

Anna LIS, Adam UJMA

Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

## OCENA REDUKCJI NISKIEJ EMISJI PO MODERNIZACJI BUDYNKU PRZY RÓŻNYCH WARIANTACH NOŚNIKÓW ENERGII

W artykule przedstawiono problem występowania niskiej emisji związanej z ogrzewaniem i przygotowaniem ciepłej wody użytkowej oraz jej wpływu na kształtowanie się jakości powietrza w Polsce. Wyszczególniono produkty spalania wchodzące w skład niskiej emisji. Podano najwyższe średnie roczne wartości stężeń B(a)P w 2015 roku oraz średnie roczne i średnie dobowe wartości stężeń PM10 i PM2.5. Omówiono działania termomodernizacyjne zrealizowane w budynku szkoły. Dokonano oceny możliwości redukcji niskiej emisji w przypadku zastosowania nowego kotła na węgiel kamienny, drewno, gaz ziemny oraz olej opałowy.

**Słowa kluczowe:** nośniki energii, niska emisja, benzo(a)piren, pyły zawieszone, termomodernizacja budynku

### WPROWADZENIE

Niska emisja to emisja do atmosfery szkodliwych dla środowiska i człowieka substancji z emiterów znajdujących się na wysokości nie większej niż 40 m n.p.t. Wprowadzane do powietrza na tej wysokości zanieczyszczenia gromadzą się wokół miejsca powstania i są przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych przyczyną powstawania smogu. Źródłem niskiej emisji jest komunikacja, przemysł oraz spalanie paliw w celu wytworzenia ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej w kotłowniach indywidualnych i piecach. Produkty spalania wchodzące w skład niskiej emisji to: dwutlenek siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, dwutlenek węgla, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (np. benzo(a)piren), dioksyny, a także metale ciężkie, tj. ołów, arsen, nikiel czy kadm oraz pyły zawieszone PM10, PM2.5. Jak wynika z obserwacji, niska emisja jest ważną przyczyną niewłaściwej jakości powietrza w Polsce, a głównym źródłem pyłu zawieszonego, benzo(a)pirenu czy dioksyn są zanieczyszczenia emitowane przez piece i kotły, zwykle o niskiej sprawności, opalane węglem, drewnem, biomasą, a także często różnego rodzaju odpadami [1, 2].

W Polsce w użytkowaniu jest około 3,5 mln kotłów i pieców węglowych, spośród których około 3 mln to kotły w złym stanie technicznym, o niskiej sprawności, niegwarantujące właściwych warunków spalania [3]. Wysoki poziom niskiej emisji występuje również w przypadku spalania drewna i biomasy. Głównym

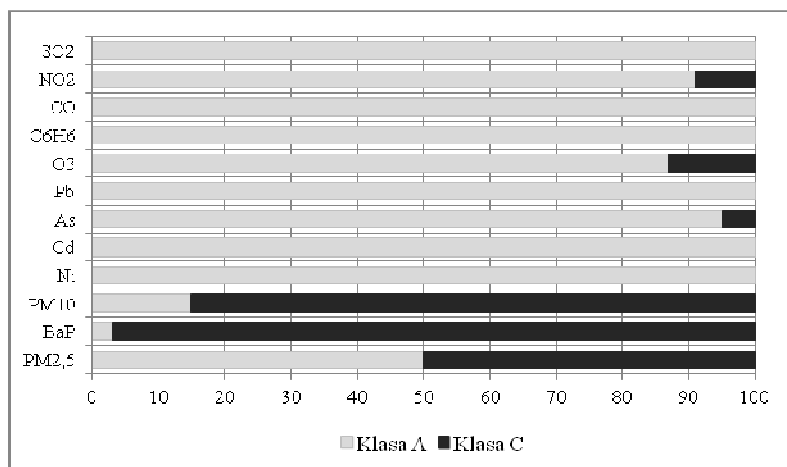
źródłem ciepła w około 11% domów jest kominek lub kocioł na drewno. Jedynie około 17% domów posiada ogrzewanie zapobiegające niskiej emisji, tj. gazowe, elektryczne lub z sieci ciepłowniczej, bądź z odnawialnych źródeł energii. Na poziom emisji wpływa również jakość użytego paliwa, jego wartość opałowa oraz poziom zanieczyszczenia szkodliwymi substancjami [4-7].

