

Janusz FABIA¹, Kacper WOJTEK², Tadeusz GRACZYK³

^{1,3} University of Bielsko-Biala, Institute of Engineering Sciences, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland

² Student of the University of Bielsko-Biala

ORCID / e-mail:

¹ 0000-0002-6003-3918 / jfabia@ubb.edu.pl

Wariantowe zastosowanie kotła węglowego i gazowego kotła kondensacyjnego na przykładzie instalacji grzewczej budynku mieszkalnego – analiza wpływu na środowisko

Słowa kluczowe:

instalacja centralnego ogrzewania, kocioł węglowy, gazowy kocioł kondensacyjny, projektowe obciążenie cieplne

Variant use of coal-fired and gas condensing boiler on the example of the heating system of a residential building – environmental impact analysis

Keywords:

central heating system, coal-fired boiler, gas condensing boiler, design heat load

Abstract

The article deals with a comparison of two central heating systems for a single-family residential building: a traditional one based on coal, and a modern one using natural gas. In the introductory part, which is a literature study, the context of the problems of environmental pollution resulting from the combustion of fossil fuels in individual heating systems is presented.

In the design part, a technical description of the model building is presented, for which calculations of heat demand were carried out. Calculations were made of the heat transfer coefficients of heat-sensitive partitions, the so-called design heat load of individual temperature-controlled rooms was determined, and - as a consequence - the power needed to heat the entire building. Taking into account the appropriate amount of energy needed to prepare domestic hot water, the power of the heat source was selected and heating systems based on coal and natural gas were designed. For both adopted systems (heat sources), emissions of pollutants such as CO, CO₂, NO_x, and particulate matter were calculated.

Based on the calculations, a comparison was made between the investment, operating costs and emissions of the two systems. The results indicate a significant reduction in pollutants for the natural gas-based system, making it far more environmentally friendly and in line with climate policies.

1. WSTĘP

Ogrzewanie jednorodzinnych budynków mieszkalnych w Polsce, jak i w innych krajach europejskich, pozostaje jednym z kluczowych tematów w kontekście działań na rzecz ochrony środowiska, zdrowia społecznego oraz efektywności ekonomicznej gospodarstw domowych. W obliczu postępujących zmian klimatycznych i rosnącej świadomości ekologicznej społeczeństwa, coraz częściej zwraca się uwagę na konieczność redukcji emisji szkodliwych dla środowiska substancji, które wynikają ze stosowania paliw stałych, takich jak węgiel i drewno, do ogrzewania budynków mieszkalnych. Wiele gospodarstw domowych w Polsce wciąż korzysta z tego typu źródeł ciepła, co przyczynia się do znacznego zanieczyszczenia atmosfery, szczególnie w okresie zimowym. Niska emisja związana z wykorzystywaniem paliw stałych jest jednym z głównych powodów powstawania smogu, który negatywnie wpływa na zdrowie mieszkańców oraz lokalne i globalne środowisko.

Głównym celem niniejszej pracy było przedstawienie korzyści środowiskowych wynikłych z zastosowania wysokometanowego gazu ziemnego, zamiast węgla, do ogrzewania konkretnego budynku mieszkalnego. Rozważono wariantowo, dopuszczone na mocy aktualnie obowiązujących przepisów, kocioł stałopalny oraz gazowy kocioł kondensacyjny. Wskazane korzyści środowiskowe polegają na drastycznej redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza, takich jak: zanieczyszczenia pyłowe, dwutlenek i tlenek węgla oraz tlenki siarki i azotu, które bezpośrednio wpływają na jakość powietrza i zdrowie publiczne.

2. KRYTERIA DOBORU ŹRÓDEŁ CIEPŁA

Nowoczesny system zaopatrzenia w ciepło musi gwarantować osiągnięcie założonego poziomu ciepła, wygody i bezpieczeństwa eksploatacji, przy zachowaniu rozsądnych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Zasada ta jest uniwersalna i dotyczy zarówno budynków nowo wznoszonych, jak i modernizowanych. Budynek po modernizacji charakteryzuje się na ogół mniejszym zapotrzebowaniem na ciepło, zatem zmodernizowane źródło ciepła powinno być dostosowane do nowych potrzeb. Wybór rodzaju i wielkości źródła ciepła jest decyzją złożoną, przy której podejmowaniu powinno się wziąć pod uwagę [Wiszniewski 2007]:

- aktualny stan techniczny źródła ciepła i instalacji wewnętrznych (dla źródeł modernizowanych),
- obecne i przyszłe zapotrzebowanie na ciepło,
- oczekiwane koszty zaopatrzenia w ciepło,
- oczekiwany poziom komfortu cieplnego,
- łatwość obsługi i niezawodność,
- koszt inwestycji oraz możliwości finansowe,
- wpływ źródła ciepła na stan środowiska,
- dostępność i pewność zasilania w wybrany nośnik energii.

