



Fundacja na rzecz  
Efektywnego  
Wykorzystania  
Energii

Polish  
Foundation  
for Energy  
Efficiency

# **PROGRAMY OCHRONY POWIETRZA PROGRAMY POPRAWY JAKOŚCI POWIETRZA PROGRAMY OGRANICZANIA NISKIEJ EMISJI**

## **Sposoby obliczania stanu wyjściowego i efektu ekologicznego**

**Opracował:**  
**Mgr inż. Jerzy Piszczek**  
**Mgr inż. Arkadiusz Osicki**  
**Mgr inż. Piotr Kukla**

***Opracowanie w ramach realizacji projektu „Doskonalenie poziomu edukacji w samorządach terytorialnych w zakresie zrównoważonego gospodarowania energią i ochrony klimatu Ziemi” dzięki wsparciu udzielonemu przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego.***

***Katowice, 2010r.***

## I. RODZAJE EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ

Emisja zanieczyszczeń atmosferycznych składa się z dwóch grup: zanieczyszczeń stałych lotnych (pyłowych) oraz zanieczyszczeń gazowych (organicznych i nieorganicznych).

Główną przyczyną powstawania zanieczyszczeń powietrza jest spalanie paliw, w tym:

- w procesach energetycznego spalania paliw kopalnych,
- w silnikach spalinowych napędzających pojazdy.

Z uwagi na rodzaj źródła, emisję można podzielić na trzy rodzaje, a mianowicie:

- emisję punktową (wysoka emisja),
- emisję rozproszoną (niska emisja),
- emisję komunikacyjną (emisja liniowa).

W programach ograniczania niskiej emisji wyznacza się zwykle dla poszczególnych źródeł emisje takich substancji szkodliwych jak: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, pył, B(a)P oraz CO<sub>2</sub> wyrażoną w kg danej substancji na rok.

Wyznaczono także emisję równoważną, czyli zastępczą. Emisja równoważna jest to wielkość ogólna emisji zanieczyszczeń pochodzących z określonego (oceniałego) źródła zanieczyszczeń, przeliczona na emisję dwutlenku siarki.

Oblicza się ją poprzez sumowanie rzeczywistych emisji poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń, emitowanych z danego źródła emisji i pomnożonych przez ich współczynniki toksyczności zgodnie ze wzorem:

$$E_r = \sum_{t=1}^n E_t \cdot K_t$$

gdzie:

$E_r$  - emisja równoważna źródeł emisji,

$t$  - liczba różnych zanieczyszczeń emitowanych ze źródła emisji,

$E_t$  - emisja rzeczywista zanieczyszczenia o indeksie  $t$ ,

$K_t$  - współczynnik toksyczności zanieczyszczenia o indeksie  $t$ , który to współczynnik wyraża stosunek dopuszczalnej średniorocznej wartości stężenia dwutlenku siarki  $e_{SO_2}$  do dopuszczalnej średniorocznej wartości stężenia danego zanieczyszczenia  $e_t$  co można określić wzorem:

