

OCENA WPŁYWU NA JAKOŚĆ POWIETRZA PRZYKŁADOWEGO BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

Angelika Zemelka

II stopień, 1 semestr, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
e-mail: angelikazemelka@gmail.com

Promotor: *dr inż.* Robert Oleniacz

1 WSTĘP

Emisja zanieczyszczeń, jako efekt oddziaływania sektora komunalno-bytowego, stanowi poważny problem polityczny, ekonomiczny i gospodarczy. Można tu wymienić problemy związane z niską emisją i jej niekorzystnym wpływem na jakość powietrza, niską jakością urządzeń grzewczych i obiektami o nadmiernych potrzebach energetycznych [3-6].

W niniejszej pracy przedstawiono ocenę wpływu na jakość powietrza przykładowego źródła niskiej emisji, jakim jest dom jednorodzinny wyposażony w wysokoefektywny kocioł retortowy typu „EKO-PLUS 20” firmy HEF-Stal Sp. z o.o., opalany paliwem stałym typu Ekogroszek. Określony został także stopień redukcji oszczędności zużycia paliwa (i emisji zanieczyszczeń do powietrza), wynikający z zastosowania proponowanych działań termomodernizacyjnych i zmiany dotychczasowych przyzwyczajeń użytkowników budynku.

2 CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektem badań był budynek jednorodzinny trzykondygnacyjny o powierzchni użytkowej 136,2 m² (dom: 112,2 m²; garaż: 24,0 m²) i kubaturze 708,1 m³, użytkowany przez 5 mieszkańców. Budynek ten ogrzewany jest za pomocą kotła retortowego typu „EKO-PLUS 20” firmy HEF-Stal Sp. z o.o. uznawanego za ekologiczny, ponieważ proces spalania paliwa dedykowanego do tego kotła odbywa się bezdymnie, a emisja zanieczyszczeń jest kilkukrotnie niższa od dopuszczalnej normy. O jego wysokiej klasie świadczy również niepodleganie rejestracji UDT. Oprócz funkcji ogrzewania budynku posiada także funkcję podgrzewania ciepłej wody użytkowej, która znajduje się w jego obiegu, trafiając do bojlera [2]. Kocioł ten jest sterowany automatycznie dzięki zamontowanemu sterownikowi G-403-P02 firmy GECCO. Zgodnie z instrukcją obsługi tego sterownika, służy on do stabilizacji temperatury wody oraz sterowania procesem spalania paliwa w kotle, nie dopuszczając do jego wygaśnięcia. Parametry regulacji można dostosować do aktualnych warunków pracy i rodzaju kotła.

Kocioł „EKO-PLUS 20” zbudowany jest z trzech podstawowych zespołów: wymiennika, skrzyni paleniskowej i palnika retortowego wraz z zespołem podającym [2]. W Tablicy 1 zamieszczono parametry techniczno-energetyczne tego kotła.

Tablica 1: Parametry techniczno-energetyczne kotła „EKO-PLUS 20” [2]

Moc cieplna kotła, kW	Wymiary S×G×W, mm	Wymagany ciąg, Pa	Średnia sprawność, %	Poj. zbiornika paliwa, kg	Poj. wodna kotła, dm ³	Stało-ciepłność, liczba dni
20	1060×750×1235	20	83	160	160	3–4

Kocioł funkcjonuje przez cały rok kalendarzowy. Intensywność jego pracy zależy od zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową (sezon letni i zimowy) i ilości energii potrzebnej na ogrzanie budynku (sezon zimowy), co z kolei jest uzależnione od temperatury zewnętrznej.

Praca kotła dzieli się na :

- czas podawania węgla do kotła c.o. (od 5 do 250 s),
- czas postoju podajnika węgla (od 5 do 250 s),
- czas podtrzymania (od 5 do 250 min.),
- opóźnienie wyłączenia wentylatora w podtrzymaniu (od 5 do 250 s).

Czasy podawania węgla do kotła i czasy postoju podajnika węgla odbywają się na przemian cyklicznie, aż do momentu osiągnięcia temperatury wody wylotowej ustawionej na sterowniku. Po nich następuje czas podtrzymania [2].

