

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2019, nr 109, s. 79–92

DOI: 10.24425/znigsme.2019.130164

Janusz ZYŚK¹, Adam SZURLEJ², Tadeusz OLKUSKI³, Krzysztof KOGUT⁴,
Tomasz CIEŚLIK⁵, Tomasz MIROWSKI⁶

Wskaźniki emisyjności dla technologii stosowanych w indywidualnych systemach grzewczych

Streszczenie: Polska od lat zмага się ze złą jakością powietrza, co bezpośrednio przekłada się na zdrowie ludzkie.

Badania wskazują, że największy wpływ na przekraczanie poziomów dopuszczalnych i docelowych stężeń zanieczyszczeń, szczególnie pyłów oraz bezno(a)pirenu, ma niska emisja, w szczególności z sektora gospodarstw domowych. Powodem takiego stanu jest spalanie złej jakości paliwa w starych, mało efektywnych i wysoko-emisyjnych paleniskach. Mając na uwadze powyższe zagrożenia, idąc śladem Krakowa i Małopolski, kolejne województwa, miasta i gminy wprowadzają lub rozważają wprowadzenie ograniczenia spalania paliw stałych na swoim terenie oraz całkowitą likwidację kotłów na paliwa stałe niespełniające wymogów ekoprojektu lub ewentualnie normy 5 klasy emisji spalin.

Określenie wielkości emitowanych zanieczyszczeń do atmosfery ma kluczowe znaczenie w przypadku podejmowania wysiłków i określania działań zmierzających do poprawy jakości powietrza. W Polsce ruszyły ambitne programy zarówno na poziomie rządowym, jak i regionalnym, które mają na celu wymianę kotłów i pieców w kilku milionach domów. Na przykład szacuje się, że prawie pół miliona kotłów należy wymienić w ramach

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków; ORCID iD: 0000-0001-8767-8532; e-mail: jazysk@agh.edu.pl

² Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków; ORCID iD: 0000-0003-3872-9019; e-mail: szua@agh.edu.pl

³ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków; ORCID iD: 0000-0002-6256-9628; e-mail: olkuski@agh.edu.pl

⁴ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków; ORCID iD: 0000-0001-5968-0117; e-mail: kogut@agh.edu.pl

⁵ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków; Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków; ORCID iD: 0000-0002-8100-5668; e-mail: tomasz.cieslik@ifj.edu.pl

⁶ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; ORCID iD: 0000-0003-4897-9142; e-mail: mirowski@min-pan.krakow.pl



© 2019. Autorzy. Jest to artykuł udostępniany w otwartym dostępie zgodnie z warunkami licencji międzynarodowej Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowa (CC BY-SA 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), która zezwala na używanie, dystrybucję i reprodukcję na dowolnym nośniku, pod warunkiem, że artykuł jest prawidłowo cytowany.

realizacji uchwały antysmogowej w województwie małopolskim. W artykule zostały przedstawione opracowane współczynniki emisji zanieczyszczeń mających bezpośredni wpływ na lokalną jakość powietrza tj.: współczynniki emisji pyłów, bezno(a)pirenu, tlenków siarki i azotu, tlenku węgla. Zostały wskazane zakresy stosowanych i prezentowanych współczynników emisji dla różnych technologii oraz różnych paliw. Wskazane zostały również standardy emisji obowiązujące dla nowych kotłów oraz ilości zużywanych paliw w gospodarstwach domowych w Polsce.

Przedstawiono możliwe zmiany wielkości emisji w przypadku likwidacji starych kotłów i używania nowoczesnych urządzeń do spalania biomasy oraz węgla w gospodarstwach domowych oraz przeprowadzenia termomodernizacji.

Słowa kluczowe: wskaźniki emisji, gospodarstwa domowe, jakość powietrza, kotły

Emission factors for heating technologies used in households

Abstract: For years, Poland has been struggling with poor air quality, which has a direct effect on human health. The low-stack emissions, in particular emissions from the household sector have the highest impact on exceeding the limits and target levels of air pollutants concentration, especially particulate matter and benzo(a)pyrene. The reason for this is the burning of poor quality fuel in old, ineffective and high emission stoves and boilers. Bearing the above risks in mind, following the footsteps of Kraków and Małopolska, further provinces, cities and municipalities have introduced or are considering the introduction of a reduction in the combustion of solid fuels in their area and the complete elimination of boilers for solid fuels that do not comply the ecodesign or class 5 emission standards.

Determining the volume of pollutants emitted into the atmosphere is of key importance during efforts and campaigns aimed at improving air quality. Ambitious programs have been launched in Poland at both the governmental and the regional level, aimed at exchanging boilers and stoves in several million houses. In the Małopolskie province it is estimated that almost half a million boilers need to be replaced according to the implementation of the anti-smog resolution for this province. The article will present pollutant emission factors having a direct impact on local air quality, i.e.: emission factors for particulate matter, benzo(a)pyrene, sulphur and nitrogen oxides and carbon monoxide. The ranges of the applied and presented emission factors for different technologies and various fuels will be indicated.