Do tradycyjnych nośników energii zaliczamy głównie paliwa kopalne, takie jak: węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, które od wieków zaspokajają potrzeby energetyczne ludzkości. Szczególne miejsce w tym zestawieniu zajmuje węgiel, który powszechnie uważany jest za jedno z najstarszych źródeł energii, do dziś na wielką skalę wykorzystywany w przemyśle, a zwłaszcza do produkcji energii elektrycznej. Z uwagi na wielkość zasobów, tradycje i poziom rozwoju przemysłu wydobywczego oraz strukturę sektora wytwarzania energii, znaczenie węgla jest nadal kluczowe dla polskiej gospodarki. Nie sposób jednakże w tym miejscu nie odnotować, iż jego spalanie generuje względnie duże, czy wręcz w kontekście unijnych inicjatyw proekologicznych – całkowicie nieakceptowalne ilości dwutlenku węgla oraz innych

toksycznych substancji mających negatywny wpływ stan środowiska [Lorenz 1999, 2005, Kowalik i Zajemska 2013, Krawczyk i in. 2013].

Ropa naftowa ma kluczowe znaczenie przede wszystkim dla sektora transportowego i petrochemicznego. Z punktu widzenia dbałości o stan środowiska naturalnego, nie sposób nie odnotować, iż jej wydobycie i transport potencjalnie niosą z sobą ryzyko katastrof ekologicznych. Wykorzystanie ropy do celów energetycznych, głównie z uwagi na znikome zasoby własne, jest w Polsce raczej marginalne, zarówno w sektorze mieszkalnictwa, jak i energetyki zawodowej.

Gaz ziemny, uważany za „najczystsze” paliwo kopalne, które emituje przy spalaniu zdecydowanie mniej zanieczyszczeń niż węgiel czy ropa naftowa, tym niemniej, choć w znacznie mniejszym stopniu, przyczynia się on do emisji gazów cieplarnianych. Z jego zastosowaniem na znacznie większą niż dotąd skalę w polskiej gospodarce, zwłaszcza w ciągu ostatnich dwóch dekad, wiąże się duże, niesłabnące nadzieje i prowadzi znaczące przedsięwzięcia inwestycyjne [Zaleska-Bartosz i Klimek 2011, Żuchowski 2019]. Niestety istotne czynniki, takie jak konflikty zbrojne i polityczne oraz kryzysy gospodarcze w regionach o dużym znaczeniu surowcowym, każą w tym względzie zachować realistyczny dystans [Gędek i in. 2018].

Biorąc pod uwagę szereg powyższych uwarunkowań, konwencjonalne źródła stają się coraz bardziej kontrowersyjne, zwłaszcza ze względu na ich oddziaływanie środowiskowe. Obecnie wiele państw, a zwłaszcza te, które pozostają w strukturze UE, stara się zmniejszyć swoją zależność od paliw kopalnych, wprowadzając przepisy mające na celu redukcję emisji CO₂ i promujące bardziej zrównoważone alternatywy. Tym niemniej, pomimo swoich mankamentów, na obecnym etapie rozwoju technologii, konwencjonalne źródła energii wciąż stanowią trzon globalnego systemu energetycznego.

3. POLITYKA EKOLOGICZNA ZWIĄZANA Z DEKARBONIZACJĄ

Dekarbonizacja jawi się obecnie jako podstawowy cel unijnej polityki klimatycznej. UE zobowiązała się osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 r., a do roku 2030 obniżyć emisję gazów cieplarnianych o 55%. UE wprowadziła system minimalnych standardów zapewniających, że prawie wszystkie produkty na rynku wewnętrznym będą zrównoważone, trwałe i przyjazne dla środowiska w całym cyklu życia – tzw. Ekoprojekt. Polega on na uwzględnieniu aspektów środowiskowych już podczas projektowania produktu. Ekoprojekt odnosi się do wszystkich urządzeń wytwarzających ciepło (kotły, pompy ciepła, kominki), również tych używanych sezonowo czy jako dodatkowe źródło ciepła, przy czym na chwilę obecną przepisy dotyczą tylko urządzeń nowych.

Ekoprojekt i polityka etykietowania energetycznego odgrywają kluczową rolę w dekarbonizacji systemu energetycznego. Ekoprojekt eliminuje z rynku najmniej wydajne produkty, natomiast etykietowanie energetyczne kieruje konsumentów w stronę bardziej energooszczędnych rozwiązań. Ponieważ dotychczasowa dyrektywa w sprawie Ekoprojektu koncentrowała się głównie na efektywności energetycznej, jej rewizja stała się konieczna w kontekście transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym.

Zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego dotyczy wszystkich trzech jego elementów: powietrza, gleby i wody. Jakość powietrza ma jednak decydujące znaczenie w procesie zanieczyszczania środowiska, a potencjalnie jest ona drastycznie obniżana poprzez procesy spalania paliw kopalnych. Wprowadzane do atmosfery pierwotne zanieczyszczenia oraz generowane ksenobiotyki wtórne oddziałują na pozostałe elementy środowiska – glebę i wodę. Do grupy głównych pierwotnych zanieczyszczeń należą:

- dwutlenek węgla (CO₂),
- tlenek węgla (CO),

- tlenki azotu (NO_x),
- dwutlenek siarki (SO_2),
- chlorowodór (HCl),
- fluorowodór (HF),
- trwałe związki organiczne (TZO), które obejmują wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), dioksyne i furany (PCDDs i PCDFs), polichlorowane bifenylo (PCB),
- lotne związki organiczne (LZO),
- metale ciężkie, zwłaszcza rtęć (Hg) i jej związki, kadm oraz tal (Cd, Tl) i ich związki oraz antymon (Sb), arsen (As), ołów (Pb), chrom (Cr), kobalt (Co), miedź (Cu), mangan (Mn), nikiel (Ni), wanad (V),
- pył całkowity (TSP) oraz jego frakcje PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$.