W Tablicy 2 scharakteryzowano pracę badanego kotła retortowego w ciągu roku.

Tablica 2: Charakterystyka pracy badanego kotła w sezonie zimowym i letnim

Okres pracy kotła	Czas podawania	Czas postoju	Liczba cykli na godzinę	Czas podtrzymania
Sezon zimowy	20 s	45 s	ok. 5-6	ok. 16 min.
Sezon letni			ok. 2	ok. 40 min.

Aktywność grzewczą kotła podzielono na sezon zimowy i sezon letni, z uwzględnieniem czasu pracy i zużycia paliwa przedstawionego w Tablicy 3.

Tablica 3: Zużycie paliwa w rozpatrywanych okresach pracy kotła (sezonie zimowym i letnim)

Okres pracy kotła	Czas trwania sezonu, h/rok	Całkowite zużycie paliwa, kg/rok	Średnie zużycie paliwa, kg/h
Sezon zimowy	5040	800	0,83
Sezon letni	3720	4200	0,22

3 EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ DO POWIETRZA

W celu określenia emisji zanieczyszczeń do powietrza przeprowadzono analizę składu spalnego paliwa i obliczono teoretyczny skład i ilość powstających spalin. Sama emisja substancji zanieczyszczających została obliczona w funkcji wyznaczonego w ten sposób strumienia objętości gazów odlotowych i stężeń zanieczyszczeń w emitowanych gazach, przyjętych zgodnie z informacjami podawanymi przez producenta tego typu kotła.

3.1 Analiza składu spalanego paliwa

Paliwem stosowanym w badanym kotle retortowym jest paliwo stałe typu Eko-groszek (na bazie węgla kamiennego), pochodzące z kopalni Mysłowice, a sprzedawane przez Zakład Przeróbczy Katowickiego Węgla w Sosnowcu. Analiza składu spalanego paliwa dla jego reprezentatywnej próbki wykonana została w laboratoriach Katedry Kształtowania i Ochrony

Środowiska na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska oraz Katedry Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH w Krakowie. Oznaczono zawartość następujących składników w stanie roboczym:

- węgiel (C^r), wodór (H^r) i azot (N^r) – za pomocą analizatora LECO CHN 628,
- siarka (S^r) – za pomocą analizatora typu ELTRA CS500,
- wilgotność całkowita (W_c^r) – poprzez wysuszenie.

Zawartość popiołu (A^r) przyjęto na średnim poziomie spośród zakresu zmienności tego parametru podanego przez producenta paliwa, a zawartość tlenu (O^r) przyjęto jako resztę. Wyniki przeprowadzonych analiz i obliczeń zamieszczono w Tablicy 4.

Tablica 4: Zawartość poszczególnych składników w spalonym paliwie (Eko-groszek), %

Składnik	C^r	H^r	N^r	S^r	O^r	W_c^r	A^r
Zawartość w paliwie	66,18	5,38	1,04	1,29	7,61	12,5	6,0

3.2 Parametry emitora i gazów odlotowych

Spaliny z badanego kotła retortowego odprowadzane są kominem o wysokości 7,9 m (liczonej od poziomu terenu), zbudowanym od zewnątrz z cegły pełnej, a od wewnątrz z wkładek ceramicznych o współczynniku przenikania ciepła równym $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Przekrój wewnętrzny wylotu emitora jest w postaci kwadratu o boku 0,22 m, stąd jego pole ma wartość $A = 0,0484 \text{ m}^2$.

Jednostkowa ilość spalin suchych i wilgotnych oraz skład spalin wilgotnych obliczono na podstawie zapotrzebowania powietrza teoretycznego ($P_t = 7,62 \text{ m}^3_N \text{ pow./kg}$ paliwa) i całkowitego ($P_c = 11,4 \text{ m}^3_N \text{ pow./kg}$ paliwa) oraz udziału masowego poszczególnych składników paliwa w stanie roboczym ($C^r, H^r, S^r, N^r, O^r, W_c^r$). Wyniki przedstawiono w Tablicy 5.