Emission standards applicable to new boilers and the fuel consumption in the household sector in Poland have also been presented.

Possible changes in the volume of emissions in the case of the liquidation of old boilers and the use of modern devices for burning biomass and coal in households as well as the implementation of thermomodernization are presented.

Keywords: emission factors, households, air quality, boilers

Wprowadzenie

Zanieczyszczenia powietrza są jedną z głównych przyczyn przedwczesnej umieralności ludzi. Zanieczyszczenia, takie jak pyły, wnikają do organizmu człowieka i wpływają negatywnie na zdrowie wielu układów człowieka, w tym przede wszystkim na układ oddechowy, krwionośny a także mogą powodować rozwój chorób nowotworowych. Szczególnie niebezpieczne są pyły o mniejszych frakcjach, które łatwo przenikają górne drogi oddechowe i dostają się płuc, a dalej w głąb organizmu. Zawarty w pyłach benzo(a)piren jest silnym czynnikiem onkogennym. Polska, z racji dużego zanieczyszczenia powietrza, od lat podejmuje działania mające na celu redukcję emisji zanieczyszczeń. Wysiłki ostatnich lat skoncentrowano na redukcji emisji z sektora gospodarstw domowych ze względu na ich przeważający wpływ na lokalną jakość powietrza, szczególnie podczas okresu grzewczego.

Jest to wyjątkowy sektor ze względu na dużą liczbę źródeł emisji, a także ich zróżnicowanie zarówno ze względu na technologie, stosowane paliwa i jakość instalacji. To powoduje trudności z oceną i kontrolą wielkości emisji. Warto również mieć na uwadze, że sposób ogrzewania, a także jakość stosowanych nośników energii ma ogromny wpływ na budżety milionów rodzin oraz na występowanie i wielkość zjawiska ubóstwa energetycznego. Oszacowanie i ocena wielkości emisji aktualnych oraz przyszłych ma kluczowe znaczenie przy ocenie efektywności wdrażanych programów zmniejszających emisje z sektora domowego oraz poprawiających jakość powietrza w Polsce.

1. Jakość powietrza w Polsce oraz źródła zanieczyszczeń

W Polsce ocenę jakości powietrza przeprowadza się w 46 strefach obejmujących:

- aglomeracje powyżej 250 tys. mieszkańców – łącznie 12 aglomeracji,
- miasta powyżej 100 tys. mieszkańców – łącznie 18 miast,
- reszta powierzchni województwa nieobjęta dwoma powyższymi – łącznie 16 stref, po jednej w każdym województwie.

Ocena jakości powietrza dokonywana jest dla 12 zanieczyszczeń, dla których określone zostały poziomy dopuszczalne oraz docelowe ([Dyrektywa... 2008](#); [Rozporządzenie... 2012](#)). Jakość powietrza jest oceniana na podstawie pomiarów Państwowego Monitoringu Środowiska (ponad 200 stacji) oraz w przypadku zanieczyszczeń, dla których nie ma zagrożenia przekroczenia na podstawie modelowania lub szacowania. Zbiorcze wyniki oceny jakości powietrza w latach 2010, 2015–2017 zostały przedstawione w tabeli 1.

Z przedstawionych ocen przekroczeń dopuszczalnych i docelowych poziomów zanieczyszczeń wynika, że w Polsce zła jakość powietrza spowodowana jest przede wszystkim nadmiernymi stężeniami pyłu (zarówno frakcji PM_{2,5} jak i PM₁₀) oraz benzo(a)pirenu (tab. 1). W ponad 70% stref zostały przekroczone ponad 35 razy w ciągu roku dobowe stężenia 50 µg/m³ pyłów PM₁₀. W prawie całej Polsce (43 na 46 stref) występują również przekroczenia poziomu docelowego B(a)P.

Dane Światowej Organizacji Zdrowia dla roku 2016 wskazują, że na świecie 12% zgonów spowodowanych jest złą jakością powietrza ([Global... 2018](#)). Według szacunków tej organizacji współczynnik umieralności spowodowany złym stanem powietrza wyniósł w Polsce 36,3 (36,3 zgonów na 100 000 mieszkańców). Dla porównania współczynnik ten przyjął następujące wartości dla poszczególnych obszarów: Afryka 180,2, południowo-wschodnia Azja 160,4, Bliski Wschód 123,7, Region Zachodniego Pacyfiku 103,1, Europa 36,3 oraz obie Ameryki 30,6. Wyniki oszacowań dla poszczególnych krajów wskazują, że najgorsza jakość powietrza jest w Sierra Leone, gdzie Światowa Organizacja Zdrowia wyznaczyła współczynnik umieralności związany z zanieczyszczeniami powietrza na poziomie 324,1, a najlepszy w Kanadzie, gdzie osiągnął poziom 7. W przypadku Europy krajem o najlepszej jakości powietrza w 2016 była Finlandia ze współczynnikiem umieralności 7,2, a najgorszym Bośnia i Hercegowina, gdzie współczynnik ten wynosił 79,9. Dla porównania ten wskaźnik osiągnął poziom w Stanach Zjednoczonych 13,3, w Indiach 184,3, Niemczech 16,0, w Chinach 112,7, a w Indiach 184,3.

