

Porównanie emisyjności nowoczesnych urządzeń grzewczych na biomasę drzewną do wielkości raportowanych w źródłach odniesienia

Opracowała: dr inż. Krystyna Kubica

Członek Rady Naukowej Polskiego Forum Klimatycznego

Wymagania

Tab.1. Wymagania ekoprojektu, emisje wyrażone w mg/m³

Wymagania, Ogrzewacze pomieszczeń Rozp. KE (UE) 2015/1185 Kotły Rozp. KE (UE) 2015/1189	Sprawność użytkowa (η_s) %	Emisja zanieczyszczeń, ⁽¹⁾ mg/m ³			
		Pył (PM) ⁽²⁾	OGC ⁽³⁾	CO	NO _x
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z zamkniętą komorą spalania	≥65	≤40	≤60	≤1500	≤200
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z otwartą komorą spalania	≥30	≤60	≤120	≤2000	≤300
Kocioł automatyczny na biomasę	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤40	≤20	≤500	≤200
Kocioł ręczny na biomasę o mocy	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤60	≤30	≤700	≤200

¹⁾ mocy ≤20kW

²⁾ mocy >20kW

Tab.2. Wymagania ekoprojektu, emisje wyrażone w g/GJ

Wymagania, Ogrzewacze pomieszczeń Rozp. KE (UE) 2015/1185 Kotły Rozp. KE (UE) 2015/1189	Sprawność użytkowa (η_s) %	Emisja zanieczyszczeń, ⁽¹⁾ g/GJ			
		Pył (PM) ⁽²⁾	OGC ⁽³⁾	CO	NO _x
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z zamkniętą komorą spalania	≥65	≤26,8	≤40,1	≤1004	≤134
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z otwartą komorą spalania	≥30	≤26,8	≤80,3	≤1340	≤301
Kocioł automatyczny na biomasę	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤26,8	≤13,4	≤335	≤134
Kocioł ręczny na biomasę o mocy	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤40,2	≤20,1	≤469	≤134

¹⁾ mocy ≤20kW

²⁾ mocy >20kW

Kominki/piece i wkłady kominkowe

Tab.3. Porównanie wskaźników emisji TSP/PM, PM10, PM2.5, LZO (OGC), CO, NOx i SO₂ oraz 4 WWA **zmiierzonych w warunkach rzeczywistych (kolor zielony)** ze spalania drewna bukowego i brzożowego w piecu z układem kanałów akumulacyjnych i palenisku płomienicowym z wodnym wymiennikiem ciepła z danymi literaturowymi

Zanieczyszczenie	Wskaźnik emisji, g/GJ ²⁾									
	Czechy, tunel rocz. ¹⁾	EIG 2019 ⁴⁾	EIG 2019 ⁵⁾	Badania US EPA ⁶⁾	KOBIZE ⁷⁾ Tier 1	Palenisko z akumulacją		Palenisko Z wymiennikiem wodnym		Średnia z badań 1-4
		nowocz. znak. ekolog.	Tier 1	Kominki konwenc.	Piece, kominki	Buk/1 ³⁾	Brzoza/2 ³⁾	Buk/3 ³⁾	Brzoza/4 ³⁾	1-4
TSP/PM ogółem	97,9	100; (20 - 250)	800 (400-1600)	b.d.	370	10,3	12,2	24,0	15,7	15,6
PM.10	93,0	95; (19 - 238)	760 (380-1520)	b.d.	330	8,1	7,9	21,4	14,2	12,9
PM 2.5	90,6	93; (19 - 233)	740 (370-1480)	b.d.	300	3,3	3,2	13,9	9,6	7,5
OGC (VOC/LZO)	705,8	250; (20 - 500)	600; (20-3000)	b.d.	600	86,9	221,4	158,7	72,2	138,4
CO	4851,8	2000; (500 - 5000)	4000; (1000-10000)	b.d.	5500	2 271	995	2046	1076	1597
NOx	61,9	95; (50 - 150)	50; (30 - 150)	b.d.	50	60,6	63,1	55,0	59,4	59,5
SO ₂	b.d.	11; (8 - 40)	11; (8 - 40)	b.d.	11	6,3	12,9	9,4	3,9	8,1
Benzo(a)piren	92,1	10; (5 - 20)	121; (12-1210)	176	250	0,51	0,55	0,27	0,55	0,47
Benzo(b)fluoranten	72,4	16; (8 - 32)	111; (11-1110)	235	240	0,91	0,73	0,43	0,96	0,76
Benzo(k)fluoranten	47,9	5; (2 - 10)	42; (4-420)	59	150	0,27	0,28	0,19	0,46	0,30
Indeno(1,2,3-cd)piren	61,5	4; (2 - 8)	71; (7-710)	588	180	0,31	0,26	0,24	0,54	0,34
Suma 4 WWA	273,9	35; (17 - 70)	345	1058	820	2,00	1,82	1,13	2,51	1,87
Suma WWA (15)	n.d.	n.d.	b.d.	15705,7	b.d.	210,36	164,16	126,03	142,57	160,78

