

REDUKCJA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W WYNIKU TERMOMODERNIZACJI ZABYTKOWYCH OBIEKTÓW SAKRALNYCH

Joanna PIOTROWSKA-WORONIAK, Grzegorz WORONIAK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono efekty ekologiczne, jakie można uzyskać po wykonaniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych na podstawie audytów energetycznych wykonanych w zabytkowych budynkach sakralnych. Analizie poddane zostały cztery kościoły zlokalizowane na terenie diecezji Drohiczyńskiej, w dekanacie sarnackim – kościół numer 1 i numer 2, w dekanacie sokołowskim – kościół numer 3 i w dekanacie bielskim – kościół numer 4.

Słowa kluczowe: zabytkowy obiekt sakralny, emisja zanieczyszczeń, redukcja emisji, wskaźniki zanieczyszczeń.

1. Wprowadzenie

Emisja substancji zanieczyszczających NO_x , CO , SO_2 oraz zanieczyszczeń organicznych, a także lotnych związków organicznych jest ściśle uzależniona od technologii spalania, rodzaju paliwa i technicznych uwarunkowań jej realizacji, czyli techniki spalania oraz charakterystyki fizykochemicznej zastosowanego paliwa i jej stabilności. Również spalanie biomasy (OZE) w piecu/kotle o przestarzałej konstrukcji skutkuje dużą emisją toksycznych zanieczyszczeń (Kubica, 2007). Procesy energetycznego spalania paliw, zwłaszcza węgla, są głównym źródłem antropogenicznej emisji zanieczyszczeń. Ponad 75% emisji NO_x i SO_2 , około 70% emisji CO , ponad 75% emisji pyłów oraz ponad 90% CO_2 pochodzi z procesów spalania paliw.

Wśród zanieczyszczeń emitowanych ze spalania paliw stałych, głównie węgla w postaci aerozolu (smogu), do szczególnie niebezpiecznych zaliczane są pyły, które mogą zawierać metale ciężkie, odpowiedzialne za choroby układu oddechowego i krążeniowego, różnego rodzaju alergie.

W artykule określono, jaki wpływ ma termomodernizacja na poprawę jakości powietrza atmosferycznego. Zmniejszenie zużycia energii, poprzez wprowadzenie przedsięwzięć termomodernizacyjnych jest najefektywniejszym sposobem redukcji emisji do atmosfery szkodliwych substancji takich, jak dwutlenek siarki, tlenki azotu, pyły, czy dwutlenek węgla, bo jest sposobem bezpośrednim.

W dwóch kościołach zaproponowano zamianę dotychczasowego źródła ciepła na kocioł opalany biomasa. Biomasa uważana jest za paliwo, które może zastąpić klasyczne paliwa, zwłaszcza węgiel. Jest paliwem

odnawialnym, a w rozliczeniach emisji CO_2 traktowana jest jako paliwo nie wnoszące emisji gazów cieplarnianych (Wielgosiński, 2009).

Na ochronę i odnowę zabytkowych obiektów kościoły i kościelne osoby prawne, a także związki wyznaniowe mogą korzystać z unijnych środków dotacyjnych. Przewidziane są programy operacyjne na odnowę obiektów sakralnych, zagospodarowanie terenów przykościelnych, rewitalizację i termomodernizację budynków sakralnych oraz ich otoczenia (www.fundusze-europejskie.pl). Samodzielna realizacja, tak dużych inwestycji w większości przypadków jest bardzo trudna lub niemożliwa do zrealizowania. Występując o środki z funduszu unijnego należy wykonać audyt energetyczny, który potwierdzi zmniejszenie zużycia energii cieplnej i pokaże efekty energetyczne, ekonomiczne i dodatkowo ekologiczne.

W artykule przedstawiono efekty ekologiczne, jakie można uzyskać przeprowadzając termomodernizację obiektów sakralnych i modernizując instalację grzewczą oraz źródło ciepła pokazując w ten sposób zasadność przeprowadzania tych czynności. Efekty energetyczne i ekonomiczne omawianych budynków sakralnych przedstawione zostały we wcześniejszym artykule autorów (Piotrowska-Woroniak i Woroniak, 2014).