TABELA 1. Liczba stref zaliczonych do określonych klas dla poszczególnych zanieczyszczeń i okresów uśredniania w 2010, 2015, 2016 i 2017 (Ocena... 2011, 2016, 2017, 2018)

TABLE 1. Number of zones classified to specific classes for particular pollutants and averaging periods in 2010, 2015, 2016 and 2017

Zanieczyszczenie	Okres uśredniania wyników pomiarów	Liczba stref z przekroczeniami poziomów docelowych i dopuszczalnych w poszczególnych latach			
		2010	2015	2016	2017
SO ₂	1 godzina	0	0	0	0
	24 godziny	1	0	0	1
NO ₂	1 godzina	0	0	0	0
	rok	3	4	4	4
CO	8 godzin	0	0	0	0
C ₆ H ₆	rok	3	0	0	0
PM10	24 godziny	42	39	35	34
	rok	21	15	9	10
PM2,5	rok	28	23	18	19
Pb	rok	0	0	0	0
As	rok	2	2	2	3
Cd	rok	0	0	0	0
Ni	rok	0	0	0	0
B(a)P	rok	38	44	43	43
O ₃	8 godzin	5	6	8	6

Europejska Agencja Środowiska oceniająca stan powietrza w krajach UE również wskazuje, że jakość powietrza w Polsce jest bardzo zła na tle innych członków Unii. W Polsce ze względu na zanieczyszczenia na 100 tys. mieszkańców wskaźnik lat straconego życia z powodu stężenia pyłów wynosi 1403. Większe wartości zostały oszacowane dla Bułgarii, Węgier oraz krajów byłej Jugosławii (Air... 2018).

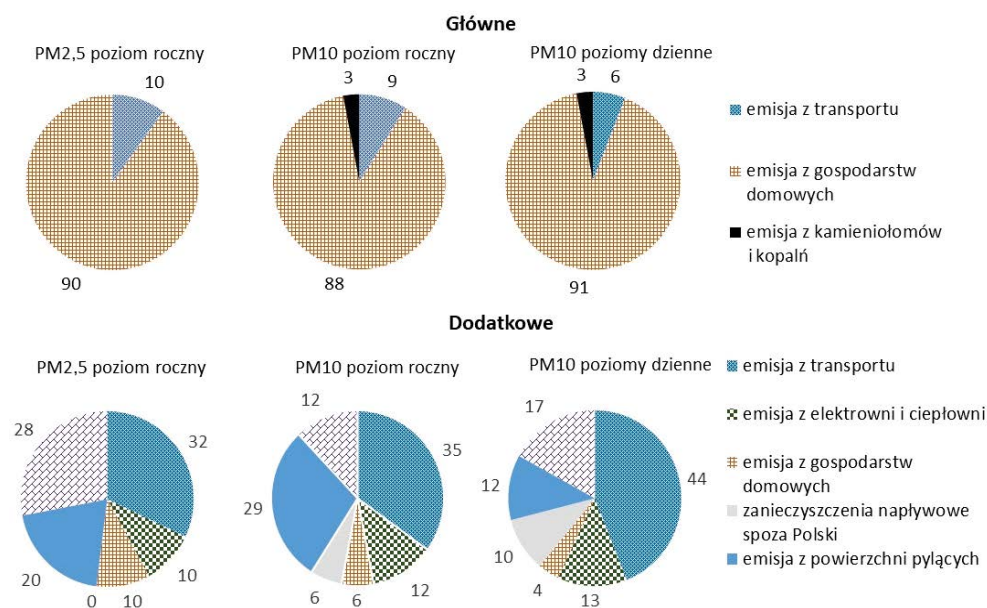
Według badań przeprowadzonych w 2018 r. oszacowano, że w Polsce w wyniku oddziaływania emisji z sektora komunalno-bytowego w 2016 r. liczba przedczesnych zgonów wyniosła prawie 19 tys., a liczba utraconych lat prawie 440 tys. (Adamkiewicz 2018).

Globalne dane zaprezentowane dla roku 2015 wskazują, że w miastach udział transportu w stężeniach PM_{2,5} i PM₁₀ wynosił 25% i było to główne źródło zanieczyszczeń (Karagulian i in. 2015). Wpływ przemysłu był oszacowany na 15% dla PM_{2,5} oraz 18% dla PM₁₀, a spalania w sektorze gospodarstw domowych 20% w przypadku PM_{2,5} oraz 15% dla PM₁₀. Jakkolwiek te udziały mogą być znacząco różne dla poszczególnych regionów świata. W przypadku Europy Wschodniej i Centralnej, największy wpływ na stężenia pyłów

ma sektor gospodarstw domowych. Oszacowano udział emisji z gospodarstw domowych w stężeniach PM_{2,5} i PM₁₀ na poziomie odpowiednio 32% oraz 45%. Wartości te są najwyższym udziałem we wszystkich regionach świata.