Tablica 5: Jednostkowa ilość spalin suchych i wilgotnych oraz skład spalin wilgotnych

Jednostkowa ilość powstających spalin, $\text{m}^3_N \text{ spalin/kg}$ paliwa*		Skład spalin wilgotnych, %				
spaliny suche	spaliny wilgotne	CO_2	SO_2	H_2O	N_2	O_2
11,909	12,668	9,8	1,0	6,0	79,9	6,3

* w warunkach normalnych ($p_N = 101,3 \text{ kPa}$, $T_N = 273 \text{ K}$)

Na podstawie nominalnego zużycia paliwa i jednostkowej ilości powstających spalin oraz przyjętych parametrów spalin na wylocie z emitora dla każdego sezonu obliczono średni strumień objętości spalin wilgotnych w warunkach normalnych i rzeczywistych oraz prędkość wylotową spalin. Niezbędną w tych obliczeniach średnią temperaturę spalin na wylocie z kotła przyjęto na poziomie 100°C , a temperaturę spalin na wylocie z emitora określono w oparciu o metodykę opisaną w pracy [10], przyjętą zgodnie z poradnikiem projektanta kominów [9]. Wyznaczone parametrów gazów odlotowych zestawiono w Tablicy 6.

Tablica 6: Strumień objętości spalin wilgotnych oraz parametry gazów na wylocie z emitora

Okres pracy kotła	Strumień objętości spalin wilgotnych		Średnie parametry spalin na wylocie z emitora		
	m^3_N/h	m^3/h	temperatura, K	ciśnienie, kPa	prędkość, m/s
Sezon zimowy	10,557	13,887	359	101,3	0,67
Sezon letni	2,724	3,332	334		0,16

3.3 Obliczenia emisji zanieczyszczeń

Dane emisyjne dla analizowanego kotła przyjęto na podstawie danych podawanych przez producenta (HEF-Stal Sp. z o.o.), które zestawiono w Tablicy 7.

Tablica 7: Parametry emisyjne kotła „EKO-PLUS 20” [8]

Substancja	Jednostka*	Stężenie w spalinach przy 10% O ₂	Wymagania Na Znak Bezpieczeństwa Ekologicznego
Dwutlenek azotu (NO ₂)	mg/m _u ³	330	<600
Dwutlenek siarki (SO ₂)	mg/m _u ³	270	<1000
Pył PM10**	mg/m _u ³	60	<150
Tlenek węgla (CO)	mg/m _u ³	160	<3000
Benzo(a)piren {B(a)P}	μg/m _u ³	0,002	<100

* stężenie w warunkach umownych ($p_u = 101,3$ hPa, $T_u = 273$ K, gaz suchy)

** pył drobny o średnicy aerodynamicznej ziaren do 10 μm

Na podstawie stężeń poszczególnych zanieczyszczeń w spalinach suchych przy 10% tlenu (przedstawionych w Tablicy 7), określono średnie stężenia w spalinach wilgotnych przy rzeczywistej zawartości tlenu oraz obliczono średnie i całkowite emisje do powietrza z podziałem na sezon zimowy i letni w funkcji strumieni objętości spalin wilgotnych w warunkach rzeczywistych (zamieszczonych w Tablicy 6) i czasów trwania poszczególnych sezonów (przyjętych zgodnie z Tablicą 3). Wyniki obliczeń tych parametrów zestawiono w Tablicy 8.

Tablica 8: Emisja zanieczyszczeń do powietrza w sezonie zimowym i letnim

Substancja	Stężenie w spalinach wilgotnych przy rzecz. zawartości tlenu, mg/m ³ _N	Emisja w sezonie zimowym		Emisja w sezonie letnim	
		kg/h	kg/rok	kg/h	kg/rok
NO ₂	414	$3,484 \cdot 10^{-3}$	17,6	$1,128 \cdot 10^{-3}$	4,20
SO ₂	339	$2,850 \cdot 10^{-3}$	14,4	$9,230 \cdot 10^{-4}$	3,43
PM10	75,3	$6,334 \cdot 10^{-4}$	3,19	$2,051 \cdot 10^{-4}$	0,76
CO	201	$1,689 \cdot 10^{-3}$	8,51	$5,470 \cdot 10^{-4}$	2,04
B(a)P	$2,51 \cdot 10^{-3}$	$2,111 \cdot 10^{-8}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	$6,837 \cdot 10^{-9}$	$2,54 \cdot 10^{-5}$