2. Wyznaczenie emisji szkodliwych substancji przed i po termomodernizacji w obiektach sakralnych

Obliczanie wielkości emisji substancji zanieczyszczających (SO_2 , NO_x , CO_2) wprowadzanych do powietrza przy energetycznym spalaniu paliw, w przypadku paliw stałych, ciekłych i gazowych, obliczono z zależności (Materiały, 1996):

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: g.woroniak@pb.edu.pl

$$E = B \cdot w \text{ [kg / rok]} \quad (1)$$

gdzie: B jest ilością spalonego paliwa w Mg/rok, w jest wskaźnikiem emisji dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla, dwutlenku węgla odpowiednio w kg/Mg paliwa, kg/m^3 , $\text{kg}/10^6\text{m}^3$.

Emisji CO_2 ze spalania biomasy (drewna opałowego i odpadów pochodzenia drzewnego, odpadów komunalnych biogenicznych i biogazu) nie wliczono do sumy emisji ze spalania paliw, zgodnie z zasadami Wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji oraz IPCC. Podejście to jest równoważne stosowaniu zerowego wskaźnika emisji dla biomasy (Wskaźniki opałowe, 2012).

Emisję pyłu przy spalaniu paliw stałych – $E_{\text{pył}}$ [kg] wyznaczono w oparciu o następującą zależność (Materiały opałowe, 1996):

$$E_{\text{pył}} = B \cdot w \cdot \frac{(100 - \eta)}{(100 - k)} \quad (2)$$

gdzie: w jest wskaźnikiem unosu pyłu w kg/Mg paliwa, η jest sprawnością urządzenia odpylającego w %,

natomiast k jest to zawartość części palnych w pyłe w %.

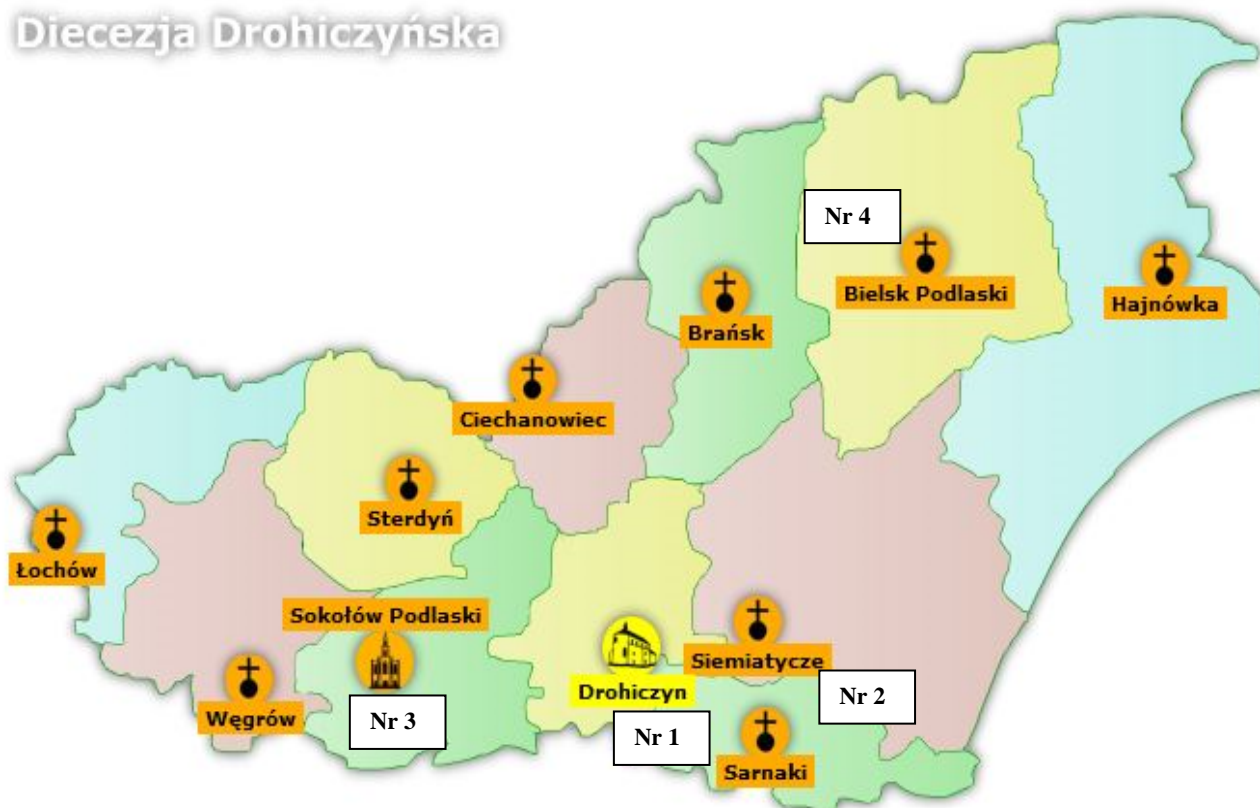
Obliczenie wielkości emisji zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji wykonano przy wartości opałowej paliwa, w przypadku: drewna 15,6 MJ/kg – kościół numer 1 i numer 4; węgla 22,52 MJ/kg – kościół numer 2; oleju 40,19 MJ/kg (olej ciężki – zawartość siarki 0,2%; olej lekki -zawartość siarki 0,2%) – kościół numer 1 i numer 3; gazu propan-butan 96,85 MJ/m³ (zawartość siarki 40mg/m³) – kościół numer 3 (Wskaźniki opałowe, 2012).