Dodatkowym problemem jest niska izolacyjność cieplna znacznej ilości eksploatowanych obecnie budynków, co wiąże się z dużymi stratami ciepła w sezonie grzewczym i wymusza znacznie zużycie nośników energii, a przez to także wysoki poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

## 1. NISKA EMISJA A JAKOŚĆ POWIETRZA W POLSCE

W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w sieci pomiarów jakości powietrza funkcjonuje około 260 stacji pomiarowych [8]. Obszar Polski podzielono na 46 stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza pod kątem ochrony zdrowia. Zgodnie z wytycznymi ustawy Prawo ochrony środowiska, strefę stanowią aglomeracje o liczbie mieszkańców powyżej 250 tysięcy, miasta niebędące aglomeracjami o liczbie mieszkańców powyżej 100 tysięcy oraz pozostałe obszary województw [9]. Strefy na obszarze, na którym nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego poziomu stężeń, zalicza się do klasy A, natomiast do klasy C zalicza się te strefy, gdzie poziom stężeń zanieczyszczeń był przekroczony i wymagane jest prowadzenie określonych działań, mających na celu osiągnięcie odpowiednich poziomów dopuszczalnych substancji w powietrzu.

W 2015 roku największe przekroczenia dopuszczalnych stężeń dotyczyły benzo(a)pirenu oraz pyłu PM<sub>10</sub>. Udział stref zaliczonych do klasy A i C w odniesieniu do poszczególnych zanieczyszczeń przedstawiono na rysunku 1 [10].



Rys. 1. Udział stref zaliczonych do klas A i C w 2015 roku w odniesieniu do poszczególnych zanieczyszczeń w Polsce [10]

Ze względu na przekroczenie stężenia benzo(a)pirenu aż 42 strefy zaliczono do klasy C. Obszar 39 stref zakwalifikowano do klasy C ze względu na przekroczenie stężenia pyłu PM<sub>10</sub>, a 23 strefy ze względu na przekroczenie stężenia pyłu PM<sub>2.5</sub>. Poziom stężenia B(a)P w 2015 roku był przekroczony na 129 stanowiskach. Przekroczenie wartości PM<sub>10</sub> dla stężeń średnich dobowych odnotowano na 158 stanowiskach, a poziomu określonego dla stężeń średnich rocznych na 36 stanowiskach [10].

Najwyższe średnie roczne wartości stężeń B(a)P zanotowano na obszarze województw: łódzkiego (15,6 ng/m<sup>3</sup>), dolnośląskiego (15,3 ng/m<sup>3</sup>), małopolskiego (12 ng/m<sup>3</sup>), opolskiego (11 ng/m<sup>3</sup>) oraz śląskiego (10,5 ng/m<sup>3</sup>). Uśrednione stężenie średnie roczne B(a)P dla wszystkich stanowisk w 2015 roku wynosiło 4,99 ng/m<sup>3</sup>. W przypadku pyłu PM<sub>10</sub> najwyższe średnie roczne stężenia zaobserwowano na terenie województw: małopolskiego (68 µg/m<sup>3</sup>), śląskiego (52 µg/m<sup>3</sup>) oraz mazowieckiego i podkarpackiego (44 µg/m<sup>3</sup>), a średnie dobowe na terenie województw: śląskiego (321 µg/m<sup>3</sup>), świętokrzyskiego (199 µg/m<sup>3</sup>) i wielkopolskiego (188 µg/m<sup>3</sup>). Największy wpływ na emisję pyłów zawieszonych w 2015 roku miało spalanie paliw stałych na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, w przypadku PM<sub>10</sub> udział ten wyniósł 49%, w przypadku PM<sub>2.5</sub> 50%. Szacuje się, że ta kategoria źródeł niskiej emisji odpowiedzialna była w 2015 roku za 86% całkowitej emisji benzo(a)pirenu.