W Polsce również, według wielu oszacowań, głównym źródłem przekroczeń poziomów dopuszczalnych i docelowych zanieczyszczeń, szczególnie pyłów i benzo(a)pirenu, są gospodarstwa domowe. Zgodnie z raportami Instytutu Ochrony Środowiska, od wielu lat główną przyczyną złej jakości powietrza w odniesieniu do pyłów jest spalanie w paliw w gospodarstwach domowych (Ocena... 2011, 2016, 2017, 2018). Według najbardziej aktualnych opracowań na rok 2017 jako główną przyczynę zanieczyszczeń w 90% przypadków wskazano emisje z gospodarstw domowych (rys. 1). Również opracowane programy ochrony powietrza dla poszczególnych stref, gdzie występują przekroczenia poziomów dopuszczalnych i docelowych zanieczyszczeń wskazały, że średnie udziały źródeł emisji z gospodarstw domowych w stężeniach średniorocznych PM₁₀, PM_{2,5} oraz B(a)P na obszarze przekroczeń poziomu normatywnego może sięgać odpowiednio 68,6, 76,0 i 93,2%, jak to się dzieje w przypadku Legnicy (Informacja... 2018).

Emisje z gospodarstw domowych uwalniane są na małej wysokości (tzw. niska emisja obejmująca źródła o wysokości do 40 metrów nad poziomem terenu), w miejscach, gdzie



Rys. 1. Przyczyny wystąpienia sytuacji przekroczeń dopuszczalnego poziomu 24-godzinnych stężeń PM₁₀, rocznych poziomów stężeń PM₁₀ i PM_{2,5} w strefach zaliczonych do klasy C w 2017 roku, wskazane jako główne dla poszczególnych sytuacji przekroczeń – udział procentowy w skali kraju. Opracowanie własne na podstawie (Ocena... 2018)

Fig. 1. Causes of occurrence of exceedances of the limit level of 24 hour concentrations of PM₁₀, annual concentration levels of PM₁₀ and PM_{2,5} in zones classified as class C in 2017, indicated as the main for particular exceedances – percentage share in the country

ludzie mieszkają, co powoduje, że ich rozprzestrzenianie się w atmosferze jest utrudnione. Emisje z gospodarstw domowych są uwalniane głównie w okresie zimowym, co sprawia, że wtedy mamy najgorszą jakość powietrza.

Benzo(a)piren oraz inne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są emitowane w Polsce głównie (około 80%) również z sektora gospodarstw domowych (tab. 2).

TABELA 2. Emisja zanieczyszczeń w 2017 z określeniem udziału procentowego emisji z gospodarstw domowych (Krajowy... 2019; Annex... 2019).

TABLE 2. Emission of pollution in 2017 with the determination of the percentage of emissions from households

Zanieczyszczenie	Jednostka	Całkowita emisja w Polsce	Emisja z gospodarstw domowych	Udział procentowy emisji z gospodarstw domowych
SO ₂	tys. ton	582,65	132,31	23%
NO _x	tys. ton	803,66	61,62	8%
CO	tys. ton	2543,25	1365,95	54%
TSP	tys. ton	340,60	121,95	36%
PM _{2,5}	tys. ton	147,28	55,89	38%
PM ₁₀	tys. ton	246,31	91,95	37%
B(a)P	tony	42,94	33,70	78%

2. Standardy emisji nowych kotłów na paliwa stałe

Kotły używane w Polsce można podzielić na klasy, które określają parametry, jakimi charakteryzuje się dane urządzenie. Norma PN-EN 303-5:2012 wprowadziła klasy od 3 do 5 (tab. 3). W Polsce w wielu budynkach stosuje się niestety kotły pozaklasowe – które mają często niską sprawność oraz dużą emisyjność. W 2015 roku zostały opracowane wytyczne dla kotłów na paliwa stałe (tzw. ekoprojekt, ang. *ecodesign*), których instalacja będzie obowiązkowa na terenie UE od 2020 roku (Rozporządzenie... 2015).

Jak zaprezentowano w tabeli 3, emisja pyłów z najmniejszych kotłów jest w przypadku załadunku automatycznego prawie czterokrotnie niższa dla kotłów klasy 5 i ekoprojektu w porównaniu z kotłami klasy 3. Dla kotłów ekoprojekt określono również wysokości emisji NO_x. Nie są określone dla żadnej klasy kotłów emisje B(a)P – jakkolwiek związek ten jest emitowany wraz z pyłami, toteż wielkości emisji pyłów mają bezpośredni wpływ na emisję B(a)P, a także innych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Dodatkowo dla kotłów zgodnych z założeniem ekoprojektu określono sezonową efektywność energetyczną na poziomie 75% dla kotłów o mocy równiej lub mniejszej 20 kW oraz 77% dla kotłów o wyższej mocy.