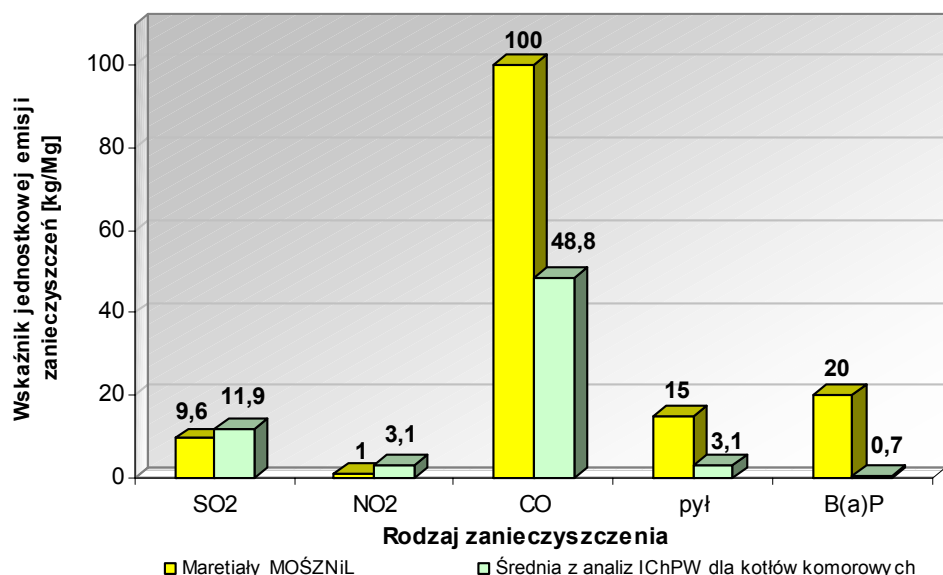
$$K_t = \frac{e_{SO_2}}{e_t}$$

Współczynniki toksyczności zanieczyszczeń traktowane są jako stałe, gdyż są ilorazami wielkości określonych w Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 28 kwietnia 1998r w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń niektórych substancji zanieczyszczających powietrze.

Emisja równoważna uwzględnia to, że do powietrza emitowane są równocześnie różnego rodzaju zanieczyszczenia o różnym stopniu toksyczności. Pozwala to na prowadzenie porównań stopnia uciążliwości poszczególnych źródeł emisji zanieczyszczeń emitujących różne związki. Umożliwia także w prosty, przejrzysty i przekonujący sposób znaleźć wspólną miarę oceny szkodliwości różnych rodzajów zanieczyszczeń, a także wyliczać efektywność wprowadzanych usprawnień.

## II. WSKAŹNIKI EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ

Dla danego źródła ciepła oraz stosowanego w nim paliwa istnieją wskaźnikowe wartości emisji różnych zanieczyszczeń gazowych oraz stałych lotnych. W chwili obecnej w kraju istnieją wskaźniki do obliczeń emisji zanieczyszczeń opracowane przez nieistniejące już Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w **Materiałach informacyjno-instrukcyjnych MOŚZNiL 1/96**. Materiały te określają metodologię wyznaczania jednostkowych wskaźników emisji dla kilku rodzajów paliw (węgiel, koks, olej opałowy i gaz wysokometanowy) spalanych w różnych typach kotłów. O ile wątpliwości, co do jakości i zasadności stosowania w analizach emisyjnych wskaźników dla paliw ciekłych i gazowych nie ma, to w przypadku wskaźników przyjmowanych dla kotłów węglowych (dla kotłów o małej mocy przyjmowano do tej pory wskaźniki określone jako: „*kotły z paleniskami z rusztem stałym i ciągiem naturalnym – płomieniowe i inne*”) takie zastrzeżenia już się pojawiają. Obecnie jednym z podstawowych źródeł wiarygodnych informacji na temat technik i sposobów spalania paliw węglowych w Polsce jest Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu. Porównując wskaźniki emisji zanieczyszczeń pochodzące z badań i pomiarów IChPW na rzeczywistych urządzeniach ze wskaźnikami obliczonymi zgodnie z przytoczonymi materiałami MOŚZNiL zauważa się bardzo duże rozbieżności (rys. 1) sięgające czasami kilkuset procent. Wobec tak niewiarygodnie dużych sprzeczności, w niniejszym opracowaniu jako właściwe przyjęto wskaźniki jednostkowej emisji zanieczyszczeń opracowane przez IChPW jako, organu wyspecjalizowanego w tego typu badaniach. Przyjęte do dalszych obliczeń wskaźniki to średnie arytmetyczne wskaźników emisji dla kotłów węglowych komorowych, a także retortowych, zaczerpnięte z opublikowanych pod patronatem Marszałka Województwa Śląskiego przez IChPW materiałów seminaryjnych „Czysta i zielona energia – czyste powietrze w województwie śląskim” (autorzy opracowania: Krystyna Kubica, Jerzy Raińczak). Dla paliw gazowych i ciekłych przyjmuje się zwykle wskaźniki emisji z materiałów MOŚZNiL. Przyjęte do analiz jednostkowe wskaźniki emisji zanieczyszczeń zamieszczono w tabeli 2.

