

Monika WIERZBIŃSKA¹, Janusz KOZAK², Ewelina ZAJĄC³

^{1,2} University of Bielsko-Biala, Department of Environmental Protection and Engineering, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland

³ Pieniny National Park, Jagiellońska 107B, 34-450 Krościenko nad Dunajcem

ORCID / e-mail:

¹ 0000-0001-8205-4392 / mwierzbinska@ath.bielsko.pl

² 0000-0002-9671-9268 / jkozak@ath.bielsko.pl

Zmienność stężeń pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu na terenie Krościenka nad Dunajcem w latach 2018-2022

Słowa kluczowe:

pył zawieszony PM10, zanieczyszczenia powietrza, Krościenko nad Dunajcem

Variability of PM10 particulate matter concentrations in the area of Krościenko nad Dunajcem in the years 2018-2022

Keywords:

particulate matter PM10, air pollution, Krościenko nad Dunajcem

Abstract

Frequent exceedances of permissible PM10 concentrations occur mainly during the so-called heating season and are readily noticed not only by environmental protection specialists but also by residents; they are also widely discussed in the mass media. If the state of elevated concentrations persists for at least several hours, it is generally referred to as smog. The duration of smog can range from several hours to several days, causing an increase in morbidity and in the number of deaths.

The paper presents the air-sanitary situation in Krościenko nad Dunajcem using the air quality indicator as the concentration of particulate matter PM10. Krościenko is a Carpathian town located in the valley of the Dunajec river. Such a topo-climatic location is conducive to the occurrence of frequent temperature inversions, stagnant cold air and poor ventilation, which results in the concentration of local emissions mainly from domestic boilers.

The research period covered the years 2018-2022 of continuous daily D₂₄ PM10 measurements. Preliminary comparisons of annual concentrations with selected cities located in mountainous and foothill areas of southern Poland indicated the aerosanitary problem of Krościenko. In all analyzed years, the daily norms were exceeded from 46 days in 2022 to 91 days in 2018. This situation occurs as a result of the low-stack emission during the heating period and the poor topoclimatic conditions in Krościenko. However, there is a visible downward trend in concentrations over the analyzed period, which may have resulted from the gradual reduction of the use of fossil fuels.

1. WSTĘP

Standard życia mieszkańców miast i wsi w dużym stopniu zależy od jakości powietrza atmosferycznego, czyli znajdujących się w nim różnorodnych substancji. Gdy składniki atmosfery występują w stężeniach nieodpowiadających poziomom naturalnym oraz gdy w składzie powietrza obecne są gazy, ciecze i ciała stałe niebędące jego naturalnymi składnikami, mówimy o zanieczyszczeniu powietrza. Stan zanieczyszczenia powietrza ocenia się przez porównanie udziału danego składnika w powietrzu z obowiązującymi normami. Narażenie na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń powietrza prowadzi do ogólnego pogorszenia stanu zdrowia, ostrych reakcji układu oddechowego (kaszel, trudności z oddychaniem) oraz skrócenia długości życia [Kaszewski 2020].

Polityka ograniczania szkodliwych emisji uwalnianych do atmosfery w większości krajów europejskich, w tym także w Polsce, spowodowała znaczące obniżenie stężeń kluczowych zanieczyszczeń powietrza [GUS 2014, EEA Technical Report 2015]. Mimo to wybrane obszary Europy nadal nie uzyskały jakości powietrza, którą przewidziano w prawie unijnym, i której oczekują obywatele, gdyż wciąż znaczny odsetek ludności jest ekspozowany na oddziaływanie stężeń pyłu zawieszonego przekraczających dopuszczalne normy.