Poziom stężenia benzo(a)pirenu traktowany jest jako wskaźnik zanieczyszczenia powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. W prawie krajowym i unijnym dopuszczalne średnie roczne stężenie B(a)P wynosi 1 ng/m<sup>3</sup>. Norma dla średnich rocznych stężeń pyłu PM<sub>10</sub> wynosi 40 µg/m<sup>3</sup>, zaś dla PM<sub>2.5</sub> 20 µg/m<sup>3</sup>, jednak normy Światowej Organizacji Zdrowia są w tym względzie dwa razy bardziej restrykcyjne. Dopuszczalny dobowy poziom stężeń pyłu PM<sub>2.5</sub> wynosi 20 µg/m<sup>3</sup>, a pyłu PM<sub>10</sub> 50 µg/m<sup>3</sup> i nie może być przekroczony częściej niż 35 dni w roku. Poziom 200 µg/m<sup>3</sup> to poziom informowania dla stężenia dobowego, a poziom 300 µg/m<sup>3</sup> to poziom alarmowy. Jednak, niestety, często zdarzają się stężenia godzinne PM<sub>10</sub> sięgające powyżej 1000 µg/m<sup>3</sup> [10].

Najbardziej szkodliwą substancją zawartą w powietrzu z punktu widzenia ochrony zdrowia jest pył zawieszony PM<sub>2.5</sub>. Istotny wpływ na zdrowie ludzkie mają również zanieczyszczenia gazowe, a w szczególności dwutlenek azotu, dwutlenek siarki oraz tlenek węgla. W opublikowanym 12 maja 2016 roku przez WHO raporcie dotyczącym zanieczyszczenia powietrza w miastach w latach 2008-2015 stwierdzono jego 8% wzrost w ciągu ostatnich pięciu lat [11]. Wśród 50 najbardziej skażonych pyłem PM<sub>2.5</sub> miast Unii Europejskiej 33 są zlokalizowane w Polsce. Na pierwszym miejscu znalazł się Żywiec (43 µg/m<sup>3</sup>), po nim Pszczyna (2), a następnie Rybnik (4), Wodzisław Śląski (5), Opoczno (6), Sucha Beskidzka (7) oraz Godów (8). Na liście są również: Kraków, Nowy Sącz, Katowice, Wadowice, Gliwice, Zduńska Wola, Sosnowiec, Kalisz, Tychy, Bielsko-Biała i Zakopane. Szacuje się, że 43 tys. zgonów rocznie w Polsce spowodowanych jest działaniem na organizm człowieka pyłu PM<sub>2.5</sub>, co stanowi 10-krotnie większą ilość niż zgonów w wyniku wypadków drogowych [12].

## 2. TERMOMODERNIZACJA BUDYNKU JAKO METODA OGRANICZENIA NISKIEJ EMISJI

Wysoka energochłonność znacznej części budynków w Polsce związana jest przede wszystkim z niską izolacyjnością cieplną ich przegród. Kompleksowa termomodernizacja energochłonnych budynków jest więc pierwszym krokiem na drodze do obniżenia niskiej emisji poprzez redukcję zużycia energii przeznaczonej do ich ogrzewania, czyli redukcję zużycia paliw. W celu ograniczenia emisji pyłów i gazów niezwykle istotna jest również przebudowa lokalnych kotłowni, wymiana kotłów na nowe o wysokiej sprawności czy zastosowanie źródeł opalanych gazem ziemnym lub olejem, a także przechodzenie na odnawialne źródła energii, likwidacja małych lokalnych ciepłowni węglowych przez podłączenie obiektów do miejskiej sieci ciepłowniczej, przebudowa wewnętrznych instalacji grzewczych, izolowanie przewodów oraz wyposażanie instalacji w elementy pomiarowe umożliwiające regulację pogodową bądź czasową.

Do analizy wybrano typowy budynek szkoły, zlokalizowany na terenie województwa śląskiego, wzniesiony w technologii tradycyjnej, jedno- i dwukondygnacyjny, częściowo podpiwniczony. Powierzchnia ogrzewana budynku wynosi 1148 m<sup>2</sup>. Ściany zewnętrzne wykonano z cegły pełnej obustronnie tynkowanej, stropodach pełny składa się z płyty DZ-4 ocieplonej matami trzcinowymi. Okna wykonano z drewna jako podwójnie szklone. Główne drzwi wejściowe wykonane były z nieizolowanych profili aluminiowych, pozostałe drzwi zewnętrzne z drewna. Ze względu na brak izolacji cieplnej przegrody charakteryzowały się wysokimi współczynnikami przenikania ciepła: ściana zewnętrzna  $U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , stropodach  $U = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , strop nad piwnicą  $U = 1,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , a podłoga parteru na gruncie  $U = 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Współczynnik przenikania ciepła okien wynosił  $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , drzwi aluminiowych zewnętrznych  $U = 6,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , a pozostałych drewnianych  $U = 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Budynek był ogrzewany z własnej kotłowni węglowej zlokalizowanej na parterze. Wyeksploatowany kocioł, stare grzejniki członowe i Faviera, brak izolacji przewodów to powody bardzo niskiej sprawności systemu centralnego ogrzewania, na poziomie około 40%.