¹⁾ NovaMetodikaEBSpalovZdrojuVDomacnostech; średnia dla kominków, pieców (ogrzewaczy pomieszczeń); T121044, uwzględniają nowe konstrukcje;

²⁾ WWA mg/GJ

³⁾ numer badania w firmie kominkowej

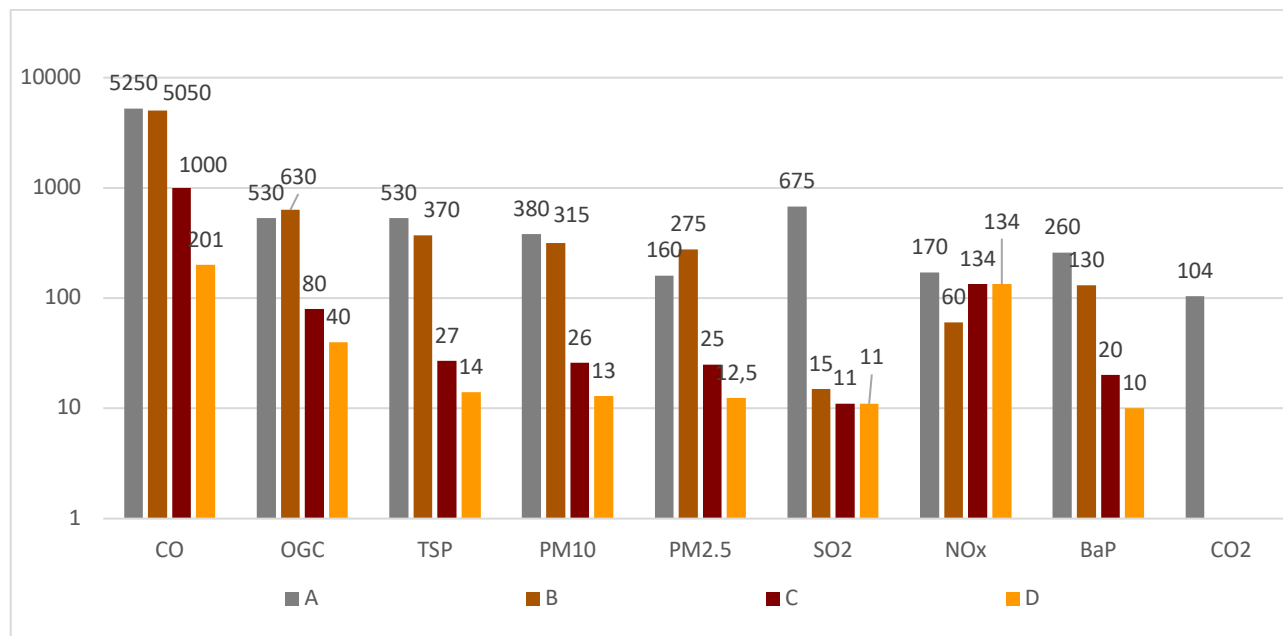
⁴⁾ WWA pochodzą z danych literaturowych: Boman, C., Pettersson, E., Westerholm, R., Boström, D. & Nordin, A., 2011: Stove Performance and Emission Characteristics in Residential Wood Log and Pellet Combustion, Part 1: Pellet Stoves. *Energy Fuels* 2011, 25. (2011); Johansson, L.S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C. & Potter, A., 2004: Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. *Atmospheric Environment*, 2004, 38. (2004)