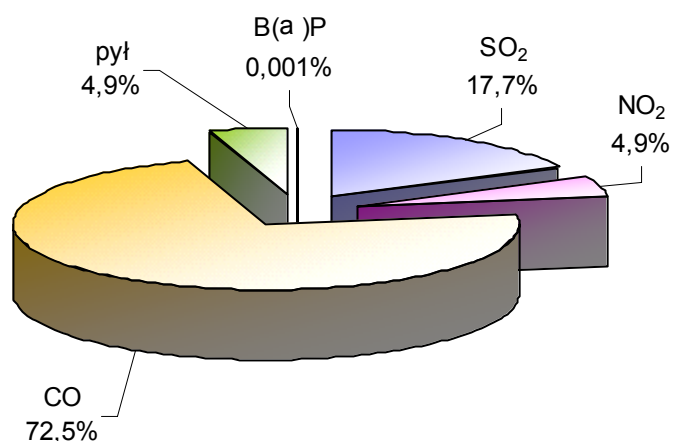


**Rysunek 1.** Porównanie wskaźników emisji zanieczyszczeń przy spalaniu węgla w kotłach małej mocy obliczonych zgodnie z wytycznymi MOŚZNiL oraz przyjętych jako średnie z analiz IChPW w Zabrze wyrażone w kg (B(a)P wyrażany w gramach) zanieczyszczenia na 1 tonę spalanego paliwa

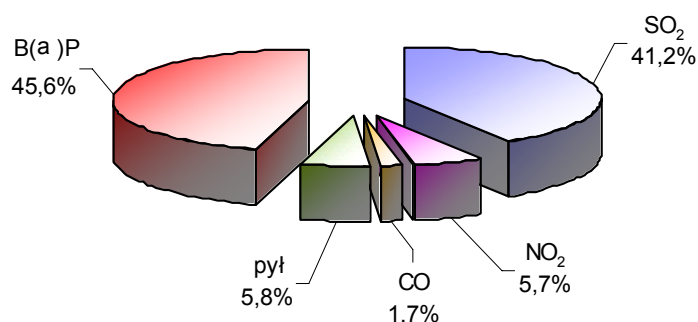
W całkowitej masie emisji zanieczyszczeń w budynkach indywidualnych największy udział stanowi zwykle dwutlenek węgla (97%), którego toksyczność jest zdecydowanie mniejsza od innych związków chemicznych, takich jak np. benzo(a)pirenu (B(a)P), którego w całkowitej masie emisji jest śladowa ilość (0,00003%). Z tego powodu w celu obrazowego przedstawienia redukcji tych najbardziej szkodliwych dla środowiska związków wydzielono osobno B(a)P, pył, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i CO. W tabeli 1 oraz na poniższych wykresach przedstawiono wielkości ilościowe emisji z tzw. źródeł niskiej emisji z budynków indywidualnych jednorodzinnych znajdujących się w jednej z Gmin województwa śląskiego (**przykład tej gminy prezentowany jest również w pozostałych tabelach i rysunkach w niniejszym opracowaniu**), w podziale na rodzaje głównych nośników energii pierwotnej stosowanej w celach grzewczych.

**Tabela 1.** Wielkości emisji głównych zanieczyszczeń powstających w procesie spalania paliw do celów grzewczych w budynkach mieszkalnych (bez emisji wysokiej)

Lp.	Substancja	Jednostka emisji	Węgiel kamienny	Gaz ziemny + LPG	Olej opałowy	Drewno	Suma
1	2	3	4	5	6	7	8
1	SO <sub>2</sub>	kg/rok	270 513	0	583	254	271 350
2	NO <sub>2</sub>	kg/rok	71 188	2 810	614	509	75 121
3	CO	kg/rok	1 110 527	593	74	339	1 111 533
4	CO <sub>2</sub>	kg/rok	45 807 696	4 311 312	202 541	0	50 321 549
5	pył	kg/rok	71 188	33	221	4 241	75 683
6	B(a)P	kg/rok	15				15



**Rysunek 2.** Struktura zanieczyszczeń powstających w procesie spalania paliw do celów grzewczych w budynkach mieszkalnych znajdujących się w gminie (bez CO<sub>2</sub>)



**Rysunek 3.** Struktura zanieczyszczeń niskiej emisji jako ekwiwalentu SO<sub>2</sub>

Na rysunku 2 przedstawiono udziały masowe poszczególnych zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł niskiej emisji budynków jednorodzinnych i wielorodzinnych (nie zasilanych ciepłem sieciowym). Na rysunku 3 ta sama emisja została przeliczona na emisję ekwiwalentną SO<sub>2</sub>, dzięki czemu uzyskuje się informację o toksyczności poszczególnych zanieczyszczeń. A więc przykładowo niewielka ilość masowa B(a)P (0,001%) stanowi ok. 45% całkowitej toksyczności emisji zanieczyszczeń ze źródeł niskiej emisji, a tlenek węgla CO, którego w całkowitej masie jest prawie 72,5% stanowi ok. 1,7% całkowitej toksyczności niskiej emisji. Należy również zwrócić uwagę, że w tych obliczeniach nie brano pod uwagę ilości emitowanego CO<sub>2</sub>, ponieważ gaz ten nie jest gazem toksycznym.

