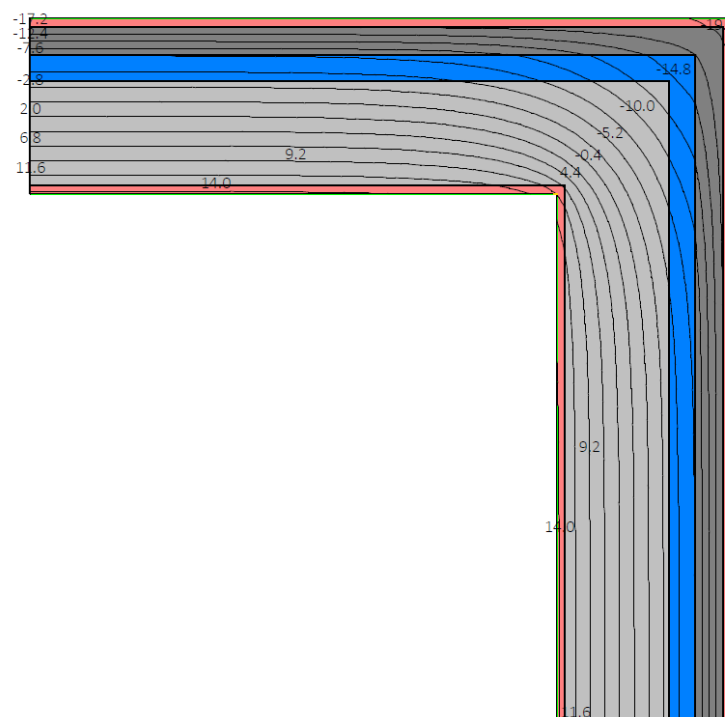
	Ściana zewnętrzna #1			
I.p.	Warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1.	Powierzchnia wewnętrzna - R _{si}	-	-	0,130
2.	Tynk cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
3.	Mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 600 kg/m ³	0,240	0,300	0,800
4.	Pustka powietrzna słabo wentylowana	0,060	-	0,090
5.	Mur z cegły dziurawki, na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 1400 kg/m ³	0,065	0,620	0,105
6.	Tynk cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
7.	Powierzchnia zewnętrzna - R _{se}	-	-	0,040

Wartość współczynnika przenikania ciepła obliczona programem THERM: $U = 0,82 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Obliczenia zostały wykonane dla następujących wartości temperatur: $T_{\text{wewn}} = 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{zewn}} = -20^\circ\text{C}$ (strefa III) oraz dla poziomego przepływu ciepła.

Najniższa temperatura od strony wewnętrznej znajduje się w narożniku i miejscowo osiąga wartość: $T_{\text{min}} = 9,8^\circ\text{C}$, w pozostałych miejscach na powierzchni wewnętrznej odczyt temperatury wynosi: $T = 13^\circ\text{C} \div 14^\circ\text{C}$. Dla temperatury wewnętrznej 20°C i wilgotność względnej powietrza wewnętrznego 50% ryzyko rozwoju pleśni występuje w przypadku, gdy temperatura powierzchni spada poniżej $12,6^\circ\text{C}$.



Rysunek 2.1. Detal naroża ściany zewnętrznej bez ocieplenia



Rysunek 2.2. Przebieg izoterm - detal naroża ściany zewnętrznej bez ocieplenia



Rysunek 2.3. Termogram - detal naroża ściany zewnętrznej bez ocieplenia

Przegroda ściany zewnętrznej z ociepleniem styropianem fasadowym

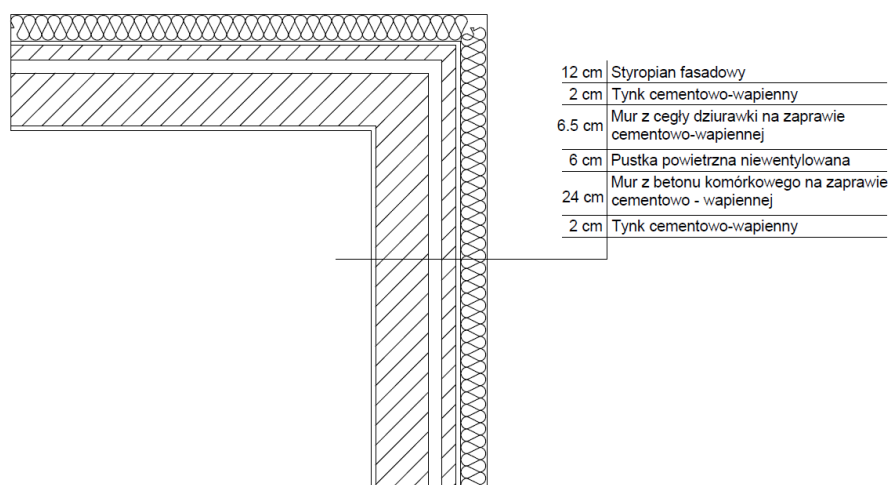
Na potrzeby analizy przyjęto, że ściana zostanie ocieplona 12 centymetrowymi płytami styropianu fasadowego o współczynniku $\lambda=0,033$ W/mK. Pozwoli to na spełnienie wymagań dotyczących izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych dla modernizowanych budynków zgodnie z Warunkami Technicznymi na rok 2021. Przyjęte rozwiązanie przewyższa obecne wymagania i uwzględnia planowane w niedługim czasie zmiany.

Tabela 2.2. Zestawienie materiałów w przegrodzie ocieplonej styropianem fasadowym