Pył zawieszony, określany w literaturze anglojęzycznej terminem particulate matter (PM), jest ogólnym terminem odnoszącym się do heterogenicznej mieszaniny cząstek stałych, gazów oraz cieczy, które ze względu na duży stopień dyspersji mogą przebywać w atmosferze w stanie zawieszonym przez długi czas. Aktualnie światowym standardem w zakresie oznaczania stężenia pyłu zawieszonego w środowisku miejskim są dwie klasy wielkości cząstek definiowane ich średnicą aerodynamiczną: PM₁₀ (ang. coarse particles) – frakcja zgrubna o średnicy ziaren mniejszej lub równej 10 mikrometrów oraz PM_{2,5} (ang. fine particles) – frakcja drobna o średnicy ziaren mniejszej lub równej 2,5 mikrometra [Cembrzyńska 2015].

Częste przekroczenia dopuszczalnych stężeń PM₁₀ występują głównie w trakcie tzw. sezonu grzewczego i są zauważalne nie tylko przez specjalistów ochrony środowiska, ale i przez mieszkańców; są też powszechnie komentowane w środkach masowego przekazu. Jeżeli stan podwyższonych stężeń utrzymuje się co najmniej przez kilka godzin, to na ogół stosuje się do niego określenie smog [Pawłowski 2019]. Czas trwania smogu może wynosić od kilku godzin do kilkunastu dni, powodując wzrost zachorowalności i wzrost liczby zgonów. Problem ponadnormatywnych stężeń, przekraczających tzw. poziom informowania, występuje głównie w odniesieniu do pyłu PM₁₀. Stężenia pozostałych zanieczyszczeń typowych dla smogu zimowego także ulegają podwyższeniu, lecz nie osiągają tak wysokich przekroczeń stężeń normatywnych, jak ma to miejsce w przypadku PM₁₀ [Palarz 2017].

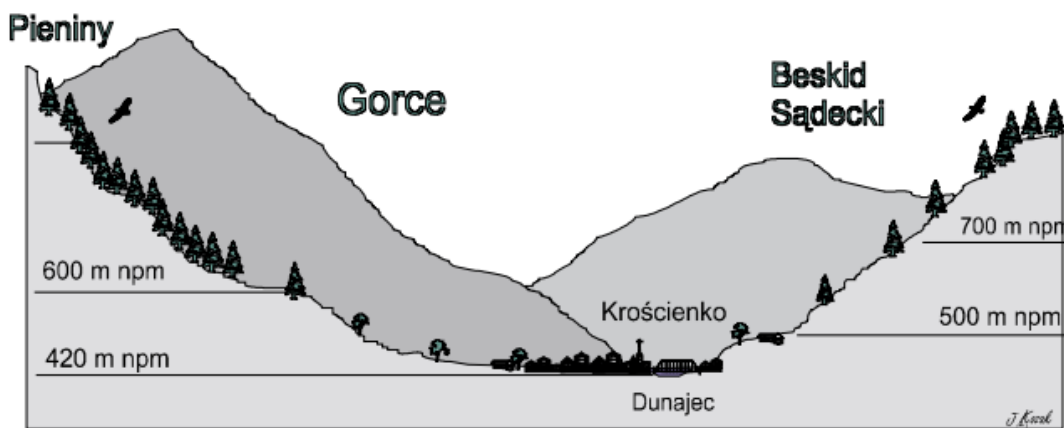
Celem pracy jest analiza zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ w rejonie górskiej, turystycznej miejscowości Krościenko nad Dunajcem. Szczególnej uwadze poddano częstość występowania sytuacji niekorzystnych w kontekście obowiązujących norm jakości powietrza.