⁵⁾ Tier 1, czyli zagregowane do wyliczenia przez ilość spalanej paliwa; takie same wartości przyjęto dla *Conventional stoves* oraz *High-efficiency stoves (stoves, fireplaces, cooking,...)*; WWA pochodzą z danych literaturowych: Goncalves et al. (2012); Tissari et al. (2007); Hedberg et al. (2002); Pettersson et al. (2011); Glasius et al. (2005); Paulrud et al. (2006); Johansson et al. (2003); Lamberg et al. (2011)

⁶⁾ US EPA, 1996; AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol 1 Stationary Point and Area Sources, United States Environmental Protection Agency, available at <http://www.epa.gov/ttn/chief/index.html>; (za: John J. Todd; Wood-Smoke Handbook: Woodheaters, Firewood and Operator Practice; Eco-Energy Options, 2003, <https://www.cleanairtas.com/links/woodsmoke-handbook.pdf>); oryginalne dane w mg/kg, przeliczono na GJ przyjmując 17GJ/tonę; **dane przywołane w materiale Piotr Siergiej, Jakub Jędrak: Kominki. Czy spalanie drewna jest problemem?, Warszawa, luty 2019;**

<https://smoglab.pl/wp-content/uploads/2020/09/Kominki-opracowanie-FINAL-1.pdf>

⁷⁾ KOBIZE (opracowanie: K. Kubica; Analiza i oszacowanie trendu wskaźników emisji CO₂, WWA, PCDD/Fs oraz PCB ze spalania paliw stałych w sektorach mieszkalnictwa i usług w latach 2000-2014 Warszawa marzec 2017 rok), zagregowany dla starych ogrzewaczy pomieszczeń; znikomy udział nowych konstrukcji eksploatowanych w terenie



Rys.1. Emisja zanieczyszczeń ze spalania: A) węgla i B) drewna w tradycyjnym ogrzewaczu pomieszczeń; C) drewna kawałkowego w ogrzewaczu wg Rozporządzenie KE (UE) 2015/1185; D) pelletów drzewnych w piecu wg Rozporządzenie KE (UE) 2015/1185;

- Wskaźniki dla CO, OGC, TSP, PM10, PM2.5, SO₂, NO_x wyrażone w **g/GJ**;
- Wskaźniki dla BaP wyrażone w **mg/GJ**,
- Wskaźniki dla CO₂ wyrażone w **kg/GJ**, (Źródło: opracowanie własne na podstawie¹).

¹ K. Kubica; Raporty IOŚ KOBIZE, K. Kubica; Raporty IOŚ KOBIZE, Analiza i oszacowanie trendu wskaźników emisji TSP i innych zanieczyszczeń ze spalania paliw stałych w sektorach mieszkalnictwa i usług w latach 2000-2014 oraz 2016 i 2017 W-wa

Piecze akumulacyjne

Tab. 4. Sprawność energetyczna oraz emisje zanieczyszczeń CO, OGC, NO_x, PM wkładów kominkowych z akumulacyjnymi wkładami grzewczymi (**badania przy mocy nominalnej, kolor zielony**), mg/m³ (odniesione do 13% O₂, gaz suchy, w temperaturze 0 °C i przy ciśnieniu 1 013 millibarów) oraz g/GJ odniesione do wartości opałowej drewna (Źródło: *Dane udostępnione przez J. Ręka, firma Cebud S.C. Maria i Jacek Ręka, Kraków, 15.04.2021; <http://cebud.eu/>, badania produktów z okresu 2012-2020r.*)

Akumulacyjne ogrzewacze pomieszczeń z zamkniętą komorą		Sprawność użytkowa (η_s)	Emisja zanieczyszczeń, ⁽¹⁾			
			Pył (PM) ⁽²⁾	OGC ⁽³⁾	CO	NO _x
Akumulacyjne ogrzewacze pomieszczeń; moc cieplna nominalna przy załadunku odpowiednio 3 – 12 kg	Zakres	83,1 ± 86,7	20 ± 34	2 ± 62	803 ± 1223	120 ± 168
	Średnia	84,4	29,4	42	1086	140
Akumulacyjne ogrzewacze pomieszczeń; moc cieplna nominalna przy załadunku odpowiednio 3 – 12 kg	Zakres	83,1 ± 86,7	17 ± 23	2 ± 47	539 ± 799	76 ± 113
	Średnia	84,4	21,2	30,6	686	92