W Tablicy 9 przedstawiono z kolei średnie wskaźniki emisji rozpatrywanych zanieczyszczeń wyprowadzone dla badanego kotła w odniesieniu do ilości spalanego paliwa i ilości energii wprowadzonej w paliwie. Potrzebną w tym drugim przypadku średnią wartość opałową paliwa przyjęto na poziomie 28 MJ/kg [10].

Tablica 9: Wskaźniki emisji zanieczyszczeń określone dla badanego kotła w odniesieniu do ilości spalanego paliwa i do ilości energii wprowadzonej w paliwie (Eko-groszek)

Substancja	Średnie wskaźniki emisji określone dla sezonu zimowego		Średnie wskaźniki emisji określone dla sezonu letniego	
	kg/Mg paliwa	g/GJ	kg/Mg paliwa	g/GJ
NO ₂	4,18	149	5,25	187
SO ₂	3,42	122	4,29	153
PM10	0,76	27,1	0,95	34,0
CO	2,03	72,4	2,54	90,8
B(a)P	$2,53 \cdot 10^{-5}$	$9,05 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$

4 OBLICZENIA ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU

W celu oceny wpływu na jakość powietrza emisji zanieczyszczeń z budynku jednorodzinnego opalanego analizowanym kotłem retortowym wykonano obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu z wykorzystaniem modelu smugi Gaussa, zgodnie z referencyjną metodyką modelowania poziomów substancji w powietrzu stosowaną najczęściej w tego typu ocenach w Polsce [1, 7]. W tym celu zastosowano oprogramowanie typu EK100W firmy Atmoterm. Wyniki obliczeń odniesiono do odpowiednich wartości odniesienia [6] i tła niektórych substancji, przyjętego dla roku 2013 w oparciu o wyniki pomiarów ze stacji monitoringu powietrza WIOŚ Kraków Nowa-Huta, a w przypadku pyłu zawieszonego PM10 – na poziomie 90% poziomu dopuszczalnego D_a (Tablica 10).

Tablica 10: Wartości odniesienia i tło przyjęte dla rozpatrywanych zanieczyszczeń w powietrzu

Substancja	Wartość odniesienia (μg/m ³) uśredniona dla okresu		Tło substancji (R), μg/m ³
	jednej godziny (D ₁)	roku kalendarzowego (D _a)	
NO ₂	200	40	25
SO ₂	350	20	9
PM10	280	40	36
CO	30 000	–	–
B(a)P	0,012	0,001	–

W obliczeniach tych wykorzystano wieloletnie statystyki dane meteorologicznych pochodzące ze stacji IMGW Kraków Balice. Jako podstawowy obszar obliczeniowy przyjęto kwadrat o boku równym 2 km znajdujący się na terenie miejscowości Karniów k. Krakowa (gmina Kocmyrzów-Luborzyca) – w rejonie rzeczywistego położenia rozpatrywanego budynku jednorodzinnego, zlokalizowanego w środku przyjętego obszaru obliczeniowego. Średni współczynnik aerodynamicznej szorstkości podłoża dla tego obszaru został wyznaczony na poziomie 0,1 m (dominacja pól uprawnych).

Dla poszczególnych zanieczyszczeń wykonano obliczenia powodowanych w powietrzu przy powierzchni terenu najwyższych ze stężeń maksymalnych (S_{mm}) i warunków ich występowania w obydwu rozpatrywanych sezonach, a także obliczenia w regularnej siatce stężeń maksymalnych 1-godzinnych (S₁), 99,8 lub 99,726-percentyla ze stężeń 1-godzinnych (S_{99,8/99,726}) oraz stężeń średniorocznych (S_a). Niektóre wyniki tych obliczeń odniesione do odpowiednimi wartości odniesienia zamieszczono w Tablicy 11, a uzyskany charakterystyczny rozkład przestrzenny stężeń średniorocznych (na przykładzie SO₂) – na Rys. 1.