2. OBSZAR BADAŃ

Krościenko to jedna z najstarszych miejscowości w całym górnym biegu rzeki Dunajec, położona na styku Pienin, Gorców oraz Beskidu Sądeckiego. W sposób niepowtarzalny łączą się tutaj elementy przyrodnicze, kulturowe oraz ślady ciekawej historii. Osobliwością krajobrazową na międzynarodową skalę jest przełom Dunajca. Według żyjącego w XV wieku kronikarza Jana Długosza Krościenko miało istnieć już w roku 1251. W 1287 r. było już zapewne miastem na prawie polskim, a powstanie miejscowości związane jest prawdopodobnie z budową najwyższej położonego w Polsce zamku, tj. Zamku Pienińskiego. Od 1827 r. Krościenko

posiadało status uzdrowiska z nielicznymi przerwami do 1939 r. Wody ze źródeł mineralnych „Stefan”, „Michalina” i „Maria” transportowano m.in. do Krakowa i Lwowa. Wody z tych źródeł doskonale nadają do leczenia m.in. przewodu pokarmowego i dróg oddechowych. W Krościenku nad Dunajcem znajduje się siedziba utworzonego w 1932 r. Pienińskiego Parku Narodowego. Pobliskie tereny zaliczane są do najciekawszych i najpiękniejszych zakątków Europy [Witryna <http://kroscienko.pl/>].

Krościenko, jak wiele miejscowości górskich, spełnia funkcje rekreacyjno-turystyczne. Stanowi bazę wypadową do uprawiania turystyki pieszej, jak i sportów zimowych. Wspólnie ze Szczawnicą stanowi coraz popularniejsze miejsce odpoczynku weekendowego, spędzania świąt oraz ferii zimowych. W okresie zimowym zarówno domy mieszkalne, jak i pensjonaty, ośrodki wczasowe oraz baza sanatoryjna emitują do atmosfery znaczne ilości zanieczyszczeń powietrza, stanowiąc zagrożenie dla tych miejscowości przez tzw. niską emisję [Kuchcik 2020]. Niska emisja w powiązaniu z niekorzystnym układem topograficznym (Rys. 1) oraz warunkami klimatycznymi może spowodować wzrost stężeń zanieczyszczeń do wartości notowanych w większych aglomeracjach [Kozak i in. 2002].



Rys. 1. Profil wysokościowy okolic Krościenka.

Fig. 1. Elevation profile of the Krościenko area.

Krościenko jest położone w dolinie Dunajca. Taka lokalizacja topoklimatyczna sprzyja występowaniu częstych inwersji temperatury, zastoisk zimnego powietrza, słabego przewietrzania, co powoduje koncentrację lokalnej emisji głównie z kotłów domowych. Gmina jest obecnie dopiero na etapie gazyfikacji, dlatego większość mieszkańców wykorzystuje głównie paliwo stałe (drewno oraz węgiel). Krościenko charakteryzuje się stosunkowo zwartą zabudową, której skupienie rośnie w kierunku do centrum (Rys. 2). Centrum pełni zasadniczą rolę usługowo-handlową, jest wyraźnie ukształtowane i odznacza się wyższą zabudową. Intensyfikacja urbanizacji następuje przez tzw. zabudowę plombową, wznoszenie przybudówek mieszkalnych, zwiększanie liczby kondygnacji w budynkach. Miejscowość jest ważnym węzłem komunikacyjnym. Leży u zbiegu dróg z Nowego Targu (34 km), Nowego Sącza (44 km) i Szczawnicy (5 km). Ciągi komunikacyjne przechodzą przez centrum. Położony w rynku przystanek autobusowy posiada bardzo niekorzystne pod względem aerosanitarnym położenie, gdyż zatrzymujące się oraz ruszające autobusy emitują ogromne ilości zanieczyszczeń w obszarze zwartej zabudowy. W Krościenku nie ma większych zakładów przemysłowych, jedynie drobne warsztaty rzemieślnicze [Kozak i in. 2002].