3. Charakterystyka budynków sakralnych

Analizowane obiekty sakralne zlokalizowane na terenie diecezji Drohiczyńskiej, w dekanacie sarnackim – kościół numer 1 i numer 2, w dekanacie sokołowskim – kościół numer 3 i w dekanacie bielskim – kościół numer 4. Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację kościołów na terenie diecezji Drohiczyńskiej.

W tabeli 1 przedstawiono ogólną charakterystykę energetyczną budynków kościołów przed i po termomodernizacji zgodnie z audytami energetycznymi (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011).

Diecezja Drohiczyńska



Rys. 1. Lokalizacja obiektów sakralnych na terenie diecezji Drohiczyńskiej (www.drohiczyn.opoka.org.pl)

Tab. 1. Ogólna charakterystyka energetyczna budynków kościołów przed i po termomodernizacji (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011)

Obiekt sakralny	Rodzaj paliwa w źródle ciepła		Całkowita sprawność systemu grzewczego* [%]		Zapotrzebowanie na moc cieplną q_0 [kW] na cele c.o.		Zużycie energii cieplnej na cele c.o. Q_0 [GJ]		Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło (energię końcową) E_{KH} [kWh/m ² a]	
	przed	po	przed	po	przed	po	przed	po	przed	po
Kościół numer 1	olej ciężki	biomasa	71,4	88,2	68,46	55,42	275,75	187,90	402,08	273,99
Kościół numer 2	węgiel	węgiel	59,0	68,6	12,40	6,02	98,66	42,18	548,13	234,34
Kościół numer 3	ogrzewanie elektryczne i na gaz płynny propanbutan	olej opałowy lekki	79,6	96,0	177,51	109,51	637,88	329,05	281,26	207,77
Kościół numer 4	ogrzewanie elektryczne	biomasa	88,5	70,0	97,90	45,17	308,26	126,53	246,71	123,65

*Całkowita sprawność systemu grzewczego – na którą składa się: sprawność wytwarzania ciepła, przesyłania ciepła, regulacji i wykorzystania systemu grzewczego i akumulacji ciepła.

4. Efekty ekologiczne po przeprowadzeniu termomodernizacji budynków kościołów i modernizacji źródeł ciepła

Na efekt ekologiczny w obiektach sakralnych wpłynęły przedsięwzięcia w obrębie bryły budynku, jak również modernizacje źródeł ciepła. Z uwagi na zabytkowy charakter obiektów nie była możliwa poprawa izolacyjności przegród zewnętrznych metodami tradycyjnymi. Jedynie w kościele numer 2 możliwe było docieplenie ścian zewnętrznych płytami z wełny mineralnej pod elewacją z desek. Uwzględniając wymagania konserwatora zabytków, w kościołach zaproponowano docieplenie stropu pod strychem, docieplenie podłogi na gruncie, wymianę okien i drzwi oraz położenie tynków ciepłochronnych, z wyjątkiem kościoła numer 2. Prace termomodernizacyjne obejmowały także wymianę instalacji c.o. i źródła ciepła, oprócz kościoła numer 2, gdzie pozostawiony został kocioł węglowy, ze względu na dobry stan techniczny. W trzech modernizowanych obiektach sakralnych zaproponowane zostało ogrzewanie podłogowe (kościół numer 1, 3 i 4) razem z wymianą posadzek kamiennych, w kościele numer 2 ogrzewanie z grzejnikami