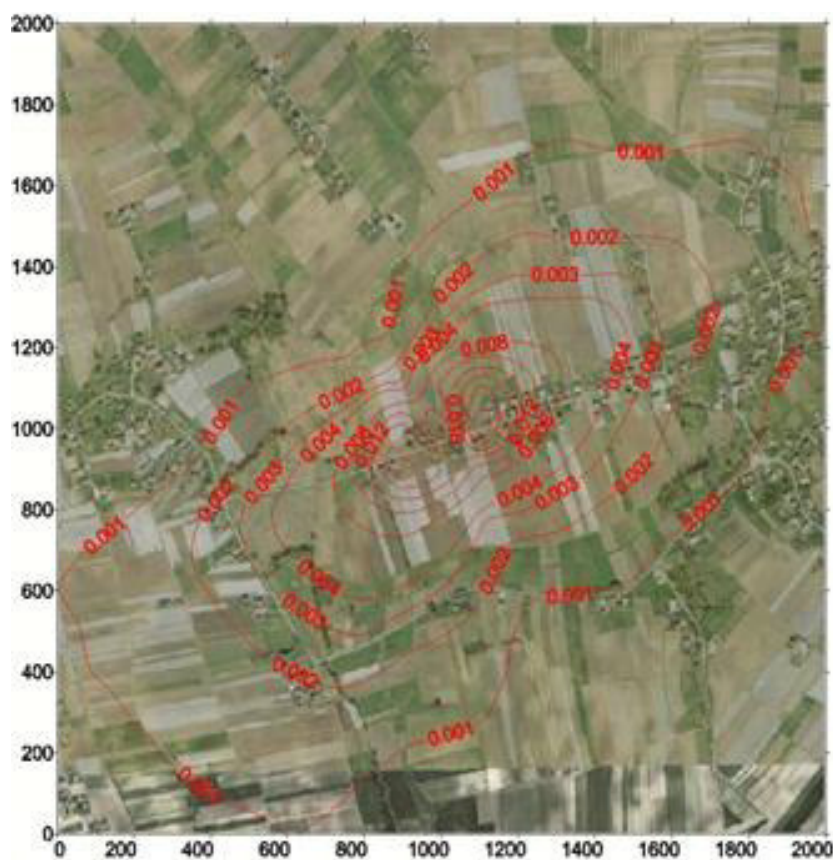
Tablica 11: Najwyższe ze stężeń maksymalnych (S_{mm}) w powietrzu przy powierzchni terenu otrzymane w poszczególnych sezonach oraz odległość ich występowania od emitora (x_{mm})

Substancja	Sezon zimowy			Sezon letni		
	$S_{mm}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	$S_{mm}, \%D_1$	x_{mm}, m	$S_{mm}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	$S_{mm}, \%D_1$	x_{mm}, m
NO ₂	2,808	1,404	58	0,980	0,490	55
SO ₂	2,298	0,656		0,802	0,229	
PM10	0,255	0,091		0,089	0,032	
CO	1,362	0,0045		0,475	0,0016	
B(a)P	$1,702 \cdot 10^{-5}$	0,142		$5,943 \cdot 10^{-6}$	0,049	

Tablica 12: Najwyższe wartości ze stężeń maksymalnych 1-godzinnych ($S_{1 \max}$), odpowiedniego percentyla ze stężeń 1-godzinnych ($S_{99,8} / S_{99,726 \max}$) oraz stężeń średniorocznych ($S_{a \max}$) otrzymane w przyjętym obszarze obliczeniowym

Substancja	$S_{1 \max}$		$S_{99,8} / S_{99,726 \max}^*$		$S_{a \max}$		
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\%D_1$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\%D_1$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\%D_a$	$\% (D_a - R)$
NO ₂	2,354	1,177	1,634	0,817	0,042	0,105	0,281
SO ₂	1,926	0,550	0,999	0,286	0,034	0,172	0,314
PM10	0,214	0,076	0,148	0,053	0,0038	0,0096	0,096
CO	1,142	0,0038	0,792	0,026	0,020	—	—
B(a)P	$1,43 \cdot 10^{-5}$	0,112	$9,90 \cdot 10^{-6}$	0,083	$2,56 \cdot 10^{-7}$	0,026	—