W celu poprawy izolacyjności cieplnej przegród wykonano docieplenie ścian i stropodachu, wymieniono stolarkę okienną i drzwiową oraz konstrukcję aluminiową wiatrołapu na nową z szybą zespoloną. W ramach przebudowy kotłowni zastąpiono wyeksploatowany kocioł węglowego nowym o wysokiej sprawności, a także zastosowano elementy automatycznej regulacji i sterowania systemem. Przeprowadzono również przebudowę systemu c.o. i c.w.u., zamontowano elementy grzejne o małej bezwładności cieplnej oraz zawory termostatyczne, założono otuliny na przewodach c.o., zastąpiono nieefektywne podgrzewacze elektryczne podgrzewcem scentralizowanym z kotłowni własnej. Zwiększono przerwy w ogrzewaniu w ciągu dnia.

Obniżenie współczynników przenikania ciepła przegród o około 60÷80% przez ich docieplenie oraz ponad 100% poprawa sprawności systemu grzewczego przyczyniły się do około 55% spadku zużycia ciepła w rozpatrywanym budynku.

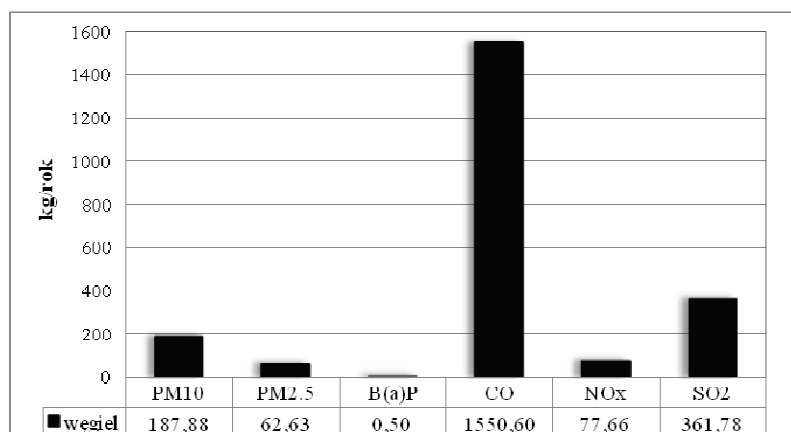
### 3. REDUKCJA NISKIEJ EMISJI PO TERMOMODERNIZACJI BUDYNKU

Po wykonaniu termomodernizacji zanotowano wysoki spadek emisji szkodliwych substancji w związku ze zmniejszeniem zużycia energii w rozpatrywanym budynku (ze średnio 913,9 GJ/rok do 412,9 GJ/rok), a w konsekwencji zmniejszeniem zużycia węgla kamiennego. Analizowane zanieczyszczenia powietrza to pyły zawieszone PM10 i PM2.5, benzo(a)piren, tlenek węgla, tlenki azotu oraz dwutlenek siarki. W tabeli 1 przedstawiono ilość tych substancji emitowanych do atmosfery przed i po termomodernizacji budynku oraz wielkość ich redukcji. Wskaźniki emisji przyjęto na podstawie materiałów KOBiZE [14].

Tabela 1. Emisja bezpośrednia i jej redukcja dla wybranych zanieczyszczeń

Rodzaj zanieczyszczenia	Wskaźniki emisji	Przed termomodernizacją	Po termomodernizacji	Redukcja emisji
	kg/GJ	kg/rok	kg/rok	%
PM10	0,375	342,71	154,84	54,8
PM2.5	0,125	114,24	51,61	54,8
B(a)P	0,001	0,91	0,41	54,8
CO	3,095	2828,52	1277,93	54,8
NO <sub>x</sub>	0,155	141,65	64,00	54,8
SO <sub>2</sub>	0,7221	659,95	298,16	54,8

Po termomodernizacji osiągnięto spadek emisji pyłów zawieszonych PM10 i PM2.5 do atmosfery o około 55%. Spadek emisji benzo(a)pirenu i pozostałych szkodliwych substancji kształtował się na tym samym poziomie. Wielkość unikniętej emisji zanieczyszczeń przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Emisja uniknięta zanieczyszczeń do atmosfery