Cel osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku stał się prawnie wiążący na mocy tzw. Europejskiego prawa o klimacie (Rozporządzenie 2021/1119, art. 2; weszło w życie w czerwcu 2021 r.). Jest to element realizacji tzw. *Europejskiego Zielonego Ładu*, przedstawionego przez Komisję w grudniu 2019 r. Pośrednim krokiem ku neutralności klimatycznej stał się przyjęty w tym samym dokumencie (art. 4) ambitniejszy cel dotyczący obniżenia emisji gazów cieplarnianych. Do 2030 r. powinny one zostać zmniejszone o co najmniej 55% (emisje po odliczeniu pochłaniania, w stosunku do 1990 r.), co oznacza podwyższenie poprzedniego poziomu ustalonego na 40% [Komunikat 2007, Kawecka-Wyrzykowska 2012].

Jednym z najważniejszych proponowanych wariantów dekarbonizacji europejskiego sektora energetyki jest zastosowanie odnawialnych źródeł energii (OZE). Zakłada się, że dzięki temu możliwe będzie przekształcenie Europy w gospodarkę o wysokiej efektywności energetycznej i niskich emisjach dwutlenku węgla. Plan osiągnięcia celu zwiększenia ilości wytwarzanej energii z OZE zbiega się w czasie z planem redukcji zużycia energii z paliw kopalnych. Europejskie prawo o klimacie ustanawia prawnie wiążący cel zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 roku.

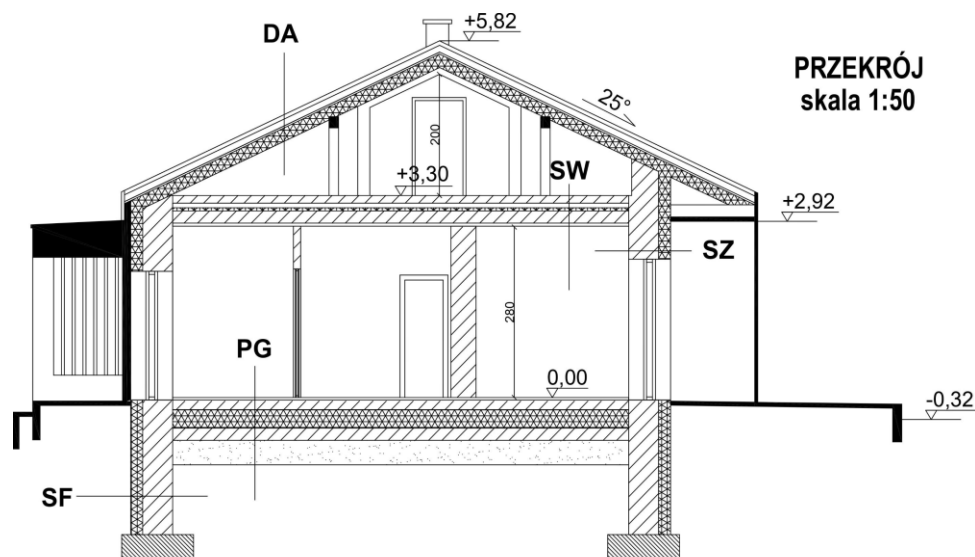
Zatem w powyższym kontekście, zastosowane w niniejszej pracy rozwiązanie polegające na wariantowym zastąpieniu stałopalnego kotła grzewczego gazowym kotłem kondensacyjnym – czyli urządzeniem, co prawda znacznie bardziej efektywnym energetycznie, ale w dalszym ciągu wykorzystującym paliwo kopalne, należy uznać za propozycję doraźną.

4. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Przedmiotem rozważań projektowych podjętych w niniejszej publikacji jest jednorodzinny budynek mieszkalny, którego lokalizację przewidziano w miejscowości Skoczów (województwo śląskie). Jest to obiekt niepodpiwniczony (podłoga na gruncie zaizolowana 15 cm warstwą styropianu posadzkowego XPS), parterowy z poddaszem nieużytkowym (Rys. 1). Budynek został zaprojektowany w tradycyjnej metodzie realizacji – ściany nośne murowane z bloczków z betonu komórkowego, docieplone 15 cm warstwą styropianu, więźba dachowa drewniana, dach kryty dachówką ceramiczną, połacie docieplone 30 cm warstwą wełny mineralnej. Budynek jest przewidziany do zamieszkania przez 4 osoby.