* w przypadku SO₂ percentyl $S_{99,726 \max}$, w przypadku pozostałych substancji percentyl $S_{99,8 \max}$



Rysunek 1: Przestrzenny rozkład stężeń średniorocznych SO₂ w powietrzu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że badane źródło emisji ma bardzo mały wpływ na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Relatywnie największe wartości stężeń w powietrzu uzyskano dla NO₂, ale poziom tych stężeń, podobnie jak w przypadku pozostałych rozpatrywanych substancji jest wielokrotnie mniejszy od odpowiednich wartości odniesienia lub dyspozycyjnych wynikających z tła zanieczyszczeń. Przedstawione w Tablicy 11 najwyższe ze stężeń maksymalnych S_{mm} uzyskano w odległości ok. 55-58 m od emitora w zależności od sezonu, a więc w tej odległości od komina rozpatrywanego domku jednorodzinnego należy spodziewać się jego maksymalnego oddziaływania na jakość powietrza.

Jak wynika z analizy przestrzennych rozkładów stężeń średniorocznych uzyskanych w przyjętym obszarze obliczeniowym (Rys. 1), w kierunku północno-wschodnim oraz południowo-zachodnim od emitora występują dwa lokalne maksima tych stężeń w odległości ok. 100–200 m od budynku, wynikające z specyfiki róży wiatrów występującej w rejonie Krakowa.

5 OCENA MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA ENERGOCHŁONNOŚCI BUDYNKU

Obserwacja przyzwyczajen użytkowników rozpatrywanego budynku jednorodzinnego w zakresie uzyskiwanej i utrzymywanej w okresie grzewczym temperatury wewnętrznej, jak również analiza stopnia izolacyjności tego budynku, pozwoliła na zaproponowanie rozwiązań mających na celu zmniejszenie jego energochłonności. Wdrożenie tych rozwiązań powinno w konsekwencji przynieść zmniejszenie zużycia paliwa na cele grzewcze, a tym samym dalsze obniżenie emisji zanieczyszczeń do powietrza i jej wpływu na otoczenie.

W tym celu wykonano świadectwo charakterystyki energetycznej budynku z wykorzystaniem oprogramowania Audytor OZC 6.1 Pro firmy SANKOM dla stanu aktualnego oraz dla dwóch proponowanych wariantów działań, polegających na: obniżeniu temperatury wewnętrznej budynku w sezonie grzewczym z dotychczasowej 25°C na 20°C (wariant I) oraz ociepleniu poddasza warstwą styropianu o grubości 12 cm (wariant II), skutkującemu obniżeniu współczynnika przenikania ciepła przez poddasze z $U = 6,046 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ na $U = 0,315 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Jako warunki klimatyczne odniesienia przyjęto stację Kraków Balice.

Wyniki audytu energetycznego dla stanu aktualnego i poszczególnych wariantów z uwzględnieniem potencjalnego stopnia redukcji zużycia paliwa przedstawiono w Tablicy 13. Jak wynika z tej tabeli, zaproponowane rozwiązania mające na celu zmniejszenie energochłonności analizowanego budynku powinny przynieść zmniejszenie zużycia spalanego paliwa (Eko-groszku) i emisji zanieczyszczeń do powietrza o ok. 2% w przypadku wariantu I i prawie o 16% w przypadku wariantu II (w stosunku do stanu aktualnego).