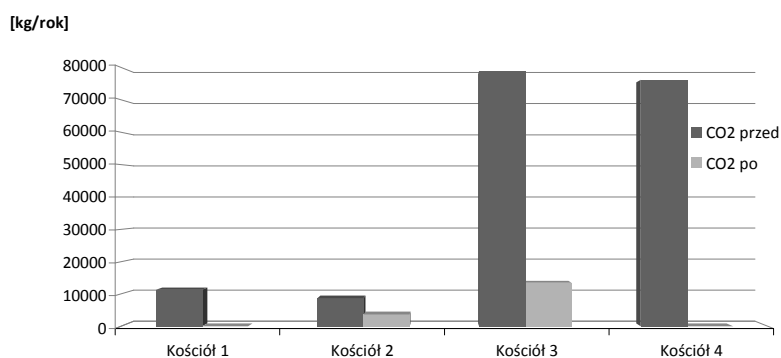
kanałowymi. Zaproponowane ogrzewanie podłogowe umożliwi utrzymanie parametrów temperatury i wilgotności na stabilnym poziomie, co jest ważne ze względu na obrazy, czy ścienne freski.

Dokładny opis prac termomodernizacyjnych analizowanych kościołów zgodnych z audytem energetycznym (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011) dotyczący omawianych budynków przedstawiono w artykule (Piotrowska-Woroniak i Woroniak, 2014).

Przeprowadzając termomodernizację budynków sakralnych i modernizując źródło ciepła, uzyskano zmniejszenie emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery podczas spalania paliw przed i po termomodernizacji. Uzyskane efekty ekologiczne wyliczono w oparciu o dane wskaźnikowe emisji zanieczyszczeń (Materiały, 1996).

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń emisji zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji. Na rysunku 2 pokazano wyniki emisji CO₂ w formie graficznej.

W przypadku spalania drewna (kościół numer 1 i numer 4) przyjmuje się emisję CO₂ równą zero, ponieważ podczas wzrostu drzewa asymilują tyle CO₂, ile emitują podczas ich spalania, stąd też bilans zanieczyszczeń jest zero.

Rys. 2. Obliczone emisje CO₂ przed i po termomodernizacji kościołów

Tab. 2. Wyniki emisji zanieczyszczeń przed i po termomodernizacji

L.p.	Zanieczyszczenia	Rodzaj kotłowni/ zużycie paliwa		Emisja zanieczyszczeń [kg/rok]		Redukcja zanieczyszczeń	
		Przed	Po	Przed modernizacją	Po modernizacji	[kg/rok]	[%]
Kościół numer 1							
1	SO ₂			26,07	9,63	16,44	63,06
2	CO ₂	olejowa B ₀ = 6,86	biomasa B ₁ = 12,04	11 319	0	0	100
3	Pył	Mg/rok	Mg/rok	12,35	20,47	wzrost	-
4	NO _x			34,3	3,61	30,69	89,48
Kościół numer 2							
1	SO ₂			0,59	0,25	0,34	57,63
2	CO ₂	węgiel B ₀ = 4,381	węgiel B ₁ = 1,873	8 762	3 746	5 016	57,25
3	Pył	Mg/rok	Mg/rok	52,57	22,48	30,09	57,24
4	NO _x			4,38	1,87	2,51	57,31
Kościół numer 3 *							
1	SO ₂	gaz propan- butan		195,44	31,11	164,33	84,08
2	CO ₂	B ₀ = 3293	olej	78 850	13 508	72 091	91,43
3	Pył	m ³ /rok i prąd	B ₁ = 8,187	160,59	14,74	145,64	90,69
4	NO _x	B ₀ = 88,596 MWh/rok	Mg/rok	113,18	40,94	71,60	63,26
Kościół numer 4							
1	SO ₂	energia	biomasa	188,64	6,49	182,15	96,56
2	CO ₂	elektryczna		76 209	0	0	100
3	Pył	B ₀ = 85,628	B ₁ = 8,11	155,16	13,79	141,37	91,11
4	NO _x	MWh/rok	Mg/rok	105,32	2,43	102,89	97,69

* w kościele numer 3 zużycie gazu propan-butan i energii elektrycznej na cele grzewcze wynosi po 50%.