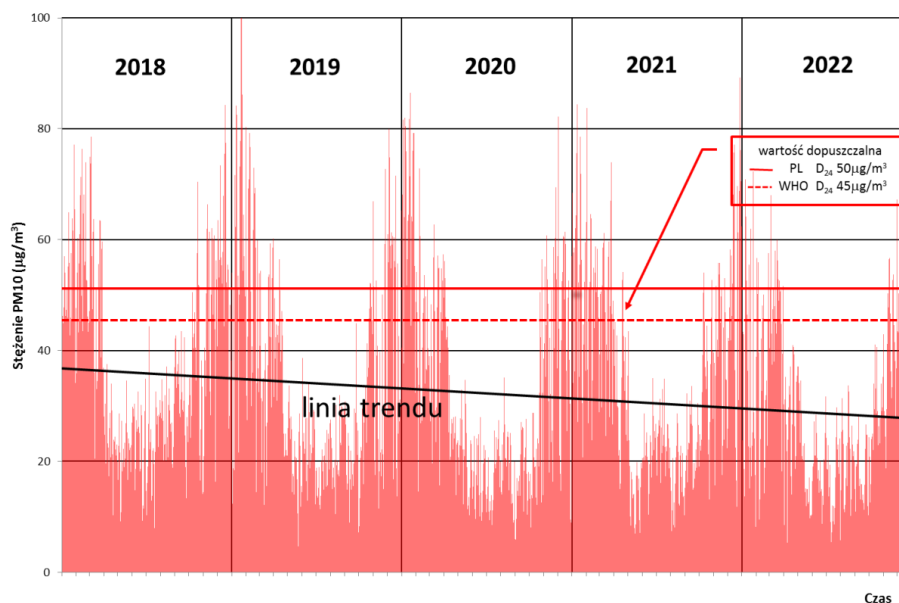


Rys. 2. Widok na Krościenko nad Dunajcem (fot. E. Zając).
Fig. 2. View of Krościenko nad Dunajcem (photo by E. Zając).