Podstawowe dane wymiarowe:

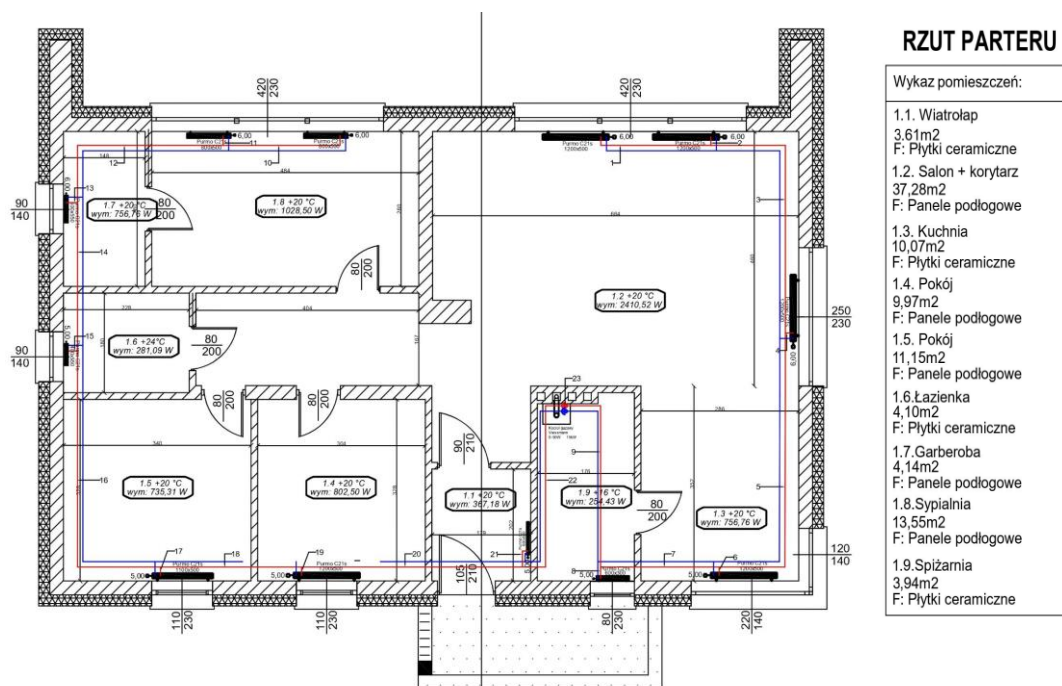
- powierzchnia całkowita o regulowanej temperaturze 97,82 m²,
- powierzchnia użytkowa 93,88 m²,
- powierzchnia pomieszczenia gospodarczego (kotłowni) 3,94 m²,
- kubatura 549,46 m³,
- wysokość budynku 6,70 m.



Rys. 1. Przekrój obliczanego budynku wykonany w płaszczyźnie funkcjonalnej, tj. prostopadłej do kierunku kalenicy.

Fig. 1. Cross-section of the calculated building made in the functional plane, i.e. perpendicular to the direction of the ridge.

System grzewczy budynku stanowi wodna instalacja centralnego ogrzewania z rozdzielaczem dolnym, pracująca w układzie zamkniętym z obiegiem wymuszonym (Rys. 2). Instalacja zasilana będzie czynnikiem grzewczym o parametrach 55/45°C z kotłowni zlokalizowanej w jednym z pomieszczeń parteru. Kubatura pomieszczenia kotłowni wynosi 10,19 m³ przy wysokości w świetle 2,80 m – spełnia zatem wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz normie PN-B02431-1:1999.



Rys. 2. Rzut kondygnacji ogrzewanej – parteru rozważanego budynku z naniesieniem przebiegu orurowania zaprojektowanej instalacji co.

Fig. 2. The projection of the heated storey – the first floor of the building under consideration, with the course of piping of the designed central heating system marked.

Ze względu na moc kotła (poniżej 30 kW) nie występuje konieczność pożarowego wydzielenia pomieszczenia. W pomieszczeniu kotłowni zostanie wykonana wentylacja grawitacyjna nawiewno-wyiewna. Przewidziano zabezpieczenie pionów i przewodów poziomych oraz armatury w kotłowni przed stratami ciepła izolacją wykonaną w technologii Termaflex plus.

5. OBLICZENIA WSPÓŁCZYNNIKÓW PRZENIKANIA PRZEGRÓD ORAZ PROJEKTOWEGO OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO POMIESZCZEŃ

Dla wszystkich komponentów budynku wrażliwych na transfer ciepła do środowiska zewnętrznego wyznaczono wartości współczynników przenikania (Tab. 1-3), wykorzystując dane wymiarowe i parametry cieplne (wartości współczynników przewodzenia λ) dla zastosowanych materiałów oraz procedury obliczeniowe opisane w normie PN-EN ISO 12831. W obliczeniach wykorzystano program komputerowy wykorzystywany do dydaktyki z przedmiotu ogrzewnictwo, oparty o arkusz kalkulacyjny Excel.

Tab. 1. Obliczenia współczynnika przenikania ciepła przez ściany zewnętrzne budynku.

Tab. 1. Calculation of the heat transfer coefficient of external walls of a building.