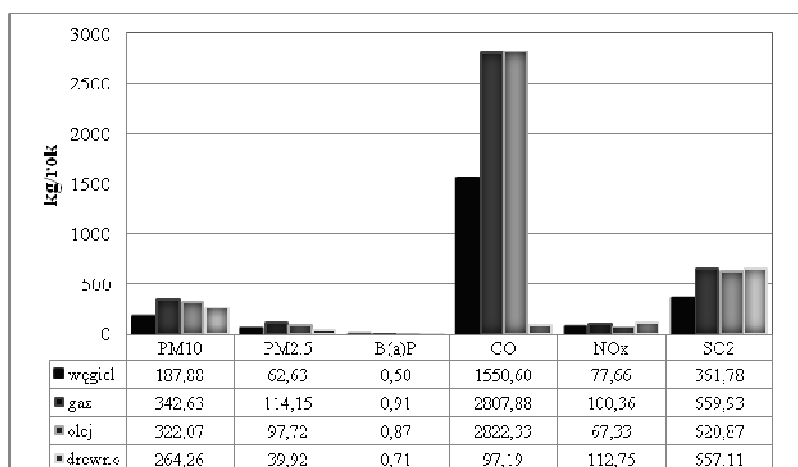
#### 4. REDUKCJA NISKIEJ EMISJI A RODZAJE PALIW

Szczególnie korzystna w przypadku redukcji emisji pyłów zawieszonych oraz benzo(a)pirenu jest likwidacja źródeł ciepła zasilanych węglem jako nośnikiem energii. Dokonano analizy redukcji niskiej emisji w przypadku zastosowania zamiast kotła węglowego kotłów na gaz, olej lub drewno. Ilość zanieczyszczeń po termomodernizacji budynku przy różnych nośnikach energii oraz procentową redukcję emisji bezpośredniej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Emisja bezpośrednia po termomodernizacji oraz jej procentowa redukcja przy różnych rodzajach nośników energii

Rodzaj zanieczyszczenia	Rodzaj nośnika energii							
	Węgiel	Gaz	Olej	Drewno	Węgiel	Gaz	Olej	Drewno
	kg/rok				%			
PM10	154,84	0,083	20,65	78,45	54,8	99,9	94,0	77,1
PM2.5	51,61	0,083	16,52	74,32	54,8	99,9	85,5	34,9
B(a)P	0,41	0,0	0,041	0,21	54,8	100,0	95,5	77,4
CO	1277,93	20,65	6,19	2731,33	54,8	99,3	99,8	3,4
NO <sub>x</sub>	64,00	41,29	74,32	28,90	54,8	70,9	47,5	79,6
SO <sub>2</sub>	298,16	0,021	39,08	2,84	54,8	~100,0	94,1	99,6

Najodpowiedniejszym rozwiązaniem redukcji emisji, zwłaszcza PM10, PM2.5 i B(a)P, byłoby połączenie kompleksowej termomodernizacji budynku z wymianą źródła ciepła zasilanego węglem na źródło zasilane gazem. Wielkość unikniętej emisji zanieczyszczeń przy różnych nośnikach energii przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Emisja uniknięta przy różnych rodzajach nośników energii

Wymiana kotła na sprawniejszy węglowy spowodowała 55% spadek emisji pyłów zawieszonych, a w przypadku zastosowania kotła gazowego uzyskuje się prawie 100% redukcję nie tylko pyłów zawieszonych, ale i benzo(a)pirenu oraz tlenu węgla i dwutlenku siarki.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jakość powietrza w Polsce nadal nie utrzymuje się na zadowalającym poziomie. Największą liczbę przekroczeń wartości dopuszczalnych notuje się dla pyłów zawieszonych i benzo(a)pirenu. Dominującą przyczyną przekroczeń jest niska emisja pochodząca ze spalania paliw stałych w kotłach i piecach. Emisja ta, ze względu na sprzyjające powstawaniu smogu warunki atmosferyczne, była szczególnie uciążliwa w mijającym sezonie grzewczym. Najwyższe stężenia pyłu PM10 na terenie województwa śląskiego zanotowano 9 stycznia 2017 roku w: Rybniku ( $1585 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Zabrze ( $1251 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Dąbrowie Górniczej, Gliwicach i Wodzisławiu Śląskim ( $985 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz Częstochowie ( $863 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Średnie dobowe stężenie dla pyłu PM10 przekroczyło wówczas poziom alarmowy, który wynosi  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , m.in. w: Rybniku ( $860 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Zabrze ( $736 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Wodzisławiu Śląskim ( $675 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Częstochowie ( $499 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Gliwicach ( $425 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz Żywcu ( $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Poziom stężenia pyłu PM2.5 był szczególnie wysoki w Gliwicach ( $644 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i Katowicach ( $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [13].