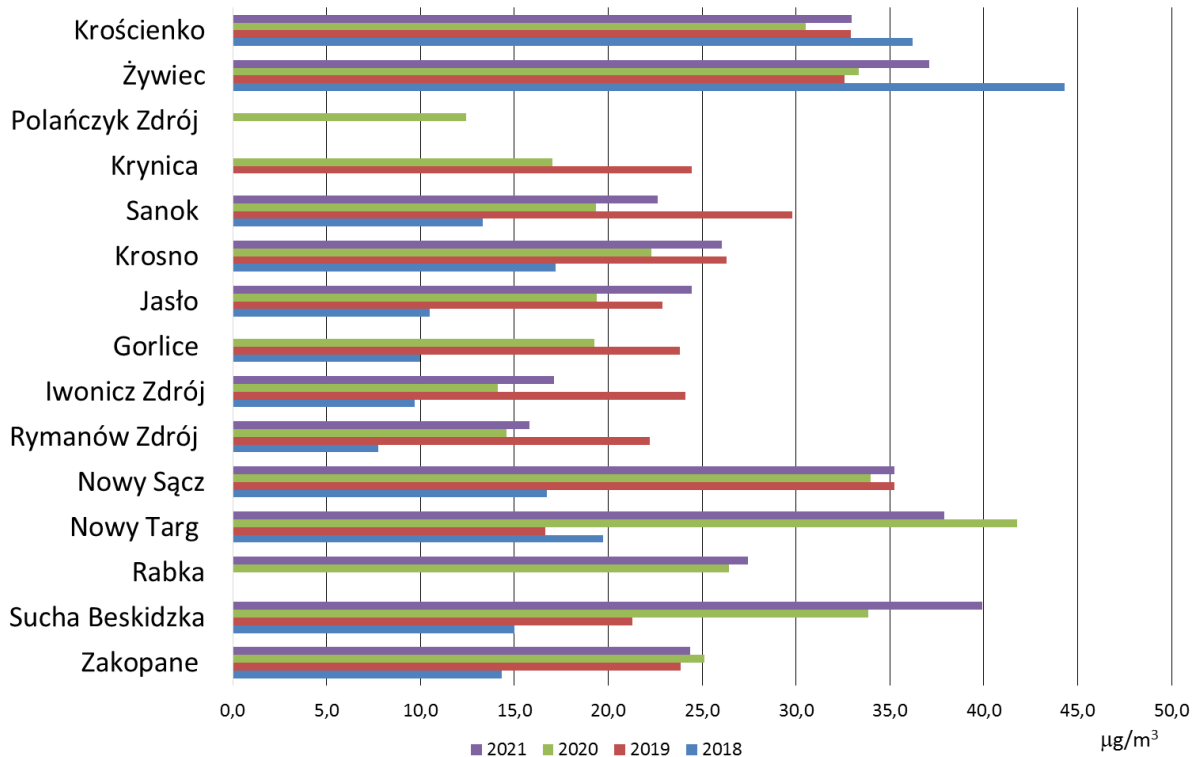
3. WYNIKI ANALIZ

Dane dotyczące jakości powietrza w Krościenku uzyskane zostały w ramach monitoringu przyrody nieożywionej w Pienińskim Parku Narodowym. Wykorzystano wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ metodą automatycznego zbierania danych o zanieczyszczeniu powietrza w czasie rzeczywistym za pomocą czujników Airly. Są to pyłomierze pracujące na zasadzie fotometru laserowego, dające zgodność z metodami aspiracyjnymi i z wykorzystaniem filtrów separujących frakcje pyłu [Zięba 2018]. Wyniki do analiz pobrano jako wartości uśrednione do stężeń dobowych D₂₄.

Analizie jakości powietrza poddano okres pięcioletni 2018-2022, oceniając sytuację aerosanitarną na podstawie stężenia dobowego D₂₄ pyłu zawieszonego PM₁₀. Dobowe wartości stężenia PM₁₀ miały charakter sezonowy i ściśle związane z okresami grzewczymi. Wówczas obserwowano wysokie stężenia i przekroczenia dopuszczalnej normy (D₂₄ = 50 µg/m³) [Rozporządzenie 2012]. Zauważyć można również trend spadkowy w analizowanych latach (Rys. 3). Średnie roczne stężenia analizowanego polutanta oscylowały wokół wartości 30 µg/m³, co stawia Krościenko pod względem jakości powietrza na równi z większymi miastami, takimi jak: Żywiec, Nowy Sącz, Nowy Targ czy Sucha Beskidzka (Rys. 4).



Rys. 3. Zmiany stężenia dobowego (D₂₄) pyłu zawieszonego PM₁₀ w Krościenku nad Dunajcem.
Fig. 3. Changes in the daily concentration (D₂₄) of particulate matter PM₁₀ in Krościenko.



Rys. 4. Średnie roczne stężenie PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) w wybranych miastach Polski południowej w latach 2018-2021.

Fig. 4. Average annual PM10 concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in selected cities in southern Poland in the years 2018-2021.

Średnie roczne stężenia PM10 nie przekraczały wartości dopuszczalnej i wynosiły od 72% do 90% tej wartości, natomiast wielokrotnie przekraczały wartości opublikowane przez WHO (242%) (Tab. 1). Analizując osobno okresy grzewcze i niegrzewcze łatwo dostrzec, że w sezonach zimowych, kiedy do atmosfery emitowane były zanieczyszczone gazy odlotowe z kominów domów jedno- i wielorodzinnych, odnotowane stężenia były wyższe o około 50% od wartości zanotowanych w okresie letnim (Tab. 2).

Tab. 1. Średnie roczne stężenia PM10 w odniesieniu do wartości dopuszczalnej w Polsce ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz wytycznych WHO (rok 2005 – $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rok 2021 – $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tab. 1. Average annual PM10 concentration with regard to limit values legally binding in Poland ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and WHO guidelines (year 2005: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, year 2021: $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Rok	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Stężenie dopuszczalne w Polsce (%)	Wytyczne WHO 2005 (%)	Wytyczne WHO 2021 (%)
2018	36,2	90,5	144,8	241,3
2019	32,9	82,3	131,6	219,3
2020	30,5	76,3	122,0	203,3
2021	33,0	82,5	132,0	220,0
2022	28,8	72,0	115,2	192,0
Średnia	32,3	80,8	129,2	215,3

Tab. 2. Średnie stężenie PM10 dla okresów grzewczych i niegrzewczych w latach 2018-2022.**Tab. 2.** Average PM10 concentration for heating and non-heating periods in the years 2018-2022.