TABELA 3. Graniczne wartości emisji dla kotłów opalanych paliwami stałymi o mocy do 500 kW, wg PN EN 303-5:2012 oraz (Rozporządzenie... 2015)

TABLE 3. Emission limit values for solid fuel fired boilers up to 500 kW

Paliwo	Nominalna moc cieplna [kW]	Graniczna emisja zanieczyszczeń [mg/m ³]																
		CO					OGC					pył					NO _x	
		klasa urządzenia																
Załadunek ręczny	≤ 50	3	4	5	eco	3	4	5	eco	3	4	5	eco	3	4	5	eco	eco
		5000				150												
	> 50 do 150	3	4	5	700	100	50	30	150	75	60	60	200					
		2500																
	> 150 do 500	3	4	5	700	100	50	30	150	75	60	60	200					
		1200																
Paliwa kopalne	≤ 50	3	4	5	700	100	50	30	150	75	60	60	200					
		5000																
	> 50 do 150	3	4	5	700	100	50	30	150	75	60	60	200					
		2500																
	> 150 do 500	3	4	5	700	100	50	30	150	75	60	60	200					
		1200																
Załadunek automatyczny	≤ 50	3	4	5	eco	3	4	5	eco	3	4	5	eco	3	4	5	eco	eco
		3000				100												
	> 50 do 150	3	4	5	500	80	30	20	150	60	40	40	200					
		2500																
	> 150 do 500	3	4	5	500	80	30	20	150	60	40	40	200					
		1200																
Paliwa kopalne	≤ 50	3	4	5	500	80	30	20	150	60	40	40	200					
		3000																
	> 50 do 150	3	4	5	500	80	30	20	150	60	40	40	200					
		2500																
	> 150 do 500	3	4	5	500	80	30	20	150	60	40	40	200					
		1200																

3. Wskaźniki emisji dla technologii ogrzewania domów

Szacowanie emisji odbywa się za pomocą dwóch podejść: od góry do dołu (ang. *top – down*) oraz od dołu do góry (ang. *bottom – up*). W przypadku podejścia od góry do dołu, mając emisje dla większego obszaru, podejmujemy próby oszacowania emisji dla mniejszych jednostek. Podział (dezagregacja) emisji następuje za pomocą wybranego czynnika, np. gęstości populacji, powierzchni mieszkalnej lub typu terenu. W przypadku podejścia od dołu do góry, szacujemy emisję z poszczególnych emitorów, a następnie suma ich daje wyniki zbiorcze dla większego terenu. W przypadku gospodarstw domowych, których w Polsce jest ponad 14 milionów, określenie emisji z pojedynczych źródeł jest operacją bardzo trudną. Ciężko jest wyobrazić sobie, aby na każdym kominie wykonywać pomiary spalin. Metodą możliwą do zastosowania jest określenie współczynników emisji dla poszczególnych instalacji. Wskaźniki emisji są przyjętym kompromisem pomiędzy dokładnością oszacowania a możliwością jego wykonania w akceptowalnym czasie i nakładach finansowych. Współczynniki emisji powinny być określone dla poszczególnych paliw (gaz, biomasa, węgiel), jak również dla poszczególnych klas kotłów. Jak wskazano w tabeli 3, emisyjność w zależności

TABELA 4. Zakres raportowanych wskaźników emisji dla różnych rodzajów kotłów i paliw [g/GJ energii użytkowej] (Wskaźniki... 2015; EMPE/EEA... 2017; TÜV ... 2012; Kubica, Ranczak 2018; Kubica i in. 2003; Kubica 2003; Hobson 2005)

TABLE 4. The range of reported emission factors for various types of boilers and fuels [g/GJ of utility energy]

Zanieczyszczenie	Zakres	Rodzaj kotła					
		biomasowy	węglowy	gazowy	olejowy	koksowy	na LPG
SO ₂	dolny	0	0	0,3	58	375	0,21
	górnny	158	1 538	1,17	595	1 538	0,42
NO _x	dolny	37,5	45	32	22	22	33
	górnny	187	316	151	80	250	298
CO	dolny	12,5	235	8,83	44	2 625	11
	górnny	11 764	8 750	44,7	172	8 750	44
TSP	dolny	38,7	59	0,014722	2,1	18	0,22
	górnny	2 460	1 201	3,3	10,5	886	55
PM2.5	dolny	5	4,4	0,5	1,44	37	0,22
	górnny	2 276	600	3,3	3,44	600	55
PM10	dolny	18	15	0,5	1,44	95	0,22
	górnny	2 338	600	3,3	3,44	600	55
B(a)P	dolny	0,005	0,000079	0	0	0,004	0
	górnny	1,8	0,5	b.d.	0,008046	0,35	5,90E-07

od klasy urządzeń, mimo stosowania tych samych paliw, może być różna. Uwzględnienie samych paliw w opracowaniu wskaźników daje bardzo szerokie zakresy wskaźników, co pokazano w tabeli 4. Szczególnie duże zakresy wskaźników występują dla biomasy. W obrębie paliwa biomasowego występuje wiele rodzajów paliw, różniących się składem chemicznym, strukturą fizyczną, pochodzeniem, co powoduje duże zróżnicowanie emisji. Paliwa gazowe zasadniczo mają dużo niższe współczynniki emisji w porównaniu z paliwami stałymi. Ze względu na zróżnicowanie rodzaju kotłów, ich zawansowania technologicznego, spełniania norm emisyjnych oraz wieku urządzeń, zaproponowano podział urządzeń na paliwa stałe na 3 rodzaje: K1, K2, K3, dla których przyjęto również sprawności sezonowe (tab. 5).