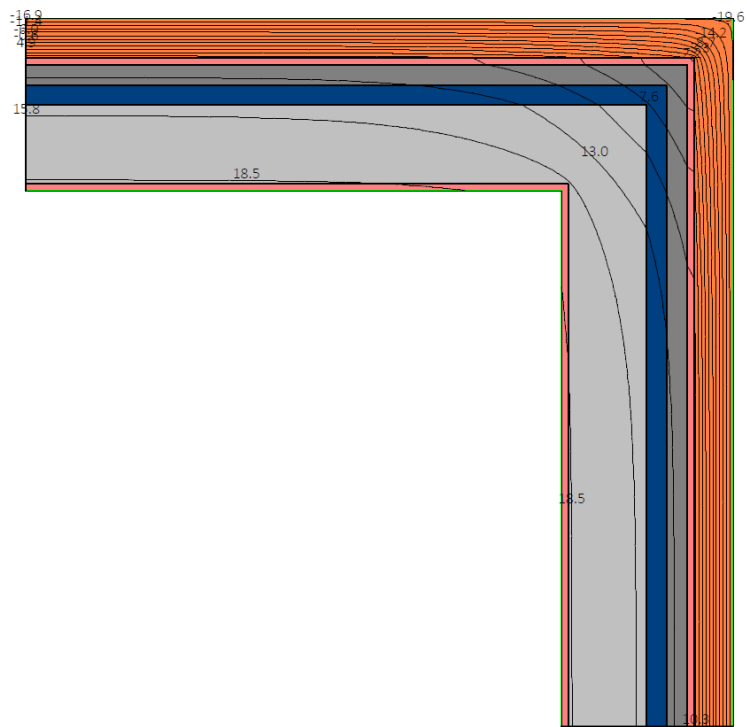
	Ściana zewnętrzna #2			
l.p.	Warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1.	Powierzchnia wewnętrzna - R _{si}	-	-	0,130
2.	Tynk cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
3.	Mur z betonu komórkowego na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 600 kg/m ³	0,240	0,300	0,800
4.	Pustka powietrzna niewentylowana	0,060	-	0,180
5.	Mur z cegły dziurawki, na zaprawie cementowo-wapiennej, gęstość 1400 kg/m ³	0,065	0,620	0,105
6.	Tynk cementowo wapienny	0,020	0,820	0,024
7.	Styropian fasadowy	0,120	0,033	3,636
8.	Powierzchnia zewnętrzna - R _{se}	-	-	0,040

Wartość współczynnika przenikania ciepła obliczona programem THERM: $U = 0,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Obliczenia zostały wykonane dla następujących wartości temperatur: $T_{\text{wewn}} = 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{zewn}} = -20^\circ\text{C}$ (strefa III) oraz dla poziomego przepływu ciepła.

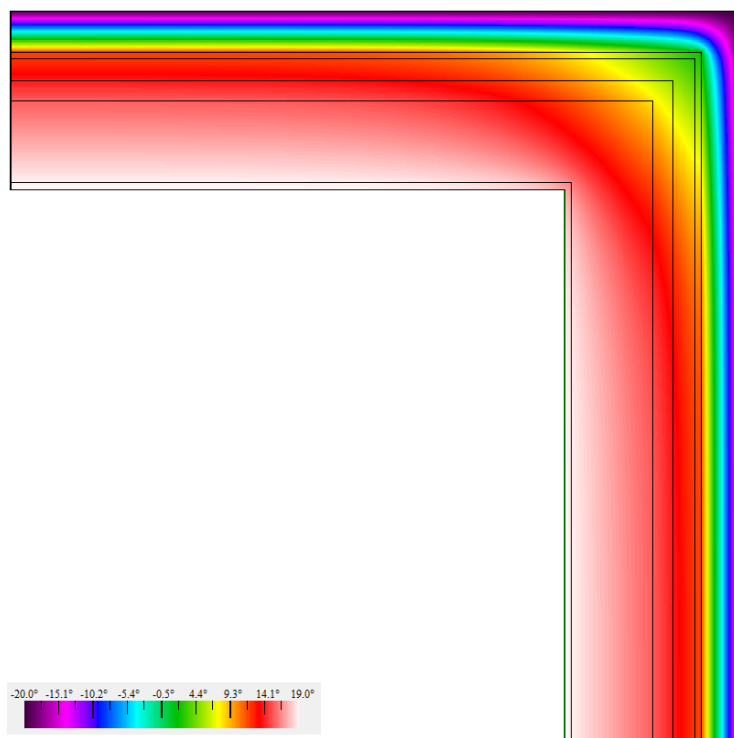
Najniższa temperatura od strony wewnętrznej znajduje się w narożniku i miejscowo osiąga wartość: $T_{\text{min}} = 16,9^\circ\text{C}$, w pozostałych miejscach na powierzchni wewnętrznej odczyt temperatury wynosi: $T = 18,5^\circ\text{C} \div 18,9^\circ\text{C}$. Ocieplenie przegrody ograniczyło ryzyko rozwoju pleśni.



Rysunek 2.4. Detal naroża ściany zewnętrznej ocieplonej styropianem fasadowym



Rysunek 2.5. Przebieg izoterm - detal naroża ściany zewnętrznej ocieplonej styropianem fasadowym



Rysunek 2.6. Termogram - detal naroża ściany zewnętrznej ocieplonej styropianem fasadowym

3. Wariant 0 – stan istniejący

Przegrody zewnętrzne

Tablica 3.1. Izolacyjność cieplna przegród zewnętrznych budynku

lp.	przegroda zewnętrzna	obmiar	jedn.	U W/m ² K
1.	ściana zewnętrzna	198,9	m ²	0,82
2.	strop nad piwnicą	63,6	m ²	1,02
3.	dach - stropodach pełny	65,0	m ²	0,69
4.	okna	27,2	m ²	1,60
5.	drzwi zewnętrzne	1	szt.	2,50

System wentylacji

Wentylacja naturalna działająca prawidłowo.

System ogrzewania

Kocioł węglowy wyprodukowany w latach 80. XX wieku. Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi z regulacją centralną. Zaizolowane przewody.

$$\eta_{H,tot_W0} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} = 0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,90 \cdot 1 = 0,50$$

System przygotowania ciepłej wody użytkowej

Roczne zapotrzebowania na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej:

$$Q_{W,nd} = V_{wi} \cdot A_f \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_w - \theta_0) \cdot k_r \cdot t_r / 3600$$

$$Q_{W,nd} = 1,4 \cdot 125,4 \cdot 1 \cdot 4,19 \cdot (55 - 10) \cdot 0,9 \cdot 365 / 3600 = 3021 \text{ kWh/rok} = 10,88 \text{ GJ/rok}$$

System przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku jednorodzinnym z zasobnikiem wyprodukowanym przed 1995 r. Kocioł węglowy wyprodukowany w latach 80. XX wieku.

$$\eta_{W,tot_W0} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,e} = 0,65 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 1,0 = 0,23$$

4. Wariant 1 – wymiana kotła

Przegrody zewnętrzne

Bez zmian

System wentylacji

Bez zmian

System ogrzewania

Wymiana starego kotła węglowego na nowy kocioł retortowy klasy 5 o średniej sprawności wytwarzania ciepła 82%. Brak innych zmian w instalacji c.o.

$$\eta_{H,tot_WI} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} = 0,82 \cdot 0,85 \cdot 0,90 \cdot 1 = 0,63$$

System przygotowania ciepłej wody użytkowej

Wymiana starego kotła węglowego na nowy kocioł retortowy klasy 5 o średniej sprawności wytwarzania ciepła 82%. Brak innych zmian w instalacji c.w.u.

$$\eta_{W,tot_WI} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,e} = 0,82 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 1,0 = 0,30$$

Energia pomocnicza

Napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania

$$E_{el,pom} = q_{el} \cdot t_{el} \cdot A_f \cdot 10^{-3} = 0,50 \cdot 2520 \cdot 125,4 \cdot 10^{-3} = 158 kWh$$

Zakładany koszt wymiany kotła

Tablica 4.1. Zestawienie kosztów modernizacji dla *Wariantu 1*

lp.	element	koszt (z VAT)
1.	wymiana źródła ciepła na kocioł węglowy 5 klasy	10 000 zł
Koszt termomodernizacji instalacji:		10 000 zł

5. Wariant 2 – ocieplenie przegród

Przegrody zewnętrzne

Termomodernizacja ścian zewnętrznych, stropodachu i stropu nad piwnicą do parametrów cieplnych określonych dla modernizowanych budynków zgodnie z WT2021.