Rok	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Okres grzewczy	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Okres niegrzewczy	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Średnia
2018	48,0	24,5	36,2
2019	42,9	23,0	32,9
2020	41,0	20,1	30,5
2021	44,5	21,5	33,0
2022	38,1	19,5	28,8

Analogiczne spostrzeżenia wynikają z analizy stężeń dobowych w badanym 5-letnim okresie. W sezonach grzewczych (X-III) odnotowano dni z przekroczeniami zarówno wartości dopuszczalnej opublikowanej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska, jak i wytycznych WHO. Poza sezonem grzewczym, jedynie w kwietniu odnotowano kilkudniowe incydenty z przekroczeniem normatywnych wartości zarówno polskich, jak i WHO (Tab. 3 i 4).

Tab. 3. Liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnej normy PL $D_{24} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w latach 2018-2022.**Tab. 3.** Number of days with exceeding the permissible standard PL $D_{24} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the following months in 2018-2022.

Lata	Miesiące												Suma roczna
	Okres grzewczy			Okres niegrzewczy						Okres grzewczy			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2018	16	19	16							6	14	20	91
2019	24	14	8	2						3	5	18	74
2020	24	5	8	2						2	11	12	64
2021	19	15	14	2						4	7	15	76
2022	7	5	13								8	13	46

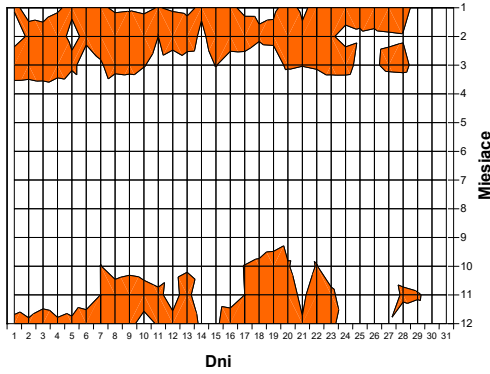
Tab. 4. Liczba dni z przekroczeniem dopuszczalnej normy WHO $D_{24} = 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w latach 2018-2022.**Tab. 4.** Number of days with exceeding the limit value WHO $D_{24} = 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the following months in 2018-2022.

Lata	Miesiące												Suma roczna
	Okres grzewczy			Okres niegrzewczy						Okres grzewczy			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2018	24	23	18							7	15	21	108
2019	25	14	8	4						7	6	18	82
2020	25	9	14	4						3	12	14	81
2021	19	19	19	3						7	10	17	94
2022	9	9	17								10	16	61

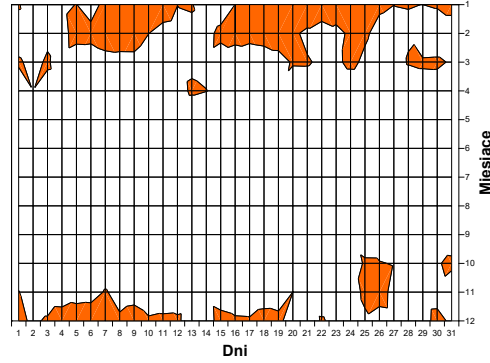
Obraz sytuacji niekorzystnych pod względem jakości powietrza na badanym obszarze zaprezentowano na czasowo-przestrzennym wykresie (Rys. 5). Jak wynika z rysunku warunki meteorologiczne utrudniały rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w sytuacji wzmożonej emisji z sektora bytowo-komunalnego.