⁽¹⁾ odniesiona do 13% O₂, gaz suchy, w temperaturze 0 °C i przy ciśnieniu 1 013 millibarów; ⁽³⁾ lotne/gazowe związki organiczne, odniesione do propanu jako wzorca odniesienia; ⁽⁴⁾ PM filtrowalne, oznaczane metodą grawimetryczną; ⁽⁴⁾ Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1185 z dnia 24 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na paliwo stałe (Dziennik Urzędowy UE, L 193/1; <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/1185/oj>); ⁽⁵⁾ Wartości emisji zanieczyszczeń przeliczone na energię zawartą w paliwie, wartość opałową paliwa w stanie suchym wg. EIG EMEP 1.A.4 Small Combustion pp. 165 i 166 <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

Kotły

Tab.5. Emisje zanieczyszczeń ze spalania paliw z przetworzonej biomasy drzewnej; porównanie wskaźników emisji TSP/PM, PM10, PM2.5, LZO (OGC), CO, NOx i SO₂ oraz 4 WWA zmierzonych (kolor zielony) ze spalania pellet drzewnych w kotłach z automatycznym załadunkiem paliwem oraz drewna opałowego (polan drewna)

Zanieczyszczenia	Wskaźnik emisji, g/GJ ¹⁾									
	Republika Czeska ²⁾					EMEP EIG 2019 ³⁾		KOBIZE ⁴⁾ Biomasa drzewna, w tym kotły pelletowe	PIE/FEWE TOPTEN ⁵⁾	
	Kocioł tradycyjny drewno suche		Kocioł zgazowujący drewno such.	Kocioł pellet drzewny		Kocioł konwencj. drewno	Kocioł pellet.		Kocioł pellet drzewny	
	Moc nom.	Moc obniż.	Moc. nom.	Moc. nom.	Moc obniż.			Moc nom.	Moc. obniż.	
TSP	97,9 ^{a)}	458,2 ^{a)}	49,0 ^{a)}	10,2 ^{a)}	16,5 ^{a)}	500	62	267	9,4 ^{a)}	22,6 ^{a)}
PM.10	93,0 ^{x)}	435,3 ^{x)}	46,5 ^{x)}	9,7 ^{x)}	15,6 ^{x)}	480	60	237	8,9 ^{x)}	21,4 ^{x)}
PM 2.5	90,6 ^{x)}	423,9 ^{x)}	45,3 ^{x)}	9,4 ^{x)}	15,2 ^{x)}	470	60	226	8,7 ^{x)}	20,8 ^{x)}
NMLZO (VOC/OGC)	705,8	2211,0	286,4	2,4	24,1	350	10	345	0,3	1,4
CO	4851,8	7244,9	2507,2	157,9	769,5	4000	300	3983	35,1	121,4
NOx	61,9	49,2	83,4	87,9	87,7	80	80	78	86,8	62,8
SO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	11	11	11	b.d.	b.d.
Benzo(a)piren	92,1	253,7	17,5	0,2	1,4	121	10	125,99	0,8	3,7
Benzo(b)fluoranten	72,4	126,6	10,5	0,8	1,8	111	16	161,44	n.d.	n.d.
Benzo(k)fluoranten	47,9	85,6	6,1	0,2	0,5	42	5	84,57	n.d.	n.d.
Indeno(1,2,3-cd)piren	61,5	105,6	10,5	0,1	1,8	71	4	80,28	n.d.	n.d.
Suma 4 WWA	273,9	571,5	44,6	1,3	5,4			452,28	n.d.	n.d.

¹⁾ WWA mg/GJ Modlík M. at al. Metodika inventarizace emisí ze spalování paliv V DOMÁCNOSTECH; Emisje TSP oznaczone z użyciem tunelu rozcieńczającego; (^x) PM10 i PM2.5 oszacowane jako udział w TSP wg EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/NovaMetodikaEBSpalovZdrojuVDomacnostech.pdf>

²⁾ Modlík M. at al. Metodika inventarizace emisí ze spalování paliv V DOMÁCNOSTECH; Emisje TSP oznaczone z użyciem tunelu rozcieńczającego; (PM10 i PM2.5 oszacowane w TSP wg EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>)
<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/NovaMetodikaEBSpalovZdrojuVDomacnostech.pdf>

³⁾ EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

Uwaga wszystkie dane pochodzą najpóźniej z 2015 r. TSP, PM10, PM2.5 pochodzą z 2015 roku