Tablica 5.1. Zestawienie technologii docieplenia, grubości izolacji i otrzymanego współczynnika przenikania ciepła dla przegród termomodernizowanych z podaniem kosztów jednostkowych prac

lp.	element termomodernizowany	technologia docieplenia/materiał	d [cm]	λ [W/mK]	U_{mod} [W/m ² K]	koszt jedn. jedn.
1.	ściana zewnętrzna	ETICS - styropian	12	0,033	0,20	112 zł/m ²
2.	strop nad piwnicą	natrysk pianki	7	0,023	0,25	53 zł/m ²
3.	dach - stropodach	styropapa	20	0,038	0,15	109 zł/m ²

System wentylacji

Bez zmian

System ogrzewania

Bez zmian

System przygotowania ciepłej wody użytkowej

Bez zmian

Zakładany koszt termomodernizacji przegród zewnętrznych

Tablica 5.2. Zestawienie kosztów modernizacji – docieplenie przegród

lp.	element	obmiar jedn.	cena jedn. (z VAT) jedn.	koszt (z VAT)
1.	ściana zewnętrzna	198,9 m ²	112 zł/m ²	22 277 zł
2.	strop nad piwnicą	63,6 m ²	53 zł/m ²	3 371 zł
3.	dach-stropodach pełny	65,0 m ²	109 zł/m ²	7 085 zł
koszt termomodernizacji przegród zewnętrznych:				32 733 zł

6. Wariant 3 – kompleksowa termomodernizacja zaawansowana

Przegrody zewnętrzne

Jak w *Wariancie 2*

System wentylacji

Bez zmian

System ogrzewania

Wymiana starego kotła węglowego na nowy kocioł retortowy klasy 5 o średniej sprawności wytwarzania ciepła 82%. Regulacja ogrzewania przy kotle i zawory termostatyczne przy grzejnikach.

$$\eta_{H,tot_WII} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} = 0,82 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot 1 = 0,70$$

System przygotowania ciepłej wody użytkowej

Wymiana starego kotła węglowego na nowy kocioł klasy 5 retortowy o średniej sprawności wytwarzania ciepła 82%. Wymiana podgrzewacza c.w.u..

$$\eta_{W,tot_WII} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,e} = 0,82 \cdot 0,85 \cdot 0,60 \cdot 1,0 = 0,42$$

Energia pomocnicza

Napęd pomocniczy i regulacja kotła do ogrzewania:

$$E_{el,pom} = q_{el} \cdot t_{el} \cdot A_f \cdot 10^{-3} = 0,50 \cdot 2520 \cdot 125,4 \cdot 10^{-3} = 158 \text{ kWh}$$

Zakładany koszt głębokiej termomodernizacji

Składowe kosztu termomodernizacji dla *Wariantu 3*: docieplenie przegród (tablica 5.2.), modernizacja instalacji c.o. i c.w.u. (tablica 6.1.).

Koszt całkowity dla Wariantu 3: 45 033zł

Tablica 6.1. Zestawienie kosztów modernizacji instalacji c.o. i c.w.u. dla *Wariantu 3*

lp.	element	koszt (z VAT)
1.	wymiana źródła ciepła na kocioł węglowy 5 klasy	10 000 zł
2.	montaż zaworów termostatycznych (10 kpl.)	1 000 zł
3.	wymiana zasobnika c.w.u.	1 300 zł
koszt termomodernizacji instalacji:		12 300 zł

7. Analiza wariantów

Zestawienie zapotrzebowania na energię

Tablica 7.1. Zestawienie zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną dla poszczególnych wariantów termomodernizacji i wariantu bazowego

	war. 0	war. 1	war. 2	war. 3
	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok
składowe EU				
$Q_{H,nd}$	23939	23939	7754	7754
$Q_{W,nd}$	3021	3021	3021	3021
śr. sprawność sezonowa				
$\eta_{H,tot}$	0,50	0,63	0,50	0,70
$\eta_{W,tot}$	0,23	0,30	0,23	0,42
składowe EK				
$Q_{H,EK}$	48143	38162	15594	11060
$Q_{W,EK}$	13135	10070	13135	7193
energia pom.	0	158	0	158
składowe EP				
$Q_{H,EP}$ w_i				
$Q_{H,EP}$ 1,1	52957	41978	17153	12166
$Q_{W,EP}$ 1,1	14448	11077	14448	7912
energia pom. EP 3	0	474	0	474
wskaźniki				
kWh/m ² rok EU	215	215	86	86
kWh/m ² rok EK	489	386	229	147
kWh/m ² rok EP	591	477	277	187