Tablica 13: Zapotrzebowanie na energię grzewczą dla różnych wariantów techniczno-użytkowych analizowanego budynku jednorodzinnego i stopień redukcji zużycia paliwa

Parametr	Stan aktualny	Wariant I	Wariant II
Zapotrzebowanie na energię grzewczą, kWh/(m ² ·rok)	201,3	189,2	169,6
Zapotrzebowanie względne, %	100	97,94	84,25
Zużycie paliwa (redukcja), kg/rok	5000	4897 (–103)	4212 (–787)

6 PODSUMOWANIE

Wpływ na jakość powietrza pojedynczego domu jednorodzinnego, wynikający ze spalania w kotle retortowym typu „EKO-PLUS 20”, paliwa stałego typu Eko-groszek (produkowanego na bazie węgla kamiennego) w ilościach ok. 5 Mg/rok, można ocenić na

niewielki. Tego typu kocioł ma bardzo niskie parametry emisyjne, co przekłada się na stosunkowo niewielką emisję w skali roku zanieczyszczeń powietrza, nawet w przypadku użytkowania tego kotła przez cały rok w celach grzewczych i do produkcji c.w.u. Powodowane tą emisją poziomy stężenie zanieczyszczeń w powietrzu są wielokrotnie mniejsze od odpowiednich wartości odniesienia, tak więc nie jest możliwe występowanie przekroczeń poziomów dopuszczalnych w powietrzu takich substancji jak np. dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, pył zawieszony PM10 czy benzo(a)piren w wyniku ich emisji z tego typu źródła. Występowanie ewentualnych przekroczeń musiałoby się wiązać z równoległą emisją z kilkuset tego typu źródeł emisji położonych blisko siebie.

Pomimo stosowania nowoczesnej instalacji grzewczej, istnieje możliwość zwiększenia energooszczędności badanego obiektu i dalsze zmniejszenie jego wpływu na jakość powietrza. Według przeprowadzonych obliczeń dla stanu aktualnego budynek ten mieści się w kategorii F wg podziału na kategorie zapotrzebowania na energię do celów grzewczych. W wyniku zastosowania proponowanych zabiegów termomodernizacyjnych (ocieplenie poddasza warstwą styropianu) i zmiany przyzwyczajzeń użytkowników (zmniejszenie o kilka stopni temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach) możliwe jest uzyskanie kategorii E i zaoszczędzenie prawie 900 kg paliwa rocznie, przy czym ok. 88,5% zaoszczędzonego paliwa wynikałoby z termomodernizacji poddasza. Pozwoliłoby to jednocześnie na redukcję emisji zanieczyszczeń do powietrza o ok. 18%.

LITERATURA

- [1] Bogacki, M. i Oleniacz, R., Referencyjna metodyka modelowania poziomów substancji w powietrzu na tle innych modeli obliczeniowych, *Inżynieria Środowiska*, 9(1), s. 35-45, 2004.
- [2] HEF-Stal Sp. z o.o., Dokumentacja techniczno-ruchowa, Kotły stalowe wodne centralnego ogrzewania typu „EKO-PLUS” 12-75 kW.
- [3] Kopietz-Unger, J., Zmniejszenie zapotrzebowania na energię poprzez wzrost efektywności energetycznej budynku i działania prosumenckie, *Przegląd Budowlany*, nr 12, s. 44-52, 2012.
- [4] Norwisz, J. (red.), Termomodernizacja budynków dla poprawy jakości środowiska, Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, Gliwice 2004.
- [5] Oleniacz, R., Kasietczuk, M. i Rzeszutek, M., Ocena efektów termomodernizacji budynków jednorodzinnych. 1. Zmniejszenie zużycia ciepła i emisji zanieczyszczeń do powietrza, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 31, z. 61(3/I/14), s. 183-196, 2014.
- [6] Oleniacz, R., Kasietczuk, M. i Rzeszutek, M., Ocena efektów termomodernizacji budynków jednorodzinnych. 2. Ograniczenie wpływu na jakość powietrza atmosferycznego, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 31, z. 61(3/I/14), s. 197-215, 2014.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu, Dz. U. 2010 Nr 16 poz. 87.
- [8] www.hef.com.pl (dostęp z dnia: 2.12.2014).
- [9] www.kominiarczyk.com (dostęp z dnia: 25.11.2014).
- [10] Zemełka, A., Ocena wpływu na jakość powietrza wybranych źródeł emisji, Projekt inżynierski pod kierunkiem dr inż. R. Oleniacza, AGH, WGGiŚ, Kraków, 2014 (praca niepublikowana).