Wartości stężeń powyżej $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, co stanowi próg „informowania społeczeństwa”, odnotowano dwa razy w styczniu 2019 roku, kiedy to stężenie wyniosło $102,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tab. 5). W badanym okresie nie wystąpiło przekroczenie poziomu alarmowego dla pyłu zawieszzonego PM10 w powietrzu, wynoszącego $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

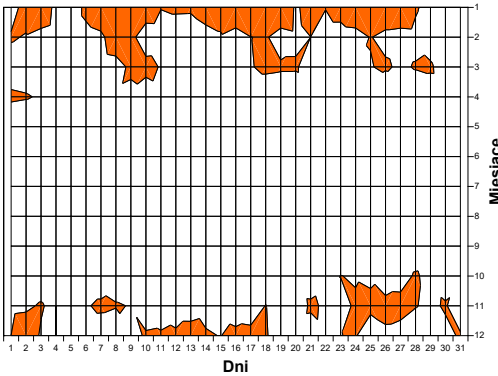
2018



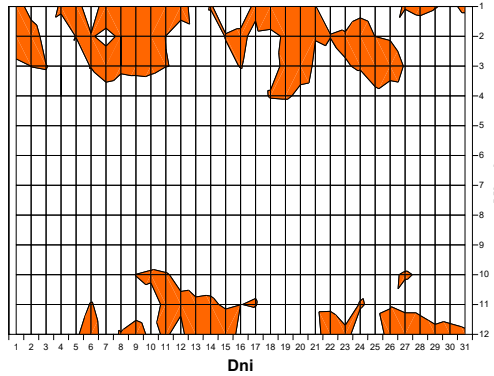
2019



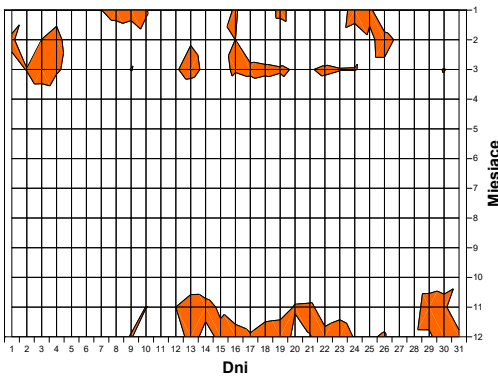
2020



2021



2022



LEGENDA:



Okres przekroczenia dopuszczalnej normy PM10 (PL D₂₄ = 50 µg/m³)

Rys. 5. Czasowy rozkład przekroczeń dopuszczalnej normy PM10 D₂₄ w latach 2018-2022.
Fig. 5. Time distribution of exceedances of the permissible PM10 D₂₄ standard in 2018-2022.

Tab. 5. Maksymalne stężenia dobowe D₂₄ PM10 (µg/m³) w poszczególnych miesiącach i latach okresu badawczego 2018-2022 w Krościenku nad Dunajcem.

Tab. 5. Maximum daily concentrations of PM10 D₂₄ (µg/m³) in the following months in 2018-2022 in Krościenko.

Lata	Miesiące												Rok
	Okres grzewczy			Okres niegrzewczy						Okres grzewczy			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2018	77,2	76,4	78,5	37,5	34,6	34,9	44,3	37,1	43,5	70,5	66,3	84,2	84,2
2019	102,5	79,3	60,2	56,5	33,6	38,7	27,5	31,9	44,9	66,9	72,8	79,9	102,5
2020	86,5	72,8	62,7	56,2	34,7	28,0	27,5	35,1	27,7	56,5	69,5	82,2	86,5
2021	84,4	83,8	73,9	54,2	43,5	35,0	34,9	28,7	33,6	54,1	55,8	89,2	89,2
2022	72,3	57,6	68,0	41,0	37,2	31,7	29,7	33,7	28,6	42,9	67,3	71,8	72,3

W kolejnym etapie przeanalizowano dni pod względem indeksu jakości powietrza stwierdzając, że najwięcej było sytuacji określonej jako dobra (20,1–35,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Wspomnianych wcześniej dni z sytuacją złą (powyżej 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) były dwa, natomiast dni z sytuacją aerosanitarną bardzo złą nie odnotowano (Tab. 6).