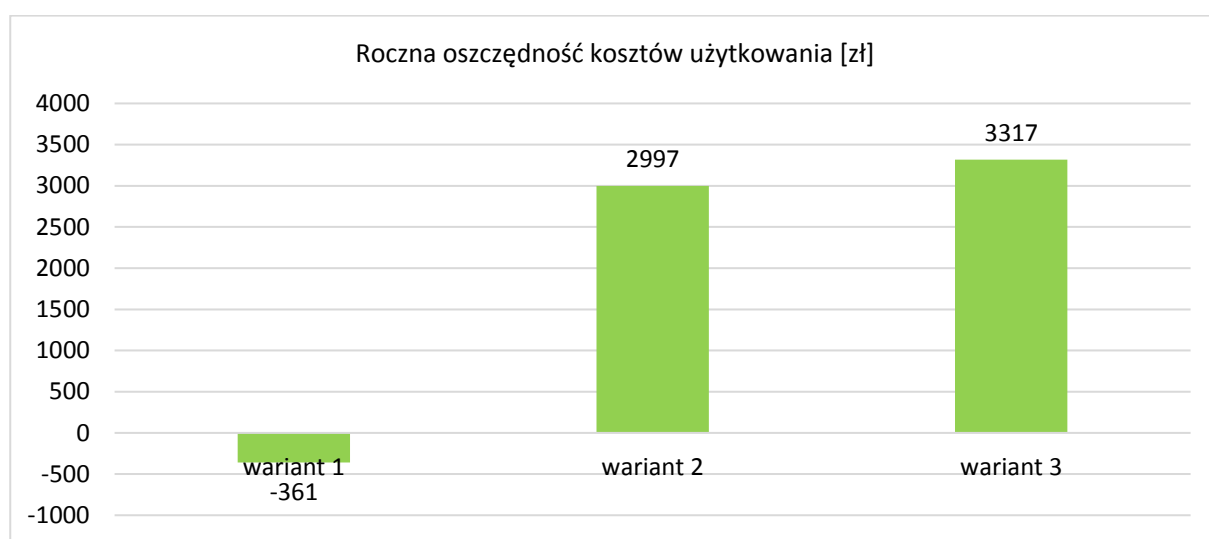
Analiza kosztów użytkowania

Tablica 7.2. Zestawienie rocznych oszczędności kosztów użytkowania

	$Q_{H,EK} + Q_{W,EK}$	E_{pom}^*	cena energii	koszt użytkowania	roczne oszczędności kosztów użytkowania	
	kWh/rok	kWh/rok	zł/kWh	zł/rok	zł	%
wariant 0	61278	0	0,09	5643	-	-
wariant 1	48232	158	0,12	6003	-361	-6
wariant 2	28729	0	0,09	2645	2997	53
wariant 3	18253	158	0,12	2326	3317	59

*Przyjęto 0,55 zł na 1 kWh energii elektrycznej.

Rysunek 7.1. Roczne oszczędności kosztów użytkowania



Tablica 7.3. Prosty okres zwrotu działań termomodernizacyjnych

	koszt modernizacji	koszt użytkowania	prosty okres zwrotu inwestycji
	zł	zł/rok	w latach
wariant 0	0	5643	-
wariant 1	10000	6003	-27,7
wariant 2	32733	2645	10,9
wariant 3	45033	2326	13,6

Analiza emisji zanieczyszczeń

Tablica 7.4. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń^{2,3}

jedn.	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	pył (TSP)	B(a)P
paliwa stałe kopalne - węgiel kamienny energetyczny; kocioł ręczny, tradycyjny <50 kW						
g/GJ	900	100	5000	94730	500	0,250
paliwa stałe odnawialne - biomasa stała leśna; kocioł ręczny, tradycyjny <50 kW						
g/GJ	30	120	4000	112000	500	0,130
miks energetyczny, kocioł ręczny, tradycyjny <50kW						
% pokrycia zapotrzebowania na energię:			węgiel =	75%	drewno =	25%
g/GJ	683	105	4750	99048	500	0,220
paliwa stałe kopalne - węgiel kamienny energetyczny; kocioł 5 klasy automatyczny retortowy <50 kW						
g/GJ	450	200	400	94730	80	0,017

Tablica 7.5. Zestawienie emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych wariantów termomodernizacji

	SO ₂ kg/rok	NO _x kg/rok	CO kg/rok	CO ₂ t/rok	pył (TSP) kg/rok	B(a)P g/rok
wariant 0	150,6	23,2	1047,8	21,8	110,3	48,5
wariant 1	78,1	34,7	69,5	16,4	13,9	3,0
wariant 2	70,6	10,9	491,3	10,2	51,7	22,8
wariant 3	29,6	13,1	26,3	6,2	5,3	1,1

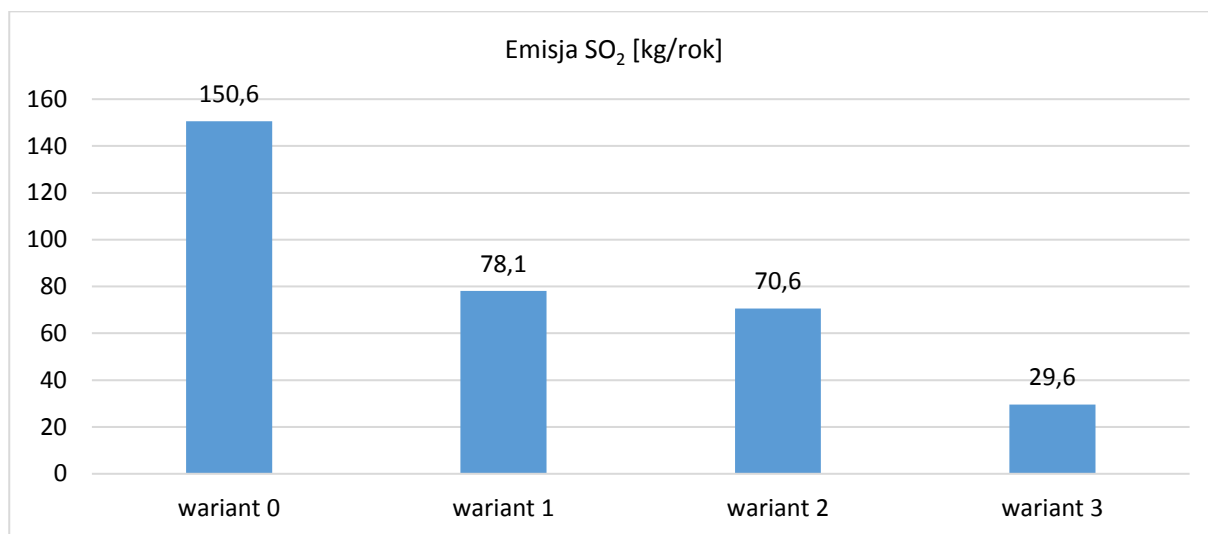
Tablica 7.6. Redukcja niskiej emisji dla poszczególnych wariantów termomodernizacji w odniesieniu do wariantu bazowego (zmniejszenie emisji o ...%)

	SO ₂ kg/rok	NO _x kg/rok	CO kg/rok	CO ₂ t/rok	pył kg/rok	B(a)P g/rok
wariant 1	48%	-50%	93%	25%	87%	94%
wariant 2	53%	53%	53%	53%	53%	53%
wariant 3	80%	43%	97%	72%	95%	98%