Ściana zewnętrzna				
Nr	Warstwa	D	λ	R
		[m]	[W/m·K]	[m ² ·K/W]
	Opór przejmowania od strony wewnętrznej R_{si}			0,130
1	Tynk gipsowy	0,02	0,25	0,080
2	Tynk cementowo-wapienny	0,015	0,75	0,020
3	Pustak Porotherm	0,25	0,31	0,806
4	Styropian Premium	0,2	0,035	5,714
5	Tynk cienkowarstwowy	0,0015	0,7	0,002
	Opór przejmowania od strony zewnętrznej R_{se}			0,040
			ΣR	6,79
			U [W/m²·K]	0,15

Tab. 2. Obliczenia współczynnika przenikania ciepła przez podłogę na gruncie.

Tab. 2. Calculation of the heat transfer coefficient of the floor on the ground.

Podłoga na gruncie				
Nr	Warstwa	D	λ	R
		[m]	[W/m·K]	[m ² ·K/W]
	Opór przejmowania od strony wewnętrznej R_{si}			0,170
1	Panele podłogowe	0,01	0,18	0,056
2	Wylewka betonowa	0,08	1,1	0,073
3	Styropian posadzkowy	0,15	0,04	3,750
4	Podkład betonowy	0,10	1,1	0,091
5	Podsypka piaskowa zagęszczona	0,20	0,4	0,500
	Opór przejmowania od strony zewnętrznej R_{se}			0
			ΣR	4,70
			U [W/m²·K]	0,21

Tab. 3. Obliczenia współczynnika przenikania ciepła ze strefy ogrzewanej przez strop nad parterem.**Tab. 3.** Calculation of the heat transfer coefficient from the heated zone through the ceiling above the first floor.

Strop nad parterem				
Nr	Warstwa	D	λ	R
		[m]	[W/m·K]	[m ² ·K/W]
	Opór przejmowania od strony wewnętrznej R_{si}			0,10
1	Płytki ceramiczne	0,02	1,3	0,015
2	Wylewka betonowa	0,08	1,1	0,073
3	Styropian posadzkowy	0,15	0,04	3,750
4	Strop TERIVA	0,24	1,25	0,192
5	Płyta K-G	0,012	0,23	0,052
6	Tynk gipsowy	0,02	0,25	0,080
	Opór przejmowania od strony zewnętrznej R_{se}			0,10
			ΣR	4,39
			U [W/m²·K]	0,23

W następnym kroku dla każdego pomieszczenia strefy ogrzewanej budynku wyznaczono wartości współczynników strat ciepła przez przenikanie i przez wentylację (w obliczeniach przyjęto wentylację grawitacyjną), wielkość całkowitej straty ciepła oraz nadwyżki mocy przewidzianej dla dogrzania pomieszczenia po każdorazowym czasowym obniżeniu parametru, a w konsekwencji – całkowitego projektowego obciążenia cieplnego.

W obliczeniach przyjęto temperaturę zewnętrzną -20°C (III strefa klimatyczna) oraz temperatury wewnętrzne zgodnie z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury – przedpokoje, pokoje, kuchnie, ubikacje +20°C, łazienki +24°C. Temperatura obliczeniowa dla pomieszczenia gospodarczego (kotłowni) to 16°C. Ograniczenia objętości artykułu nie pozwoliły na prezentację obliczeń dla wszystkich pomieszczeń. Przykładowe zestawienie parametrów wyznaczonych dla salonu łącznie z komunikacją przedstawiono w zamieszczonej poniżej Tabeli 4.

Zestawienie wartości całkowitego obciążenia cieplnego dla wszystkich ogrzewanych pomieszczeń budynku przedstawiono w Tabeli 5.

Ponieważ źródło ciepła zainstalowane w rozpatrywanym budynku będzie służyło zarówno celom grzewczym, jak i przygotowania ciepłej wody użytkowej, jego moc należy wyznaczyć wg procedury zamieszczonej poniżej:

Zapotrzebowanie mocy grzewczej na cele centralnego ogrzewania: Q_{co} = 6,06 kW

Moc cieplna na potrzeby przygotowania cwu: $Q_{cwu} = V_{h.sr} \cdot Q_{cw.j} \cdot N_h \cdot 278 \cdot 10^{-6}$ = 3,48 kW
gdzie:

- rozpatrywany budynek jednorodzinny użytkowany jest przez 4 osoby,
- woda podgrzewana do temperatury 55°C,
- zużycie wody przez jedną osobę w ciągu doby: 50 litrów=50 kg/d,
- zużycie cwu w ciągu doby przez mieszkańców: 200 kg/d,
- $V_{h.sr}$ – średnie godzinowe zużycie cwu w budynku: 12,5 kg/h,
- $Q_{cw.j}$ – zużycie ciepła na podgrzanie 1 litra cwu: $4,18 \cdot (55-10) = 188,37$ kJ/kg,
- $N_h = 5,31$ – współczynnik nierównomierności rozbiórki ciepłej wody,
- $278 \cdot 10^{-6}$ – współczynnik przeliczenia jednostek (GJ na kWh).