TABELA 5. Technologie, paliwa dla których wskazano współczynniki emisji oraz przyjęte sprawności sezonowe.

TABLE 5. Technologies, fuels for which emission factors and seasonal efficiencies were assumed.

Nazwa technologii	Sprawność sezonowa	Uwagi
Kotły biomasa K3	65%	kotły stare powyżej 15 lat, stare kotły i piece bezklasowe, 1 i 2 klasa
Kotły biomasa K2	80%	kotły 5–15-letnie, klasy 3 i 4.
Kotły biomasa K1	85%	kotły poniżej 5 lat – klasa 5 i ekodesign
Kotły węglowe K3	65%	kotły stare powyżej 15 lat, stare kotły i piece bezklasowe, 1 i 2 klasa
Kotły węglowe K2	80%	kotły 5–15-letnie, klasy 3 i 4
Kotły węglowe K1	85%	kotły poniżej 5 lat – klasa 5 i ekodesign
Kotły gazowe	95%	założono taką samą wartość dla wszystkich kotłów
Kotły olejowe	90%	ograniczono do lekkich olejów opałowych
Kotły koksowe	80%	założono taką samą wartość dla wszystkich kotłów

Na podstawie przyjętego podziału oraz sprawności sezonowej zaprezentowanych w tabeli 5 założeniach dotyczących składu paliw oraz ich wartości opałowych, a także po szczegółowym przeglądzie literatury (zestawiono 74 wskaźniki emisji dla SO₂, 79 wskaźniki dla NO_x, 72 dla CO, 29 dla TSP, 57 dla PM_{2,5} i PM₁₀, oraz 61 wskaźników dla B(a)P) zaproponowano współczynniki emisji zaprezentowane w tabeli 6. Założono następujące wartości opałowe dla poszczególnych paliw: węgiel kamienny – 26 MJ/kg, węgiel brunatny – 8,04 MJ/kg, koks – 28,20 MJ/kg, LPG – 47,30 MJ/kg, olej opałowy 40,40 MJ/kg, biomasa – 17,50 MJ/kg oraz gaz ziemny – 36,13 MJ/m³ (Krajowy... 2016). Najwyższe wskaźniki emisji zanieczyszczeń występują ze starych kotłów zarówno na węgiel, jak i na biomasę. Emisja pyłów ze starych kotłów (K3) na biomasę i na węgiel, może być odpowiednio 40 i 30 razy wyższa niż w emisja z kotłów nowoczesnych (K1). Duże różnice w emisji są również zauważalne dla rakotwórczego benzo(a)pirenu. Najczystszy paliwem pozostaje

TABELA 6. Wskaźnik emisji dla kotłów używanych w gospodarstwach domowych [jednostka masy zanieczyszczenia na jednostkę energii użytkowej]

TABLE 6. Emission factor for boilers used in households [mass unit of pollution per unit of useful energy]

	SO ₂	NO _x	CO	TSP	PM2,5	PM10	B(a)P
	g/GJ						mg/GJ
Kotły biomasa K3	11	80	4000	800	740	760	121
Kotły biomasa K2	20	115	670	52,1	47,03	49,5	38
Kotły biomasa K1	0	100	247	19	17,1	18	5
Kotły węglowe K3	400	110	4600	500	430	450	270,5882
Kotły węglowe K2	282	340	1140	52	48	50	50
Kotły węglowe K1	0	194	300	17	15	16	11
Kotły gazowe	0,5	50	27	1,2	1,2	1,2	0,000589
Kotły olejowe	0,28	40	55	2,4	2,4	2,4	8,045891
Kotły koksowe	638	66	3000	137	100	120	4,432624

gaz ziemny. W pracy nie uwzględniono współczynników emisji dla ciepła sieciowego oraz energii elektrycznej. W przypadku tych nośników przyjmuje się emisyjność równą zero w miejscu wykorzystania tej energii, czyli w gospodarstwach domowych. Oczywiście elektrownie, ciepłownie oraz elektrociepłownie, szczególnie wykorzystujące węgiel, emitują zanieczyszczenia, jakkolwiek źródła zlokalizowane są w innych miejscach.

4. Możliwości redukcji emisji z gospodarstw domowych

W celu obliczenia możliwości redukcji emisji z gospodarstw domowych wzięto pod uwagę ilość paliw zużywanych w tym sektorze w Polsce (Energy... 2019). Dane zostały zaprezentowane w tabeli 7; pominięto LPG ze względu na przeznaczenie głównie do gotowania posiłków.