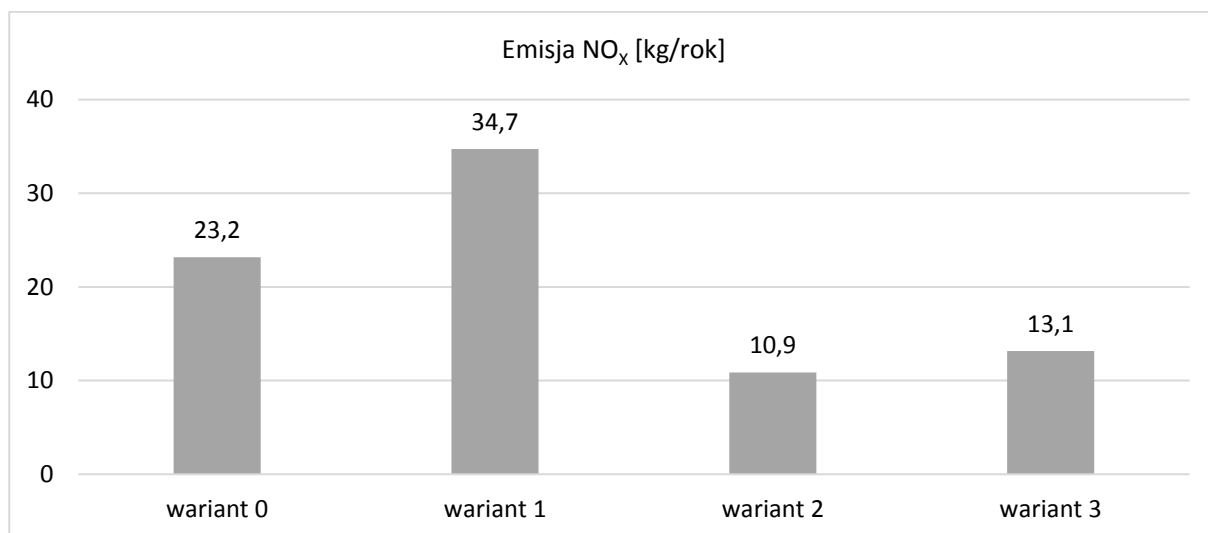
² źródło wskaźników emisji zanieczyszczeń z wyłączeniem CO₂: Kubica K. (i in.); *Opracowanie matrycy podziału źródeł spalania paliw o mocy do 5 MW w zależności od rodzaju spalanego paliwa*; Politechnika Śląska; Gliwice, 2012; Tab.3.34. i Tab.3.41.

³ źródło wskaźników emisji CO₂: KOBIZE; *Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2013 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2016*; Warszawa, 2015; Tabela 14. i Tabela 15.