Denier van der Gon et al. (2015); NMLZO z 2011 roku LZO, CO, NOx (Boman, C., Pettersson, E., Westerholm, R., Boström, D. & Nordin, A., 2011: Stove Performance and Emission Characteristics in Residential Wood Log and Pellet Combustion, Part 1: Pellet Stoves. Energy Fuels 2011, 25. (2011) Johansson, L.S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C. & Potter, A., 2004: Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. Atmospheric Environment, 2004, 38. (2004)) WWA pochodzą z danych literaturowych:

Boman, C., Pettersson, E., Westerholm, R., Boström, D. & Nordin, A., 2011: Stove Performance and Emission Characteristics in Residential Wood Log and Pellet Combustion, Part 1: Pellet Stoves. Energy Fuels 2011, 25. (2011);

Johansson, L.S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C. & Potter, A., 2004: Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. Atmospheric Environment, 2004, 38. (2004)).

⁴⁾ KOBIZE; Poland's informative inventory report 2020; I.6.1 Residential plants Wood and waste wood; The tabl. A6. 71; A6. 72.; A6. 73. A6. 75.; A6. 76.; A6. 82.; A6. 83.; A6. 84.; A6. 85. pp. 197-205; [https://www.kobize.pl/pl/fileCategory/id/16/krajowa-inwentaryzacja-emisji \(IIR_2020_Poland_v2.pdf\)](https://www.kobize.pl/pl/fileCategory/id/16/krajowa-inwentaryzacja-emisji (IIR_2020_Poland_v2.pdf))

⁵⁾ PIE TOPTEN; K. Kubica opracowanie na podstawie dokumentacji Konkurs TPTEN Kotły na paliwa stałe 2016-2019 (8 szt.): <http://topten.info.pl/>; ; (TSP filtrowalne, ^x) PM10 i PM2.5 oszacowane jako udział w TSP wg EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>)

⁶⁾ Rozp. KE (EU) 2015/1189; 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, (Dziennik Urzędowy UE, L 193/100; <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/1189/oj>; odniesione do wartości opałowej wg EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

Uwagi

1. Dane pochodzące z EMEP, Czeskie, KOBIZE to nie są wielkości sezonowe, ale odniesione do wartości opałowej

2. W danych PIE/FEWE TOPTEN dla 8 kotłów (a w sumie było 37 sztuk) były wykonane w IChPW (sprawozdania) dodatkowo oznaczenia dla mocy nominalnej i obniżonej odniesione do wartości opałowej oraz tzw. TOC, czyli zanieczyszczenia organiczne kondensujące osadzone na pyłe filtrowalnym oraz w fazie gazowej (ogólnie ok. 50% na pyłe a w fazie gazowej 50%); śr. TOC moc obniż: 48,8 mg/m³; moc nom. 23,0 mg/m³, w tej sytuacji **PM całkowite (filtrowalne i kondensacyjne) byłyby: moc nominalna ok. 16 g/GJ, a przy mocy obniżonej 32 g/GJ**

Tab. 6. Emisje zanieczyszczeń ze spalania przetworzonej biomasy drzewnej; pellet drzewnych w kotłach z automatycznym załadunkiem oraz drewna opałowego (szczap/polan drewna) Konkurs TOPTEN 2016-2019