W Polsce sprzedaje się rocznie około 160 tysięcy kotłów, jakkolwiek struktura sprzedaży nie jest do końca znana (Kubica 2017). Duża część kotłów sprzedawanych w Polsce nie spełniała żadnych norm emisyjnych. Trudno zatem jest oszacować strukturę kotłów używanych w Polsce, a tym samym określić emisyjność tych urządzeń. Żadne województwo oraz żadna gmina w Polsce nie posiada precyzyjnych danych dotyczących struktury kotłów na własnym terenie. W Krakowie, który jako jedyne miasto w Polsce likwiduje całkowicie możliwość spalania paliw stałych od 1 września 2019 roku, również, mimo wielu wysiłków, brak jest precyzyjnych danych w zakresie stosowanych kotłów. W obliczeniach przyszłych emisji zatem założono trzy scenariusze:

TABELA 7. Zużycie paliw w gospodarstwach domowych w 2017 roku (Energy... 2019)

TABLE 7. Fuel consumption in households in 2017

Paliwo	Energia chemiczna paliwa [TJ]
Węgiel	270 211
Koks	4 194
Olej	25 090
Gaz ziemny	151 972
Biomasa	109 725

- Scenariusz 1 – struktura zużycia paliw gospodarstwach domowych pozostaje na tym samym poziomie, natomiast wszystkie urządzenia na węgiel i biomasę to technologie nowoczesne (K1).
- Scenariusz 2 – ilość zużywanego węgla i biomasy w gospodarstwach domowych zmniejszona zostaje o 15% ze względu na zwiększenie sprawności urządzeń, wszystkie urządzenia na węgiel i biomasę to technologie nowoczesne (K1).
- Scenariusz 3 – ilość zużywanego węgla i biomasy w gospodarstwach domowych zmniejszona zostaje o 50% ze względu na zwiększenie sprawności urządzeń oraz przeprowadzone termomodernizacje, wszystkie urządzenia na węgiel i biomasę to technologie nowoczesne (K1).

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 8. Do obliczeń wykorzystano strukturę zużycia paliw zaprezentowaną w tabeli 7 oraz wskaźniki emisji umieszczone w tabeli 6.

Wyniki z tabeli 8 wskazują, że w rezultacie realizacji założonych scenariuszy emisje z gospodarstw domowych ulegną znacznemu zmniejszeniu. Emisje pyłów TSP zmniejszą

TABELA 8. Emisje zanieczyszczeń do atmosfery z gospodarstw domowych w wyniku realizacji przyjętych scenariuszy

TABLE 8. Emissions of pollutants into the atmosphere from households resulting from the implementation of the assumed scenarios

Zanieczyszczenie	Jednostka	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3
SO ₂	tys. ton	51,1	51,1	51,1
NO _x	tys. ton	62,1	54,0	35,2
CO	tys. ton	100,8	87,0	54,8
TSP	tys. ton	7,4	6,5	4,6
PM _{2,5}	tys. ton	5,6	4,8	3,1
PM ₁₀	tys. ton	6,5	5,7	3,8
B(a)P	tony	3,2	2,7	1,7

w przypadku scenariusza 1 – 16 razy, a w przypadku realizacji scenariusza 3 aż prawie 27 razy. Ogromna będzie również redukcja emisji B(a)P – do 1,7 tony w przypadku scenariusza 3. Tak wysoka redukcja jest możliwa, jeśli w całej Polsce zostaną zastąpione stare kotły bezklasowe nowoczesnymi kotłami spełniającymi wymogi klasy 5 oraz ekoprojektu. Ogólnopolski program „Czyste Powietrze” ma być realizowany do 2029 roku. W wyniku jego działania mają być wymienione wszystkie stare kotły na paliwo stałe na rozwiązania mniej emisyjne, tj.: nowe kotły węglowe i biomasowe, kotły gazowe, ciepło sieciowe, OZE. W 10 województwach w celu przyspieszenia wymiany kotłów wprowadzono uchwały antysmogowe, w których wyznaczono daty graniczne użytkowania kotłów wysokoemisyjnych (od bezklasowych do klasy 4) na paliwa stałe – dla większości województwa jest to rok 2027 lub 2028.

Podsumowanie

W Polsce w prawie połowie domów do ogrzewania używa się nadal paliw stałych (*Zużycie...2017*). Liczba starych kotłów i pieców w gospodarstwach domowych nie jest dokładnie znana. Szacuje się, że w Polsce może być to około 3,5 miliona domów. Według Programu ochrony powietrza w samej Małopolsce jest około 500 tys. starych instalacji grzewczych na paliwa stałe. W województwie śląskim przy uchwalaniu uchwały antysmogowej w 2017 r. w uzasadnieniu powoływano się na dane z 2002 roku. Wtedy to szacowano tę liczbę na 685 tys. instalacji (*Program... 2017; Uchwała...2017*). Są to jedyne województwa, w dla których są dostępne szacunkowe dane odnośnie do liczby kotłów. W celu poprawy możliwości inwentaryzacji źródeł wprowadza się zarówno bazy danych na poziomie lokalnym (np. w Krakowie), wojewódzkim (np. województwo małopolskie), a także wszczęto działania na poziomie ogólnopolskim. Prawidłowa inwentaryzacja źródeł oraz określenie ich emisyjności poprzez zastosowanie odpowiednich wskaźników emisji pozwoli lepiej i trafniej podejmować działania, określać źródła zanieczyszczeń, ich wpływ na lokalną jakość powietrza, a także przewidywać efekty ekologiczne oraz możliwe zmiany w stężeniach zanieczyszczeń. W artykule autorzy przedstawili swoje prace dotyczące określenia współczynników emisji, mając na uwadze możliwe rozbieżności w emisjach dla pojedynczych, konkretnych instalacji. Obliczono możliwe redukcje emisji związane z eliminacją starych kotłów na paliwa stałe i zamianę ich na nowoczesne rozwiązania. Połączenie nowych kotłów oraz termomodernizacja budynków może przyczynić się do znaczącego zmniejszenia emisji pyłów, benzo(a)pirenu, dwutlenku siarki i tlenku węgla.