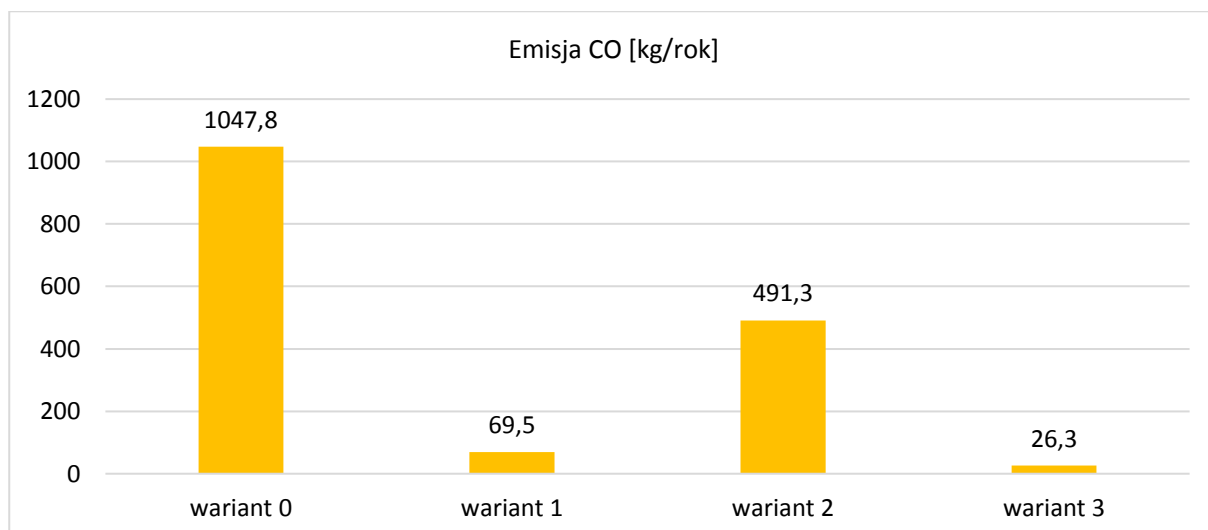
Rysunek 7.2. Porównanie emisji SO₂



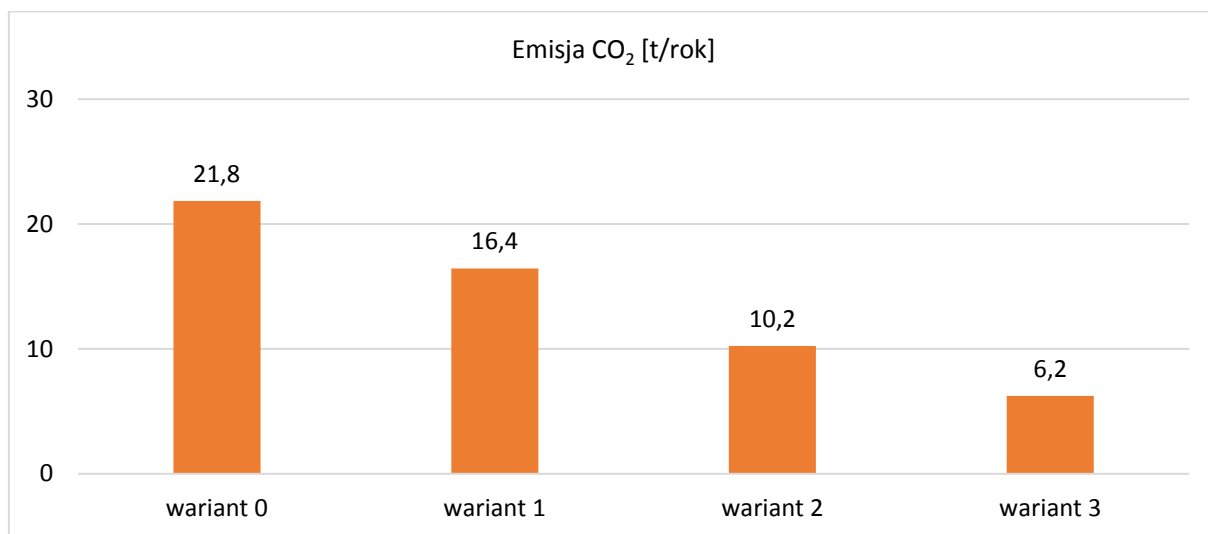
Rysunek 7.3. Porównanie emisji NO_x



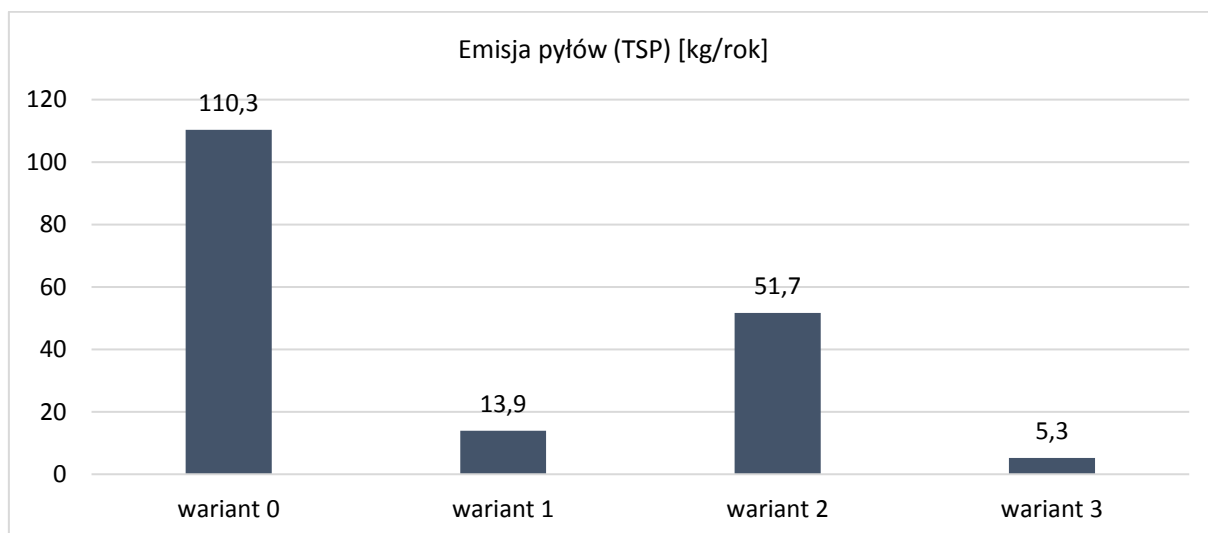
Rysunek 7.4. Porównanie emisji CO



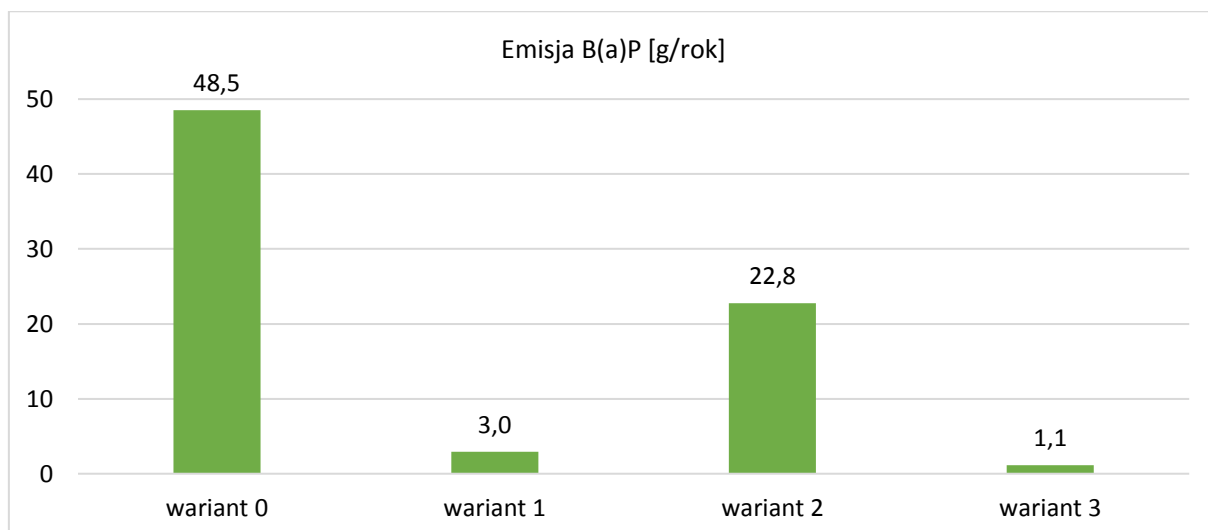
Rysunek 7.5. Porównanie emisji CO₂



Rysunek 7.6. Porównanie emisji pyłów (TSP)



Rysunek 7.7. Porównanie emisji B(a)P

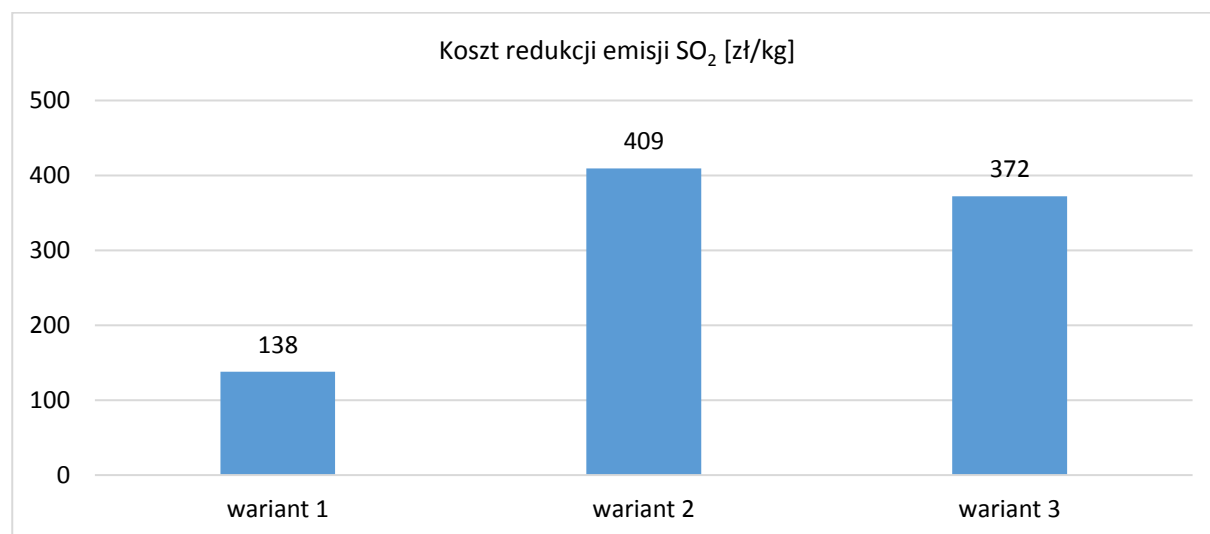


Analiza kosztów redukcji niskiej emisji

Tablica 7.7. Zestawienie kosztów redukcji emisji SO₂

	koszt modernizacji	emisja SO ₂	redukcja emisji SO ₂	koszt redukcji emisji SO ₂
	zł	kg/rok	kg/rok	zł/kg
wariant 0	0	150,6	-	-
wariant 1	10000	78,1	72,4	138
wariant 2	32733	70,6	80,0	409
wariant 3	45033	29,6	121,0	372