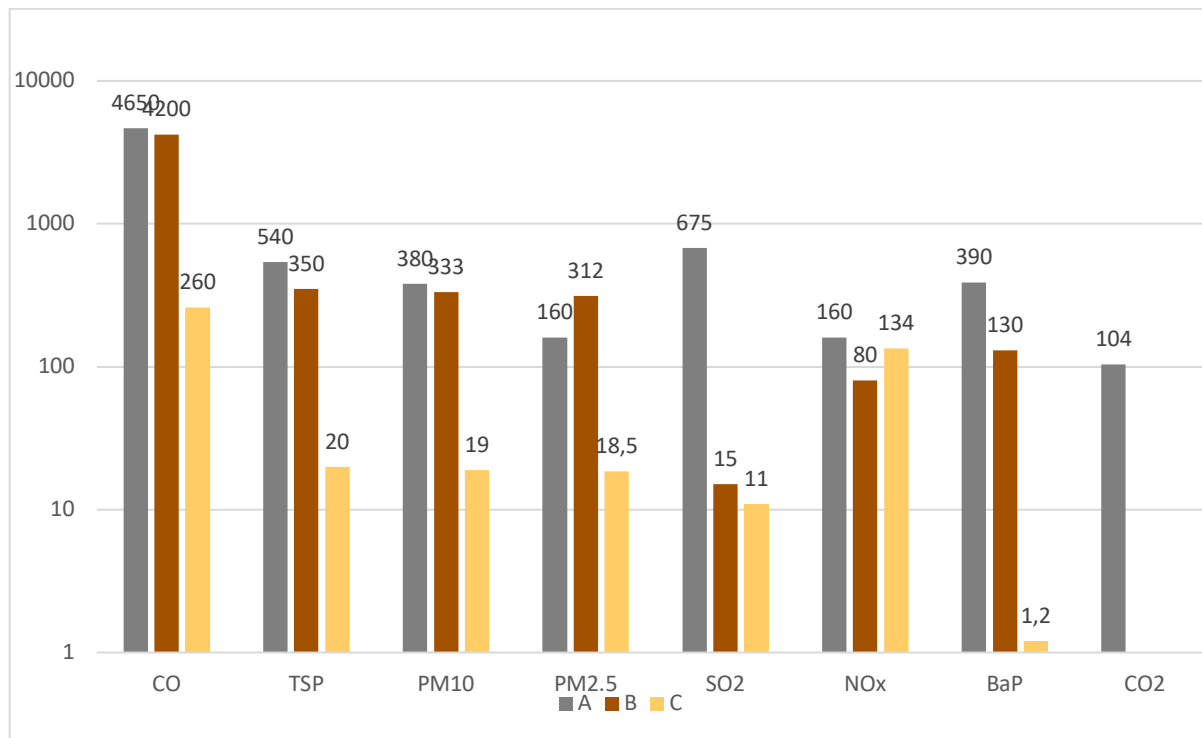
Zanieczyszczenia	Kotły automatycznie zasilane peluletem drzewnym			Kotły ręcznie zasilane drewnem opałowym (szczapy drewna), zgazowujący	
	Zakres, mg/m ³ (37 szt.)	Średnia, mg/m ³	Średnia, g/GJ ³⁾	mg/m ³ (1 szt.)	g/GJ ³⁾
TSP ⁴⁾	8-39	29	14,1	20	9,7
PM.10 ⁵⁾	n.d.	n.d.	13,4	n.d.	9,2
PM 2.5 ⁵⁾	n.d.	n.d.	13,0	n.d.	9,0
NMLZO (VOC/OGC)	<1-18	9	4,4	21	10,2
CO	11-474	288	139,4	333	161,8
NOx	57-200	157	76,0	200	97
Sprawność sezonowa ogrzewania pomieszczeń	76,0 – 88,0	80,8	80,8	78,0	78,0

²⁾ PIE TOPTEN; K. Kubica opracowanie na podstawie dokumentacji Konkurs TPTEN Kotły na paliwa stałe 2016-2019 (37 szt. kotłów pelletowych i 1 szt. kotła z ręcznym załadunkiem polan drewna, zgazowujący): <http://topten.info.pl>

³⁾ Sezonowa emisja zanieczyszczeń wg ekoprojektu przeliczona na wskaźniki emisji odniesione do wartości opałowej paliwa wg EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, str. 165; <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

⁴⁾ Emisja cząstek stałych filtrowalnych pyłu (TSP) oraz wskaźniki emisji cząstek filtrowanych TSP, PM10 i PM10 (oznaczane wg obowiązującej normy EN 303-5)

⁵⁾ Wskaźniki emisji PM10 i PM2.5 oszacowane jako udział w TSP wg EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016; <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>)



Rys.2. Emisja zanieczyszczeń ze spalania: A) węgla, B) drewna w tradycyjnych kotłach, C) pelletów drzewnych w kotłach spełniających wymagania Rozporządzenie KE (UE) 2015/1189, skala logarytmiczna

- Wskaźniki dla CO, OGC, TSP, PM10, PM2.5, SO₂, NO_x wyrażone w **g/GJ**;
- Wskaźniki dla BaP wyrażone w **mg/GJ**,
- Wskaźniki dla CO₂ wyrażone w **kg/GJ**, (Źródło: opracowanie własne na podstawie ²⁾).

²⁾<https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2018/02/WIELOWARIANTOWA-ANALIZA.pdf>