Zatem sumaryczna moc projektowanej kotłowni wyniesie: Q_k = 9,54 kW

Tab. 4. Przykładowe obliczenia obciążenia cieplnego dla pomieszczenia: salon z komunikacją.**Tab. 4.** Example heat load calculations for a room: living room with communication.

Dane temperaturowe					
Projektowana temperatura zewnętrzna	θ_e	[°C]			-20
Projektowana temperatura wewnętrzna	$\theta_{int,i}$	[°C]			20
Różnica temperatur	$\Delta\theta$	[°C]			40
Straty ciepła przez przenikanie					
Nr	Nazwa przegrody	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$
		[-]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]
1	Ściana zewnętrzna	1,00	23,75	0,15	3,50
2	Okna	1,00	15,41	0,90	13,87
3	Podłoga na gruncie	0,30	37,28	0,21	2,38
4	Strop	1,00	37,28	0,23	8,49
Całkowity współczynnik strat ciepła przez przenikanie			[W/K]	$H_{T,i}$	19,75
Całkowite straty ciepła przez przenikanie			[W]	$\Phi_{Ti}=H_{T,i} \cdot \Delta\theta$	789,81
Straty ciepła przez wentylację					
		Powierzchnia pomieszczenia [m ²]	Wysokość pomieszczenia [m]		Kubatura pomieszczenia [m ³]
	Wewnętrzna kubatura pomieszczenia V_i	37,28	2,8		104,384
	Minimalna krotność wymiany powietrza n_{min}				0,5
Całkowity współczynnik strat ciepła przez wentylację			[W/K]	$H_{V,i}=0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$	17,75
Całkowite straty ciepła przez wentylację			[W]	$\Phi_{Vi}=H_{V,i} \cdot \Delta\theta$	709,81
Całkowite straty ciepła przez przenikanie i wentylację					
	Całkowite straty ciepła przez przenikanie i wentylację	$\Phi_{Ti}+\Phi_{Vi}$	[W]		1499,62
	Współczynnik poprawkowy ze względu na podwyższenie temperatury	$f_{\Delta\theta}$	[-]		1,0
Projektowe straty ciepła przez przenikanie i projektowe wentylacyjne straty ciepła			[W]	$\Phi_i=(\Phi_{Ti}+\Phi_{Vi}) \cdot f_{\Delta\theta}$	1499,6
Nadwyżka mocy cieplnej					
	Powierzchnia podłogi	A_i	[m ²]		37,28
	Współczynnik dogrzewania	F_{RH}	[W/m ²]		16,0
Całkowita Nadwyżka mocy cieplnej			[W]	$\Phi_{RH,i}=A_i \cdot F_{RH}$	596,5
Całkowite projektowe obciążenie cieplne [W]					2096,1

Tab. 5. Wartości straty ciepła przez przenikanie, strat wentylacyjnych oraz całkowitego obciążenia cieplnego dla poszczególnych pomieszczeń i całej strefy ogrzewanej rozpatrywanego budynku.

Tab. 5. Values of heat loss by penetration, ventilation losses and total heat load for individual rooms and the entire heated zone of the considered building.

Lp.	Nazwa pomieszczenia	Powierzchnia A [m ²]	Straty ciepła przez przenikanie $\Phi_{T,i}$ [W]	Straty ciepła przez wentylację $\Phi_{V,i}$ [W]	Nadwyżka mocy cieplnej $\Phi_{RH,i}$ [W]	Całkowite obciążenie cieplne $\Phi_{HL,i}$ [W]
1	Wiatrołap	3,62	192,59	68,84	57,85	319,29
2	Salon z komunikacją	37,28	789,81	709,81	596,48	2096,10
3	Kuchnia	10,07	305,30	191,68	161,08	658,05
4	Pokój 1	9,97	158,58	379,70	159,54	697,83
5	Pokój 2	11,15	248,63	212,33	178,43	639,40
6	Łazienka	4,10	92,81	85,95	65,66	244,43
7	Garderoba	4,14	143,46	78,90	66,30	288,67
8	Sypialnia	13,55	419,49	258,03	216,83	894,35
9	Pomieszczenie gospodarcze	3,94	90,61	67,56	63,08	221,24
Razem:		97,82	2441,3	2052,8	1565,3	6059,4

6. DOBÓR ŹRÓDEŁ CIEPŁA

Dla wyznaczonej wartości mocy szczytowej Q_k dobrano wariantowo 2 różne źródła ciepła: kocioł stałopalny (węglowy) oraz gazowy kocioł kondensacyjny. Jak zaznaczono wcześniej, oba źródła musiały posiadać aprobatę Ekoprojektu, co m.in. wiązało się z koniecznością spełnienia określonych w tym standardzie wymogów odnośnie jednostkowej wielkości emisji polutantów wyszczególnionych w Tabeli 6.

Tab. 6. Wielkości emisji, które charakteryzują kotły gazowe i węglowe zgodne z wymogami Ekoprojektu określone w rozporządzeniu Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE.

Tab. 6. Emission volumes that characterize gas and coal boilers that comply with the requirements of the Ecodesign, as specified in Commission Regulation (EU) 2015/1189 of April 28, 2015 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council.