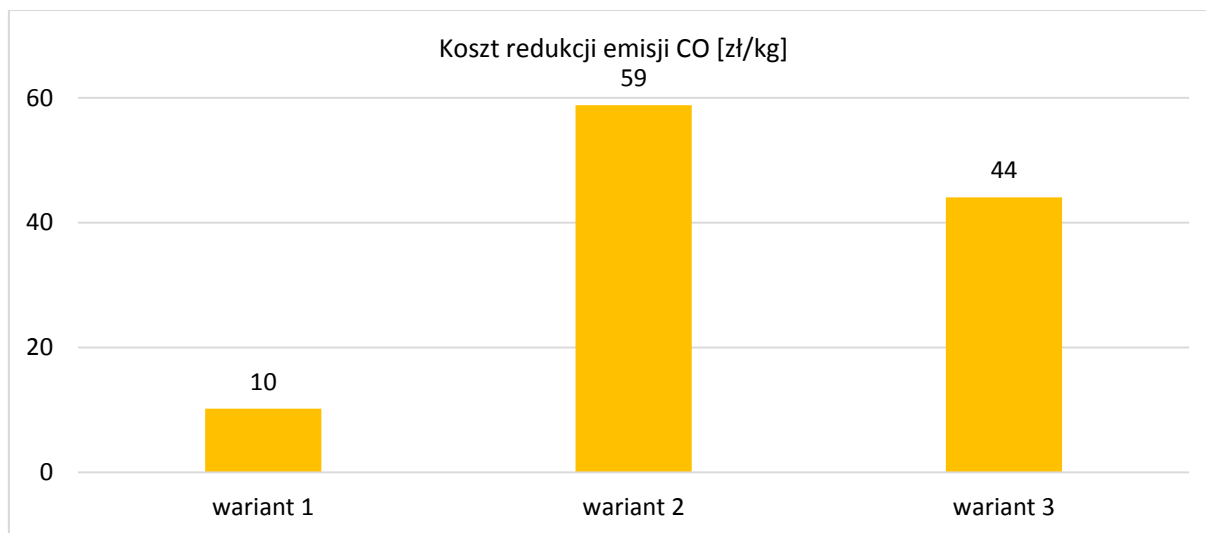
Rysunek 7.8. Porównanie kosztów redukcji niskiej emisji SO₂



Tablica 7.8. Zestawienie kosztów redukcji emisji CO

	koszt modernizacji	emisja CO	redukcja emisji CO	koszt redukcji emisji CO
	zł	kg/rok	kg/rok	zł/kg
wariant 0	0	1047,8	-	-
wariant 1	10000	69,5	978,4	10
wariant 2	32733	491,3	556,6	59
wariant 3	45033	26,3	1021,6	44

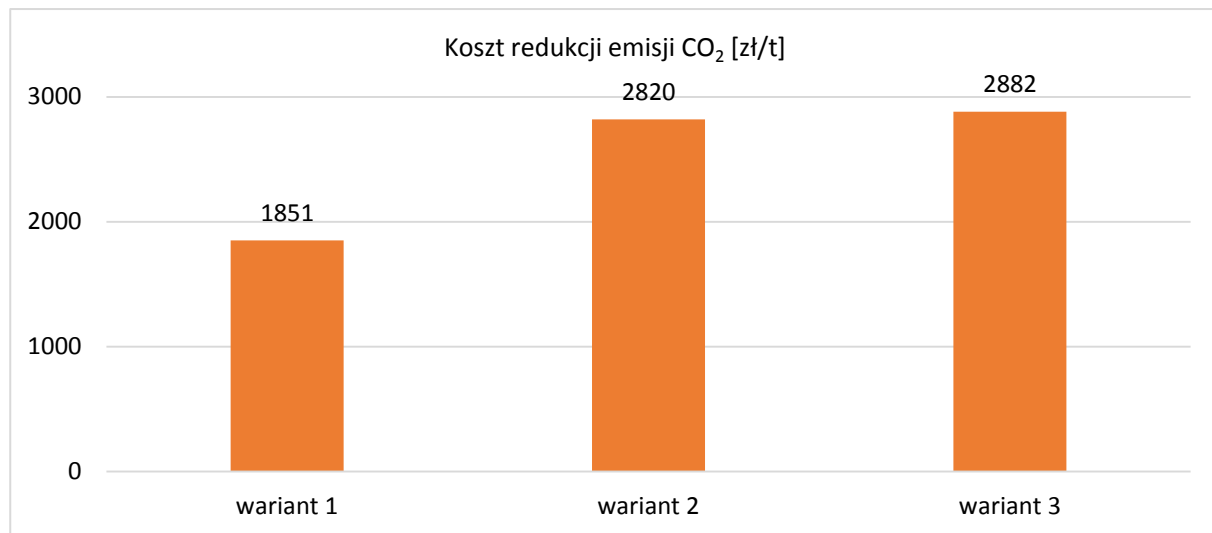
Rysunek 7.9. Porównanie kosztów redukcji emisji CO



Tablica 7.9. Zestawienie kosztów redukcji emisji CO₂

	koszt modernizacji	emisja CO ₂	redukcja emisji CO ₂	koszt redukcji emisji CO ₂
	zł	t/rok	t/rok	zł/t
wariant 0	0	21,8	-	-
wariant 1	10000	16,4	5,4	1851
wariant 2	32733	10,2	11,6	2820
wariant 3	45033	6,2	15,6	2882