Tab. 6. Liczba dni z daną sytuacją aerosanitarną według indeksu jakości powietrza Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w latach 2018-2022 w Krościenku nad Dunajcem.

Tab. 6. Number of days with a given aerosanitary situation according to the air quality index of the Chief Inspectorate of Environmental Protection in 2018-2022 in Krościenko.

Lp.	Indeks PM10	Zakres stężenia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2018	2019	2020	2021	2022
1	Bardzo dobry	0–20,0	57	99	123	94	119
2	Dobry	20,1–35,0	150	139	122	128	134
3	Umiarkowany	35,1–50,0	68	54	56	67	66
4	Dostateczny	50,1–100,0	90	71	64	76	46
5	Zły	100,1–150,0	0	2	0	0	0
6	Bardzo zły	>150,0	0	0	0	0	0

4. WNIOSKI

1. Nie odnotowano przekroczenia średniego rocznego stężenia PM10, natomiast stężenia dobowe przekraczały wartości dopuszczalne w liczbie od 42 dni w 2022 roku do 91 dni w 2018 r.
2. W analizowanym okresie widoczna jest tendencja spadkowa stężeń dobowych PM10, co może być spowodowane sukcesywnym odchodzeniem od paliw stałych w sektorze bytowo-komunalnym.
3. Głównym powodem złej sytuacji aerosanitarniej jest niska emisja związana ze spalaniem paliw stałych, ponieważ wartości normowe przekraczane są w miesiącach grzewczych (najwięcej w I, II i XII), a poza sezonem grzewczym wyjątek stanowi kwiecień, kiedy wystąpiły jedynie kilkudniowe incydenty.

Informacja od Wydawcy

Temat prezentowany podczas II Konferencji Naukowo-Technicznej „Nauka-Technologia-Środowisko” w dniach 27-29 września 2023 r. w Wiśle. Konferencja finansowana przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu „Doskonała nauka” – moduł „Wsparcie konferencji naukowych” (projekt nr DNK/SP/546599/2022).



LITERATURA

- Cembrzyńska J., Krakowiak E., Brewczyński P.Z. 2015. Sezonowa zmienność stężenia pyłu zawieszonego oraz jakości powietrza na terenie miasta Sosnowiec. *Medycyna Środowiskowa-Environmental Medicine*, 4(18), 27–35.
- EEA Technical Report 2015: European Union Emission Inventory Report 1990-2013 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). European Environmental Agency, Copenhagen.
- GUS 2014: Ochrona Środowiska 2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Kaszewski B.M. 2020. Badania zanieczyszczenia powietrza w Lublinie. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio B-Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia*, 75, 69–86.

- Kozak J., Miczyński J., Jurkiewicz T. 2002. Ocena stanu zanieczyszczenia w Krościenku nad Dunajcem. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 7, 23–30.
- Kuchcik M. 2020. Zanieczyszczenie powietrza w uzdrowiskach polskich – problem gmin uzdrowiskowych oraz kuracjuszy. *Przegląd Geograficzny*, 92, 1, 109–134.
- Palarz A., Celiński-Mysław D. 2017. Epizody wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza w wybranych kotlinach polskich Karpat Zachodnich. *Czasopismo Geograficzne*, 88(1-2), 3–20.
- Pawłowski L. 2019. Zanieczyszczenia powietrza w Polsce: stan, przyczyny, skutki. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk – Monografie, 144, Lublin.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. 2012, poz. 1031 (tekst jednolity Dz.U. 2021, poz. 845).
- Witryna <http://kroscienko.pl/> (dostęp 28 kwietnia 2023 r.).
- Zięba D., Dworakowska A. 2018. Podsumowanie wyników badań porównawczych urządzeń niskokosztowych do pomiaru stężenia pyłu zawieszonego. Stowarzyszenie Krakowski Alarm Smogowy, Kraków.