Lp.	Zanieczyszczenie	Wskaźnik emisji przy spalaniu gazu [g/GJ]	Wskaźnik emisji przy spalaniu węgla [g/GJ]
1	Pył całkowity	0,50	30
2	Pył PM10	0,50	27
3	Pył PM2,5	0,50	21
4	Dwutlenek węgla	57 650	92 200
5	Tlenek węgla	30	400
6	Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	40	190
7	Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	0,4	450
8	Benzo(a)piren	8·10 ⁻⁷	0,03

W charakterze kotła węglowego wytypowano ekologiczny kocioł zasypowy dolnego spalania KLIMOSZ IRON-X 10 [Witryna 1]. Urządzenie posiada klasę 5 (wg PN-EN 303-5:2012) i średnią sprawność na poziomie 90,7%. Jako paliwo podstawowe dedykowany jest węgiel

kamienny (sortyment orzech) o wartości opałowej min. 28 MJ/kg (również zgodnie z normą PN-EN 303-5:2012).

Jako alternatywne rozwiązanie źródła ciepła zastosowano kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny z układem przełączającym Vitodens 050-W [Witryna 2] o modulowanej mocy cieplnej w zakresie 3–25 kW, z sezonową efektywnością energetyczną ogrzewania pomieszczeń ok. 92%.

7. OBLICZENIE ILOŚCI PALIWA POTRZEBNEGO DO OGRZANIA BUDYNKU ORAZ KALKULACJA WIELKOŚCI ROCZNEJ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ

W oparciu o wyznaczoną całkowitą moc kotłowni, przy uwzględnieniu położenia rozpatrywanego budynku, struktury materiałowej i wymiarowej (a w konsekwencji ciepłochronności) wszystkich jego komponentów wrażliwych na wymianę ciepła ze środowiskiem zewnętrznym (ściany zewnętrzne, podłoga na gruncie, połacie dachowe oraz elementy stolarki okiennej i drzwiowej), przy wykorzystaniu funkcjonalnego dostępnego w sieci kalkulatora dedykowanego do tego typu obliczeń [Witryna 3], określono hipotetyczną wartość sezonowego zapotrzebowania na ciepło. Wartość ta jest niezbędna dla wyznaczenia wielkości rocznej emisji zanieczyszczeń. Dla potrzeb przedstawionej w tym artykule analizy porównawczej, w odniesieniu do spalania węgla kamiennego i gazu ziemnego, przyjęto zapotrzebowanie na energię cieplną dla potrzeb co oraz cwu wynoszące w ujęciu rocznym 9500 kWh/rok.

W przypadku wariantu zastosowania jako nośnika energii gazu wysokometanowego E, przyjęto do obliczeń nominalne ciepło spalania wynoszące 39,59 MJ/m³ i współczynnik konwersji, umożliwiający przeliczanie ilości energii wyrażonej w kWh na metry sześciennie paliwa, równy 10,9972 oraz średnią sprawność zastosowanego kotła kondensacyjnego Vitodens 050-W równą 92%. Przyjęcie do obliczeń ww. wartości dało w wyniku roczne zapotrzebowanie na gaz w ilości ok. 939 m³.

W przypadku zastosowania jako paliwa węgla energetycznego, przyjęto jego wartość opałową na postulowanym przez producenta poziomie minimalnym 28 MJ/kg, współczynnik konwersji równy 7,78 kWh/kg, a sprawność 90,7%, co w konsekwencji dało zużycie w ilości ok. 1346 kg rocznie.

W oparciu o wyznaczone równoważne energetycznie ilości spalonego węgla i gazu określono wielkość hipotetycznych rocznych emisji, wykorzystując prezentowane wcześniej (Tab. 6) wartości progowe jednostkowych wskaźników emisji dla obu paliw aprobowane przez Ekoprojekt. Wyznaczone wartości zamieszczono w Tabeli 7.

Analiza danych zawartych w Tabeli 7 wskazuje jednoznacznie, że zastosowanie wysokometanowego gazu ziemnego jako nośnika energii w miejsce węgla energetycznego, pomimo jego spalania przy wykorzystaniu względnie ekologicznego kotła nowej generacji, skutkuje drastyczną redukcją obciążenia środowiska zanieczyszczeniami zawartymi w odlotowych gazach spalinowych. Jest to szczególnie widoczne w przypadku powodujących kwaśne deszcze tlenków siarki, których emisja przy zastosowaniu gazu obniża się ponad 1300 razy. Godnym odnotowania jest również fakt bardzo wydajnej redukcji emisji cząstek stałych generujących powstawanie smogu. Zastosowanie techniki kondensacyjnej umożliwiającej zmniejszenie ilości spalnego gazu, przy zachowaniu wydajności energetycznej kotła na niezmiennym poziomie, dodatkowo wzmacnia wskazaną tendencję.

Tab. 7. Zestawienie obliczonej rocznej emisji zanieczyszczeń, wyznaczonej dla rozpatrywanego budynku, powstałych ze spalania niezbędnej ilości węgla (1346 kg) oraz równoważnej energetycznie ilości gazu ziemnego (939 m³).