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wyniki analizy ekologicznej czterech wybranych kościołów zlokalizowanych na terenie diecezji Drohiczyńskiej. Uzyskane efekty ekologiczne można uzyskać w związku z przeprowadzeniem inwestycji w obrębie bryły budynku, jak również, w trzech kościołach (numer 1, 3 i 4), zmian w źródłach ciepła (Zwolski, 2011a, b, c; NAPE, 2011).

Zamiana starych źródeł ciepła na źródła ciepła spalające biomasę (kościół numer 1 i 4) była spowodowana poszukiwaniem przede wszystkim paliwa ekonomicznego i taniego, jednocześnie efektywnie energetycznego i w miarę możliwości ekologicznego. Wymogi te spełniała biomasa, która traktowana jest jako paliwo odnawialne i uznawana w rozliczeniach emisji CO₂, jako paliwo o zanieczyszczeniu zerowym. W kościele numer 3, gdzie ogrzewanie obiektu odbywało się w systemie mieszanym: energia elektryczna i gaz propan-butan, na życzenie inwestora zostało zamienione na kotłownię bezobsługową, na olej opałowy lekki.

W każdym z kościołów, w wyniku prac termomodernizacyjnych można zaobserwować redukcję zanieczyszczeń. Najmniejsze zmniejszenie odprowadzanych zanieczyszczeń do atmosfery jest w kościele numer 2, związane jest to tylko z poprawą jakości termicznej budynku, bez ingerencji w źródło ciepła. Natomiast w pozostałych obiektach, oprócz zmian w bryle budynku wprowadzono zmiany w źródle ciepła, zastępując je innymi paliwami i to w dużym stopniu wpłynęło na efekty ekologiczne.

Wyniki analizy ekologicznej przedstawione w artykule wykazują zasadność przeprowadzenia termomodernizacji obiektów sakralnych i modernizacji źródeł ciepła. Można uzyskać redukcję wszystkich analizowanych emisji zanieczyszczeń między innymi: SO₂, które uległo redukcji do poziomu średnio około 75%; NO_x średnio do poziomu około 77%; CO₂ uległo całkowitej redukcji w przypadku kotłowni na biomasę w kościołach numer 1 i 4, w pozostałych dwóch kościołach średnio do 74% oraz pyłów do powietrza atmosferycznego na poziomie około 64%, z wyjątkiem kościoła numer 1, gdzie nastąpił wzrost

emisji pyłu.

Uzyskane efekty ekologiczne w pełni pozwalają sądzić, że termomodernizacja obiektów sakralnych, jak również modernizacja źródeł ciepła są w pełni uzasadnione i przyczyniają się do redukcji emisji głównych zanieczyszczeń powietrza: dwutlenku siarki, tlenu azotu, pyłów, dwutlenku węgla, a tym samym do ochrony środowiska naturalnego.

Podczas termomodernizacji tego typu obiektów należy pamiętać, żeby pogodzić wymogi nowoczesności z utrzymaniem tradycyjnego charakteru obiektów.

Literatura

- Kubica K. (2007). Efektywne i przyjazne środowisku źródła ciepła – ograniczenie niskiej emisji. Poradnik. *Polski Klub Ekologiczny*, Katowice.
- Materiały (1996). Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, seria 1/96, Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw, Warszawa.
- NAPE (2011). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Wyszkach. *NAPE*, Białystok.
- Piotrowska-Woroniak J., Woroniak G. (2014). Termomodernizacja zabytkowych kościołów. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 5, Nr 1, 23-29.

Wielgosiński G. (2009) Czy Biomasa jest paliwem ekologicznym? W: Monografii „Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej”. Tom. I. (red. J. Ozonek i M. Pawłowska). *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, Lublin, vol. 58, 347-356

Wskaźniki opałowe (2012). Wskaźniki opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2009 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2012.

Zwolski W. (2011a). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Chłpkowie. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.

Zwolski W. (2011b). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Serpelicach. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.

Zwolski W. (2011c). Audyt energetyczny budynku kościoła parafii rzymsko-katolickiej w Kozuchówku. *Pracownia Obsługi i Inwestycji Waldemar Zwolski*, Warszawa.

REDUCTION OF EMISSION POLLUTION AS A RESULT OF THERMOMODERNISATION HISTORIC SACRAL BUILDINGS

Abstract: The paper presents the environmental effect that can be achieved after thermomodernisation based on energy audits carried out in historic sacra buildings. Four church were analysed, all of them were located in the are of the Drohiczyn Diocese.