Lp.	Substancja	Dane z analiz Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla				Materiały informacyjno-instruktażowe MOŚZNIL 1/96				Na podstawie publikacji U.S. Environmental Protection Agency No AP-42	
		Kocioł retortowy		Kocioł węglowy		Kocioł olejowy		Kocioł gazowy		Kocioł na drewno	
		Jedn.	Emisja	Jedn.	Emisja	Jedn.	Emisja	Jedn.	Emisja	Jedn.	Emisja
1	2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10
1	SO <sub>2</sub>	kg/Mg	6,24	kg/Mg	10,925	kg/m <sup>3</sup>	4,75	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	0	kg/Mg	1,5
2	NO <sub>2</sub>	kg/Mg	7,15	kg/Mg	2,875	kg/m <sup>3</sup>	5	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1280	kg/Mg	1,5
3	CO	kg/Mg	11,96	kg/Mg	44,85	kg/m <sup>3</sup>	0,6	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	360	kg/Mg	1
4	CO <sub>2</sub>	kg/Mg	1912	kg/Mg	1850	kg/m <sup>3</sup>	1650	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1964000	kg/Mg	0
5	pył	kg/Mg	1,17	kg/Mg	2,875	kg/m <sup>3</sup>	1,8	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	15	kg/Mg	4
6	B(α)P	kg/Mg	0,000273	kg/Mg	0,00061			kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	0	kg/Mg	0

**Tabela 2.** Zestawienie wskaźników emisji w zależności od źródła ciepła

### III. OBLICZANIE STANU WYJŚCIOWEGO I EFEKTU EKOLOGICZNEGO ZE ŹRÓDEŁ NA CELE GRZEWCZE

Aby przeprowadzić analizę konkurencyjności różnych przedsięwzięć zastosowany sposób musi umożliwiać porównanie ich efektywności energetycznej i ekologicznej w odniesieniu do jednolitych kryteriów. W tym celu potrzebne jest przeprowadzenie porównania stanu obecnego ze stanem oczekiwanym.

Bazując głównie na danych pozyskanych w wyniku ankietyzacji w danej gminie, przyjmuje się założenia do dalszej analizy porównawczo-efektywnościowej w zakresie zarówno technicznym, jak i ekonomicznym. Dla przykładu poniżej zaprezentowano uzyskany w ten sposób budynek reprezentatywny (tabela 3).

**Tabela 3.** Podstawowe założenia i charakterystyka obiektu reprezentatywnego, przyjętego do dalszych analiz programowych.

Charakterystyka obiektu reprezentatywnego		
Cecha	Jednostka	opis / wartość
<i>Dane ogólnobudowlane</i>		
Szerokość budynku	m	10,75
Długość budynku	m	11,0
Wysokość budynku	m	6,0
Powierzchnia ogrzewana budynku	m <sup>2</sup>	165,2
Kubatura ogrzewana budynku	m <sup>3</sup>	413
Sumaryczna powierzchnia okien zewnętrznych	m <sup>2</sup>	25,2
Sumaryczna powierzchnia drzwi zewnętrznych	m <sup>2</sup>	2,2
Ocieplenie ścian zewnętrznych	-	22%
Ocieplenie stropu nad ost. kondygnacją	-	37%
Okna energooszczędne	-	59%
<i>Dane energetyczne</i>		
Jednostkowy wskaźnik zapotrzebowania na ciepło	GJ/m <sup>2</sup>	0,63
Roczne zapotrzebowanie na ciepło budynku	GJ/rok	104
Zapotrzebowanie na moc cieplną budynku	kW	12,7
Typ kotła	-	węglowy
Sprawność kotła	%	65%
Sprawność przesyłu	%	95%
Sprawność regulacji	%	95%
Sprawność wykorzystania	%	95%
Oslabienie nocne	-	95%
<b>Łączna sprawność systemu</b>	<b>%</b>	<b>56%</b>
Zapotrzebowanie na moc cieplną c.w.u.	kW	2,6
Roczne zapotrzebowanie na ciepło na cele c.w.u.	GJ/rok	15,4
Udział kotła w rocznym przygotowaniu c.w.u.	%	100%
<b>Łączne zapotrzebowanie na moc cieplną</b>	<b>kW</b>	<b>15,3</b>
<b>Łączne roczne zapotrzebowanie na ciepło</b>	<b>GJ/rok</b>	<b>119,7</b>
<b>Roczne zużycie ciepła (z uwzględnieniem spr. systemu i osłabień nocnych)</b>	<b>GJ/rok</b>	<b>201,5</b>