Racjonalizacja zużycia energii w budynkach poprzez działania termomodernizacyjne jest podstawą do ograniczenia niskiej emisji zwłaszcza na obszarze, gdzie zlokalizowane są budynki posiadające indywidualne kotłownie lub piece. Zastąpienie wyeksploatowanych urządzeń grzewczych nowymi, o wysokiej sprawności, zakaz stosowania węgla w rejonach szczególnie zagrożonych, konsekwentne egzekwowanie zakazu palenia śmieci, a także zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii w jej wytwarzaniu dodatkowo wydatnie ograniczy emisję benzo(a)pirenu czy pyłów zawieszonych.

Na podstawie monitoringu efektów termomodernizacji budynku szkoły i przeprowadzonej analizy stwierdzono, że:

- 1) po dociepleniu przegród nastąpiło obniżenie ich współczynników przenikania ciepła o około 60-80%,
- 2) uzyskano poprawę sprawności systemu grzewczego o ponad 100% w stosunku do sprawności wyeksploatowanej już, w znacznym stopniu, instalacji centralnego ogrzewania,
- 3) osiągnięto spadek zużycia ciepła o około 55%,
- 4) otrzymano redukcję emisji pyłów zawieszonych PM10 i PM2.5, benzo(a)pirenu oraz innych zanieczyszczeń do atmosfery o około 55% przy zastosowaniu nowego kotła węglowego,
- 5) najkorzystniejszym rozwiązaniem przy redukcji niskiej emisji jest zastosowanie gazu jako nośnika energii, co gwarantuje blisko 100% spadek zanieczyszczenia atmosfery szczególnie uciążliwymi substancjami.

## LITERATURA

- [1] Ochrona środowiska, Informacje i opracowania statystyczne, GUS, Warszawa 2016.
- [2] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, [www.kobize.pl](http://www.kobize.pl)
- [3] Instytut Ekonomii Środowiska, [www.iee.org.pl](http://www.iee.org.pl)
- [4] Energia, Informacje i opracowania statystyczne, GUS, Warszawa 2016.
- [5] Gospodarka paliwowo-energetyczna, Informacje i opracowania statystyczne, GUS, Warszawa 2016.
- [6] Zużycie energii w gospodarstwach domowych, Informacje i opracowania statystyczne, GUS, Warszawa 2016.
- [7] Zużycie paliw i nośników energii, Informacje i opracowania statystyczne, GUS, Warszawa 2016.
- [8] System pomiarów jakości powietrza w Polsce, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, [www.gios.gov.pl](http://www.gios.gov.pl)
- [9] Ustawa Prawo ochrony środowiska, tekst jednolity, DzU z dnia 13 marca 2017 roku, poz. 519.
- [10] Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2015, Państwowy Monitoring Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2016.
- [11] Air quality in Europe - report 2013 and 2015. EEA Report, No 9/2013 and No 5/2015.
- [12] HollandM., Cost-Benefit Analysis of Final Policy Scenario for the EU Clean Air Package, EMRC 2014.
- [13] <http://powietrze.katowice.wios.gov.pl>
- [14] Wskaźniki emisji ze spalania paliw, KOBiZE, Warszawa 2015.

## ASSESSMENT OF LOW EMISSION REDUCTION AFTER MODERNIZATION OF BUILDING BY DIFFERENT VARIANTS OF FUEL TYPE SELECTING

The article presents the problem of low emissions associated with heating and hot water preparation and its influence on the air quality in Poland. The low emission combustion products are listed. The highest average annual concentrations of B(a)P in 2015 and average annual and average daily concentrations of PM10 and PM2.5 are given. The thermal modernization activities implemented in school buildings are discussed. The assessment of potential for low emission reductions in the case of a coal, wood, gas and oil using are performed.

**Keywords:** fuel combustion, low emission, benzo(a)piren, particulate matter, thermal modernization of the building