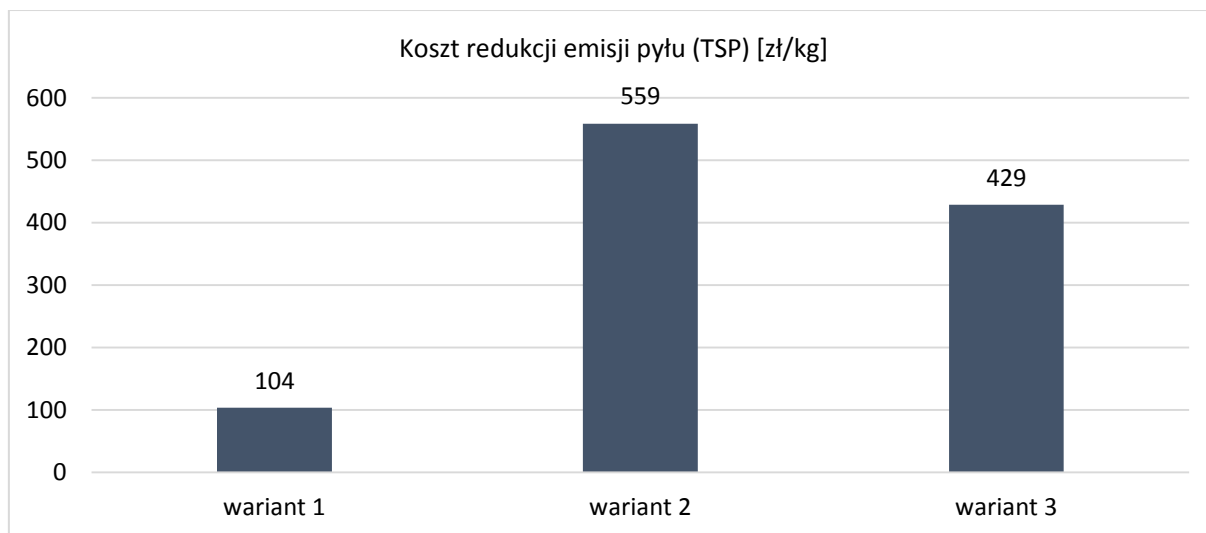
Rysunek 7.10. Porównanie kosztów redukcji emisji CO₂



Tablica 7.10. Zestawienie kosztów redukcji emisji pyłów (TSP)

	koszt modernizacji	emisja pyłu kg/rok	redukcja emisji pyłu kg/rok	koszt redukcji emisji pyłu zł/kg
	zł			
wariant 0	0	110,3	-	-
wariant 1	10000	13,9	96,4	104
wariant 2	32733	51,7	58,6	559
wariant 3	45033	5,3	105,0	429

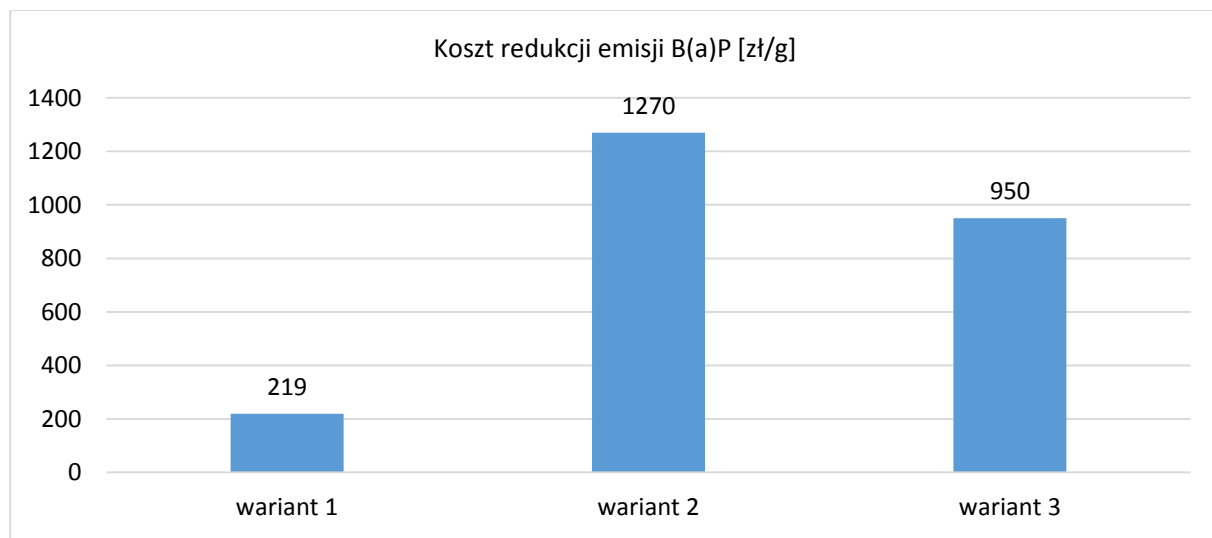
Rysunek 7.11. Porównanie kosztów redukcji emisji pyłów (TSP)



Tablica 7.11. Zestawienie kosztów redukcji emisji B(a)P

	koszt modernizacji	emisja B(a)P	redukcja emisji B(a)P	koszt redukcji emisji B(a)P
	zł	g/rok	g/rok	zł/g
wariant 0	0	48,5	-	-
wariant 1	10000	3,0	45,6	219
wariant 2	32733	22,8	25,8	1270
wariant 3	45033	1,1	47,4	950

Rysunek 6.12. Porównanie kosztów redukcji emisji B(a)P



8. Wnioski

Przeprowadzona analiza pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- Ocieplanie przegród zewnętrznych pozwala na znaczące ograniczenie strat ciepła, podwyższenie komfortu cieplnego, ograniczenie ryzyka rozwoju pleśni i wyeliminowanie mostków cieplnych
- Sama wymiana starych kotłów węglowych na nowe kotły 5 klasy przyczyni się do wzrostu kosztów użytkowania budynków – 361 zł rocznie w analizowanych przypadku
- Wzrost kosztów użytkowania budynków może zwiększyć skalę ubóstwa energetycznego i spowodować, że oczekiwane efekty (zmniejszenie emisji w wyniku wymiany kotła) będą nietrwałe – powrót do wykorzystywania taniego paliwa
- Przeprowadzenie wymiany kotła przed ociepleniem budynku spowoduje, że trzeba będzie zastosować urządzenie o ponad dwukrotnie większej mocy – przewymiarowane po późniejszym ociepleniu budynku
- Największe oszczędności w kosztach użytkowania budynków daje kompleksowa termomodernizacja – 3,3 tys. zł rocznie w analizowanym przypadku
- W stosunku do samej wymiany kotła lub ocieplenia przegród, kompleksowa termomodernizacja pozwala na największą redukcję emisji zanieczyszczeń – w analizowanych przypadku o 95% dla pyłów, o 98% dla B(a)P, o 80% dla SO₂, o 43% dla NO_x, o 97% dla CO i o 72% dla CO₂
- W stosunku do wariantu bazowego redukcja zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji wynosi 60%, na energię końcową do ogrzewania i przygotowania c.w.u. 70% a na energię pierwotną 68% po przeprowadzeniu kompleksowej termomodernizacji

- Aby działania polegające na przeprowadzeniu głębokiej termomodernizacji były skutecznym sposobem walki ze smogiem powinny koncentrować się na budynkach jednorodzinnych zbudowanych przed 1989 rokiem wykorzystujących do ogrzewania paliwa stałe
- Konieczne jest powstanie długoletniego programu wspierającego działania termomodernizacyjne w obszarze budynków jednorodzinnych