W Polsce wymiana wszystkich kotłów nie jest na razie planowana, jakkolwiek w 10 województwach są wprowadzane uchwały antysmogowe, które przewidują wymianę wszystkich kotłów poniżej klasy 5 na nowoczesne kotły spełniające wymagania ekoprojektu w perspektywie najbliższych 10 lat.

Literatura

- Adamkiewicz 2018 – Adamkiewicz, Ł. 2018. *Zewnętrzne koszty zdrowotne emisji zanieczyszczeń powietrza z sektora bytowo-komunalnego*. Raport przygotowany dla Ministerstwa Przemysłu, Przemysłowców i Technologii.
- Air ...2018 – Air quality in Europe – 2018 report. EEA Report No 12/2018.
- Annex 2019 – ANNEX 1: National sector emissions: Main pollutants, particulate matter, heavy metals and persistent organic pollutants. KOBIZE.
- Dyrektywa... 2008 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (CAFE).
- EMPE/EEA... 2017 – EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. EMEP/EEA.
- Energy... 2019 – Energy Balances Sheets. 2017 data. 2019 edition. Statistical book. Luxemburg: Eurostat 2019.
- Global... 2018 – Global Health Observatory (GHO) data. Mortality from household air pollution. Światowa Organizacja Zdrowia, 2018.
- Hobson, M. 2005. Emission factors programme Task 7 — Review of Residential and Small-Scale Commercial Combustion Sources – AEAT/ENV/R/1407.
- Informacja... 2018 – Informacja o wynikach kontroli ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami. LKR.430.003.2018, Nr ewid. 150/2018/P/17/078/LKR. Najwyższa Izba Kontroli. Delegatura w Krakowie 2018.
- Karagulian i in. 2015 – Karagulian, F., Belis, C.A., Dora, C.F.C., Prüss-Ustün, A.M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M. 2015. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, s. 475–483.
- Krajowy... 2016 – Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2014 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2017. Warszawa: KOBIZE.
- Krajowy... 2019 – Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2015–2017 w układzie klasyfikacji SNAP. Raport syntetyczny. Warszawa: KOBIZE.
- Kubica, K. 2003. Environment Pollutants from Thermal Processing of Fuels and Biomass, i 'Thermochemical Transformation of Coal and Biomass. *Thermochemical Processing of Coal and Biomass*, s. 145–232.
- Kubica, K. 2017. *Stanowisko w sprawie działań rekomendowanych przez KERM na rzecz poprawy jakości powietrza w Polsce*. Polska Izba Ekologii.
- Kubica i in., 2003 – Kubica, K., Ranczak, J., Matuszek, K., Hrycko, P., Mosakowski, S. i Kordas, T. 2003. Emission of Pollutants from Combustion of Coal and Biomass and Its Co-firing in Small and Medium Size Combustion Installation', fourth Jt. UNECE Task Force EIONET Work. Emiss. Invent. Proj. Warszawa.
- Kubica, K. i Ranczak, J. 1999. *Determination of non-metallic organic compounds emission factors for solid fuels (coal coke), gas and oil fire appliances*. Zabrze.
- Ocena... 2011 – Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2010. Zbiórny raport krajowy z rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonywanej przez WIOŚ według zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- Ocena... 2016 – Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2015. Zbiórny raport krajowy z rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonywanej przez WIOŚ według zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- Ocena... 2017 – Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2016. Zbiórny raport krajowy z rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonywanej przez WIOŚ według zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- Ocena... 2018 – Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2017. Zbiórny raport krajowy z rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonywanej przez WIOŚ według zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- Program... 2017 – Program ochrony powietrza dla województwa małopolskiego. UMWM.
- Rozporządzenie... 2012 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu.
- Rozporządzenie... 2015 – Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe
- TÜV... 2012 – TÜV Rheinland Energy GmbH Am Grauen Stein, D-51105 Köln – NB. 2456; EN 303-5: 2012; raport K19012016Z1, TÜV 2012.

Uchwała... 2017 – Uchwała nr v/36/1/2017 sejmiku województwa śląskiego z dnia 7 kwietnia 2017 r. w sprawie wprowadzenia na obszarze województwa śląskiego ograniczeń w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw.

Wskaźniki... 2015 – Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw – kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW. Instytut Ochrony Środowiska.

Zużycie... 2017 – Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2015 r. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.