Opierając się na obliczeniach uproszczonego audytu energetycznego wyznaczono dla reprezentatywnego budynku roczne zapotrzebowanie na ciepło, a w dalszej kolejności zużycie poszczególnych paliw (z uwzględnieniem sprawności urządzeń), roczne koszty ogrzewania i emisje zanieczyszczeń. Przy analizie efektywności ekologicznej przyjęto, że dla biomasy emisja CO<sub>2</sub> równa jest zero (ilość wyemitowanego CO<sub>2</sub> w procesie spalania jest zbliżona do ilości pochłoniętej w procesie wzrostu roślin). Sprawności podawane przez producentów urządzeń grzewczych są wyższe od tych, które zostały przyjęte na potrzeby niniejszego opracowania. Wynika to głównie z faktu, iż producenci podają parametry techniczne swoich produktów w nominalnych warunkach pracy. W rzeczywistości średniosezonowe warunki pracy urządzeń znacznie odbiegają od warunków nominalnej pracy. Tak, więc celowe zaniżenie sprawności energetycznej urządzeń na cele analizy technicznej zbliża warunki pracy tych urządzeń do rzeczywistości panujących.

W wyniku wymiany źródła ciepła na sprawniejsze bezpośrednio ulega zmniejszeniu zużycie energii pierwotnej paliw. Na potrzeby niniejszego opracowania oszacowano potencjalny efekt energetyczny wymiany tradycyjnego kotła węglowego na inne nowoczesne wysokosprawne kotły. Różnice w zużyciu energii zawartej w paliwach wynikają głównie ze sprawności analizowanych kotłów. W Tabeli 4 zestawiono sprawności składowe układu grzewczego dla analizowanych wariantów wymiany kotła, natomiast w Tabeli 5 potencjał redukcji zużycia energii pierwotnej paliw w wyniku zastosowania alternatywnego źródła ciepła.

**Tabela 4.** Sprawności składowe oraz całkowite układu grzewczego oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w systemach różniących się źródłem ciepła

Sprawności składowe i łączne dla różnych rodzajów ogrzewania							
Rodzaj kotła	Łączna sprawność systemu grzewczego [%]*	Sprawność wytwarzania ciepła [%]*	Sprawność przesyłu	Sprawność wykorzystania	Sprawność regulacji	Oslabienie nocne	Sprawność układu c.w.u. (wraz z wytwarzaniem)
Kocioł węglowy - tradycyjny	59%	65%	95%	95%	95%	0,95	62%
Kocioł węglowy - retortowy	72%	80%					76%
Kocioł gazowy	81%	90%					86%
Kocioł LPG	81%	90%					86%
Kocioł olejowy	81%	90%					86%
Kocioł na pelety drzewne	72%	80%					76%
Pompa ciepła **	271%	3	95%	95%	95%	0,95	285%
Ogrzewanie elektryczne	90%	100%	100%	100%	95%	0,95	95%
Ciepło sieciowe	88%	98%	95%	95%	95%	0,95	93%

\* sprawność średnioroczna

\*\* sprawność odniesiona do zużytej energii elektrycznej przy COP=3



**Tabela 5.** Roczne zużycie paliw i energii na ogrzanie budynku standardowego z uwzględnieniem sprawności oraz potencjał redukcji energii względem kotła tradycyjnego węglowego

Rodzaj kotła	Roczne zużycie paliw (energii) dla różnych typów ogrzewania				Redukcja zużycia paliwa w stosunku do starego kotła węglowego
	Ogrzewanie	Ciepła woda	Razem	Jednostka	
	Ilość	Ilość	Ilość		
Kocioł węglowy - tradycyjny	7,7	1,08	8,8	Mg/a	-
Kocioł węglowy - retortowy	5,6	0,78	6,3	Mg/a	<b>18,2%</b>
Kocioł gazowy	3 777	533	4 309	m <sup>3</sup> /a	<b>27,3%</b>
Kocioł LPG	5,13	0,66	5,8	m <sup>3</sup> /a	<b>28,1%</b>
Kocioł olejowy	3,51	0,50	4,0	m <sup>3</sup> /a	<b>27,4%</b>
Kocioł na pelety drzewne	7,6	1,07	8,7	Mg/a	<b>18,3%</b>
Pompa ciepła *	10,7	1,51	12,2	MWh/rok	<b>78,2%</b>
Ogrzewanie elektryczne	29,0	4,53	33,5	MWh/rok	<b>40,2%</b>
Ciepło sieciowe	115,6	16,63	132,2	GJ/rok	<b>34,4%</b>

\* zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła

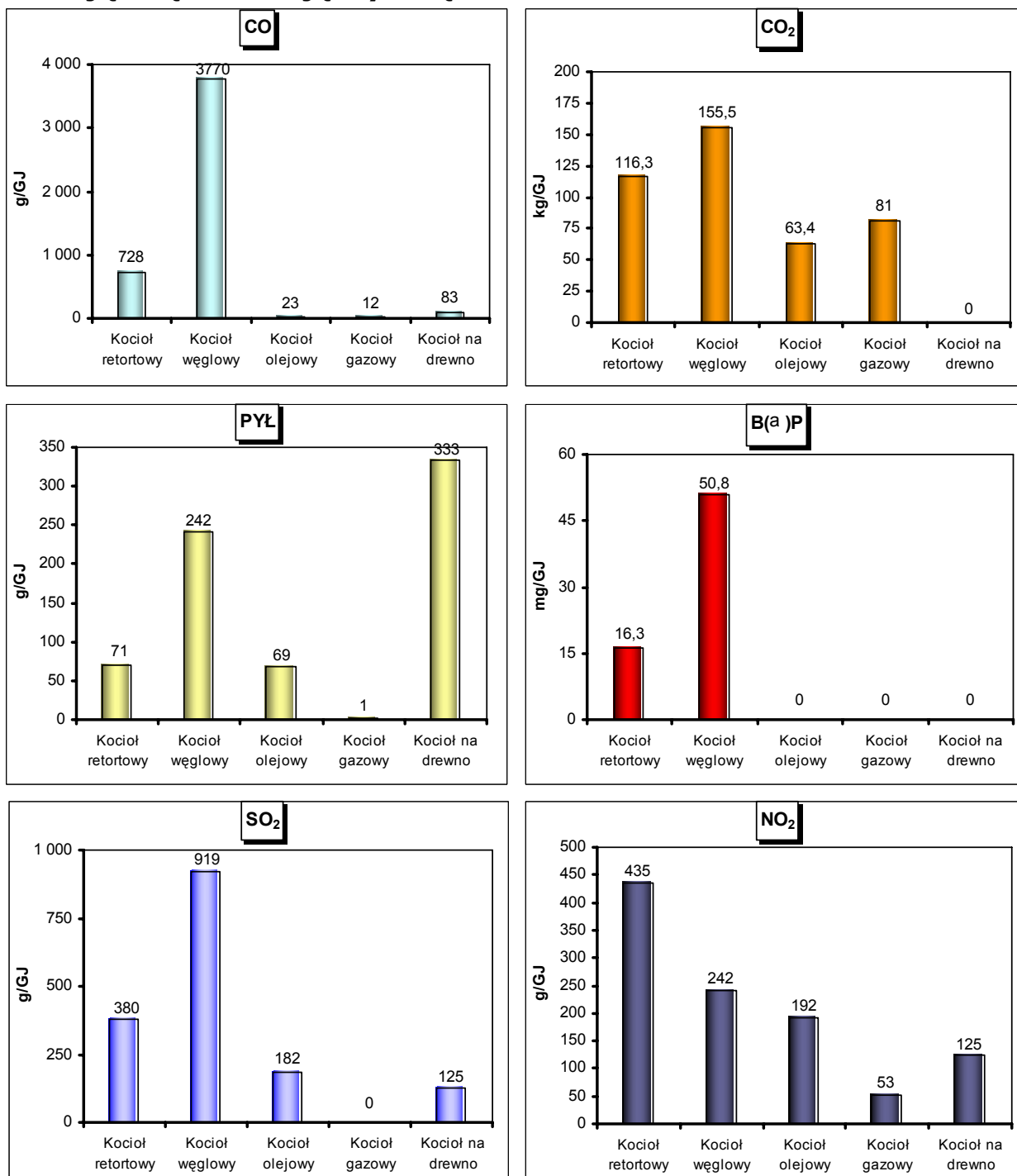
W wyniku zastosowania nowoczesnych urządzeń grzewczych zastępując stare nieefektywne kotły węglowe zmniejsza się przede wszystkim emisja zanieczyszczeń gazowych i lotnych. W przypadku tlenków azotu, przy zastosowaniu niektórych technologii, występuje wzrost ich emisji, spowodowane to jest zwiększeniem temperatury w komorze spalania kotła, co sprzyja powstawaniu tzw. termicznych tlenków azotu. Wzrasta również emisja pyłu przy spalaniu biomasy, co wynika ze zdecydowanie większej ilości spalanej paliwa w stosunku do węgla.