Tab. 7. Calculated annual emissions, determined for the building under consideration, resulting from the combustion of the necessary amount of coal (1,346 kg) and the energy-equivalent amount of natural gas (939 m³).

Lp.	Rodzaj Zanieczyszczenia	Emisja roczna węgiel	Emisja roczna gaz ziemny	Krotność emisji węgla względem gazu
1	Pył całkowity [mg]	1130,7	18,7	≈61 razy
2	Pył PM10 [mg]	1017,6	18,7	≈54 razy
3	Pył PM2,5 [mg]	791,5	18,7	≈42 razy
4	Dwutlenek węgla [kg]	3,48	2,14	≈1,6 razy
5	Tlenek węgla [g]	15,1	1,1	≈13,7 razy
6	Tlenki azotu [g]	7,2	1,5	4,8 razy
7	Tlenki siarki [g]	17,0	0,015	≈1 133,3 razy
8	Benzo(a)piren [mg]	1,1	≈0	

8. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały jednoznacznie bardzo znaczące „korzyści środowiskowe” przy zastąpieniu węgla gazem ziemnym, nawet w przypadku względnie niewielkiego budynku mieszkalnego. Biorąc pod uwagę ilość kotłów węglowych eksploatowanych w dalszym ciągu w polskich gospodarstwach domowych, multiplikacja wykazanego efektu środowiskowego na wielką skalę wydaje się nie tylko możliwa, a wręcz oczywista.

Należy zauważyć, że również względy ekonomiczne przemawiają za zasadnością przedstawionego w artykule rozwiązania. Rozeznanie cenowe przeprowadzone w początku listopada 2024 r. ujawniło, że średnia rynkowa cena kotła kondensacyjnego Vitodens 050-W (ok. 3800,-zł) stanowi zaledwie tylko nieco ponad 47% ceny ekologicznego kotła stałopalnego KLIMOSZ IRON X 10 (ok. 8000,-zł). Jeżeli chodzi o koszty eksploatacyjne, to przyjmując hipotetyczny poziom cen dyskutowanych nośników z początku listopada 2024 r. (2,63 zł/m³ GZ oraz ok. 1500,-zł/t węgla energetycznego w sortymencie orzech), korzystniej o ok. 22% wypada „opcja węglowa”, jednakże przy uwzględnieniu znacząco różnych kosztów inwestycyjnych, jej bezwzględna „wyższość” ujawniłaby się dopiero po ponad 9 latach eksploatacji, co praktycznie czyni ten argument nieistotnym.

Dla pełności przedstawionego w artykule obrazu rzeczywistości należy jednakowoż wskazać, że pomimo wykazania niewątpliwie sensowności, a nawet atrakcyjności zaproponowanego rozwiązania w kontekście obserwowanych od dłuższego czasu intensywnych wysiłków czynionych w kierunku bezdyskusyjnej implementacji pakietu normatywnego *Zielonego Ładu*, wydaje się ono tylko doraźne i z pewnością niewystarczające.

LITERATURA

- Gędek S., Kucharska A., Ruszel M. 2018. Geopolityczne oraz makroekonomiczne uwarunkowania wzrostu cen paliw. Analiza IPE nr 3/2018. Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza, Jasionka.
- Kawecka-Wyrzykowska E. 2012. Wyzwania dekarbonizacji polskiej gospodarki: rola węgla. *Spółeczeństwo i Polityka*, 4(73), 67–90.
- Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego 2017. Mapa drogowa na rzecz energii odnawialnej – Energie odnawialne w XXI wieku: budowa bardziej zrównoważonej przyszłości. Bruksela 10.01.2007, KOM(2007), Komisja Wspólnot Europejskich.

- Kowalik M., Zajemska M. 2013. Spalanie węgla kamiennego w powietrzu wzbogaconym tlenem a zanieczyszczenia. *Polityka Energetyczna*, 16, 2, 85–101.
- Krawczyk E., Zajemska M., Wyleciał T. 2013. Mechanizm chemiczny powstawania i usuwania SO₂ w procesie spalania węgla. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Lorenz U. 1999. Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego. *Studia – Rozprawy – Monografie*, 64. Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- Lorenz U. 2005. Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje*. Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- Norma PN-EN ISO 12831 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- Zaleska-Bartosz J., Klimek P. 2011. Łańcuch dostaw skroplonego gazu ziemnego – aspekty ekologiczne. *Nafta-Gaz*, 10/2011, 724–728.
- Żuchowski J. 2019. Logistyka gazu ziemnego w aspekcie zapewnienia technicznego bezpieczeństwa dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 10/2019, 529–541.
- Wiszniewski A. 2007. Kryteria wyboru źródła ciepła do budynków mieszkalnych. *Materiały Budowlane*, 1(413), 76–80.
- Witryna 1: <https://alekotly.pl/product-pol-338-KLIMOSZ-Iron-X-15-kW.html> (dostęp 15.08.2024).
- Witryna 2: <https://www.viessmann.pl/pl/produkty/gazowe-kotly-kondensacyjne/vitodens-050-w.html> (dostęp 26.08.2024).
- Witryna 3: <http://cieplowlasciwie.pl/> (dostęp 5.08.2024).