**Tabela 6.** Roczna emisja zanieczyszczeń powstająca w wyniku spalania paliw do celów grzewczych w zależności od sposobu ogrzewania (wielkości redukcji, przed którymi występuje znak (-) oznaczają wzrost rocznych emisji).

Lp.	Rodzaj zanieczyszczenia	Jedn.	Kocioł węglowy	Kocioł retortowy		Kocioł olejowy		Kocioł gazowy		Kocioł na drewno	
			Emisja	Emisja	Redukcja emisji	Emisja	Redukcja emisji	Emisja	Redukcja emisji	Emisja	Redukcja emisji
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	SO <sub>2</sub>	kg/a	95,8	39,6	<b>58,7%</b>	19,0	<b>80,2%</b>	0	<b>100,0%</b>	13,0	<b>86,4%</b>
2	NO <sub>2</sub>	kg/a	25,2	45,4	<b>-80,2%</b>	20,0	<b>20,6%</b>	5,5	<b>78,2%</b>	13,0	<b>48,4%</b>
3	CO	kg/a	393,2	75,9	<b>80,7%</b>	2,4	<b>99,4%</b>	1,2	<b>99,7%</b>	8,7	<b>97,8%</b>
4	CO <sub>2</sub>	kg/a	16 218	12 131	<b>25,2%</b>	6 609	<b>59,2%</b>	8 464	<b>47,8%</b>	0	<b>100%</b>
5	pył	kg/a	25,2	7,4	<b>70,6%</b>	7,2	<b>71,4%</b>	0,1	<b>99,6%</b>	34,7	<b>-37,7%</b>
6	B(a)P	g/a	5,3	1,7	<b>67,9%</b>	0	<b>100%</b>	0	<b>100%</b>	0	<b>100%</b>

Dla zobrazowania możliwego do osiągnięcia efektu ekologicznego w wyniku wymiany nieefektywnego źródła ciepła zbudowano wykresy słupkowe (Rysunek 5) przedstawiające jednostkowe emisje zanieczyszczeń w przeliczeniu na 1 GJ ciepła użytecznego. Na pierwszy rzut oka widać, że najmniej korzystnie na tle pozostałych wypada obiekt wyposażony w tradycyjny kocioł węglowy, zwłaszcza dla tych najbardziej szkodliwych substancji, czyli: B(a)P, CO, SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub>.

**UWAGA: W przypadku zastąpienia źródeł ciepła, w których realizowane jest spalanie paliw, zarówno stałych, ciekłych jak i gazowych na ogrzewanie wykorzystujące energię elektryczną lub w przypadku podłączenia do sieci systemu ciepłowniczego następuje całkowita likwidacja niskiej emisji, zamieniając się na emisję wysoką.**



**Rysunek 5.** Porównanie emisji zanieczyszczeń powstających przy spalaniu paliw do celów grzewczych przy produkcji 1 GJ ciepła użytecznego (z uwzględnieniem sprawności energetycznej urządzeń grzewczych).

## IV. EFEKTY ZASTOSOWANIA SOLARNEGO PODGRZEWANIA WODY UŻYTKOWEJ

W wielu gminach, w których wdrażano programy redukcji niskiej emisji dużą popularnością cieszyły się kolektory słoneczne na cele c.w.u. Niezaprzeczalną korzyścią wynikającą z zastosowania kolektorów słonecznych jest możliwy do osiągnięcia efekt ekologiczny nawet, jeżeli przedsięwzięcie tego typu jest na granicy opłacalności ekonomicznej. Opłacalność ekonomiczna tego typu przedsięwzięć w oczywisty sposób zależy będzie od wielkości kosztów inwestycyjnych oraz wielkości dofinansowania jakie otrzyma inwestor. Efekt ekologiczny z kolei zależy będzie od rodzaju źródła ciepła wykorzystywanego przed modernizacją oraz źródła ciepła wykorzystywanego do wspomagania układu kolektorowego w okresach małego nasłonecznienia (okresy zimowe, noce) po modernizacji. Pod względem technicznym najlepszym rozwiązaniem jest system, w którym układ kolektorowy jest wspomagany energią elektryczną lub kotły na paliwa gazowe i ciekłe, ze względu na dużą regulacyjność tych urządzeń. Technicznie układ kolektorowy współpracujący z kotłami na paliwa stałe jest możliwy do wykonania natomiast efektywność takiego systemu jest znacznie niższa, a cała inwestycja znacznie bardziej kosztowna. Ze względu na warunki klimatyczne i położenie geograficzne Polski za najbardziej racjonalny przyjmuje się udział kolektorów słonecznych w przygotowaniu c.w.u. w zakresie 40 – 60% całkowitego zapotrzebowania.

W tabeli 7 przedstawiono najbardziej prawdopodobne kombinacje występowania układów kolektorowych w budynku jednorodzinny dla założeń:

- ilość użytkowników: 4 osoby
- zużycie ciepłej wody przez 1 osobę w ciągu doby: 60 litrów
- koszt instalacji kolektorów uwzględnia: kolektory, zasobnik c.w.u., pompa obiegowa, konstrukcje pod kolektory, izolowane przewody
- typ kolektorów: płaskie
- kąt nachylenia kolektorów: 45°

**Tabela 7.** Warianty występowania układów solarne podgrzewania c.w.u. w budynku reprezentatywnego (wariant 1: układ mieszany kocioł węglowy oraz dogrzewanie elektryczne; wariant 2: kocioł gazowy; wariant 3: ogrzewanie energią elektryczną – podgrzewacz pojemnościowy)

Warianty stanu istniejącego	Zapotrzebowanie na c.w.u.	Zapotrzebowanie na energię cieplną	Powierzchnia kolektorów słonecznych	Ilość energii dostarczonej przez układ kolektorów		Ilość energii dogrzewanej tradycyjnie	
	litrów/dobę	GJ/rok	m <sup>2</sup>	GJ/rok	%	GJ/rok	%
kocioł węglowy	240	15,4	6,17	9,4	61	6,0	39
kocioł gazowy							
bojler elektryczny*							
kocioł olejowy							

Szacunkowy koszt inwestycji związanej z montażem układu solarnego kształtuje się na poziomie 11000 zł (w polskich warunkach koszt tego typu inwestycji i montażu waha się w granicach 8-15 tys. zł) – kolektory próżniowe w stosunku do płaskich są ok. dwukrotnie droższe, lecz mają o kilka procent wyższą sprawność).

Dla przyjętych wariantów obliczono efekt ekonomiczny (tabela 8) oraz efekt ekologiczny (tabela 9) możliwe do osiągnięcia w wyniku zastosowania układu słonecznego podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

**Tabela 8.** Ocena opłacalności układów kolektorowych w różnych kombinacjach zasilania tradycyjnego

Warianty stanu istniejącego	Koszt instalacji kolektorów	Dotacja - strefa PM10	Dotacja - poza strefą PM10	Koszt operatora	Oszczędność kosztów energii	SPBT (strefa PM10)	SPBT (poza strefą PM10)	SPBT bez dotacji
	zł	zł	zł	zł	zł/rok	lata	lata	lata
kocioł węglowy	11000	7500	5000	300	185	19,6	33,1	59,5
kocioł gazowy					557	6,5	11,0	19,7
bojler elektr.*					1133	3,2	5,4	9,7
kocioł olejowy					663	5,5	9,2	16,6

**Tabela 9** Redukcja emisji poszczególnych zanieczyszczeń w różnych kombinacjach tradycyjnego przygotowania ciepłej wody

Warianty stanu istniejącego	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	pył	B-a-P
	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	kg/rok	g/rok
kocioł węglowy	6,5	1,2	40,7	752,3	9,1	8,1
kocioł gazowy	0	0,3	0,1	524,8	0	0
bojler elektryczny*	21,3	5,2	6,5	2861,0	0,3	0
kocioł olejowy	1,2	1,3	0,2	422,2	0,5	0

\* energia elektryczna pochodząca z polskiego systemu nie stanowi lokalnej niskiej emisji