

EMISJA ZE ŹRÓDEŁ STACJONARNEGO SPALANIA JAKO WYZNACZNIK ENERGETYCZNEGO WSKAŹNIKA JAKOŚCI POWIETRZA

Zbigniew BAGIEŃSKI

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska

zbigniew.bagieński@put.poznan.pl

STRESZCZENIE

Jako istotne kryterium oceny jakości powietrza w aglomeracji miejskiej zaproponowano Energetyczny Wskaźnik Jakości Powietrza – EWJP (*Energy Air Quality Index - EAQI*), wiążący jakość powietrza ze strukturą zużycia energii oraz z warunkami emisji wynikającymi ze struktury zabudowy. W pracy przedstawiono metodykę wyznaczania wskaźnika EAQI_s, powiązanego ze stacjonarnymi źródłami emisji, wraz ze zdefiniowaniem równoważników toksyczności emitowanych zanieczyszczeń. Zaproponowano klasyfikację określającą potencjalne zagrożenie jakości powietrza w oparciu o wartości EAQI_s. Przedstawiono również przykład wyznaczania wartości wskaźnika dla rzeczywistego obszaru miasta.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- EAQI – energetyczny wskaźnik jakości powietrza (*Energy Air Quality Index*), mg/m²h
- EAQI_s – energetyczny wskaźnik jakości powietrza dla stacjonarnych źródeł emisji, mg/m²h
- EAQI_m – energetyczny wskaźnik jakości powietrza dla mobilnych źródeł emisji, mg/(m²h)
- E_{iUA} – emisja *i*-tego zanieczyszczenia ze spalania paliw w źródłach zlokalizowanych w analizowanym obszarze UA, mg/s
- E_{RUA} – emisja równoważna ze spalania paliw w źródłach w obszarze UA, mg/s
- E_s – emisja substancji, mg/s
- E_{sFi} – obciążenie obszaru o powierzchni *F* emisją niską substancji *i*, emisja jednostkowa, mg/(m²s) lub mg/(m²h)
- E_{mFR} – obciążenie obszaru o powierzchni *F* emisją równoważną ze źródeł mobilnych, mg/(m²h) lub g/(m²rok)
- E_{sFR} – obciążenie obszaru miasta o powierzchni *F* emisją niską równoważną ze stacjonarnych źródeł energetycznych, mg/(m²h) lub g/(m²rok)
- F_U – powierzchnia obszaru UA, m²
- H_B – wysokość budynku, m
- h_s – wysokość geometryczna emitora od poziomu terenu, m
- k_{Ui} – emisyjny równoważnik toksyczności *i*-tego zanieczyszczenia względem SO₂
- Q_b – energia bezpośrednia – energia całkowita zużyta w obiekcie, J
- Q_{pUA} – energia pierwotna paliw spalanych w analizowanym obszarze w źródłach z emitarami niskimi, J
- $Q_{uż}$ – energia użytkowa – całkowita energia pobrana przez obiekt, J
- W_{Ei} – wskaźnik emisji *i*-tego zanieczyszczenia, g/GJ_{uż}
- \overline{W}_{ERUA} – średni dla obszaru wskaźnik emisji zanieczyszczeń powietrza (wskaźnik kosztów ekologicznych zaopatrzenia w energię), g/GJ_{uż}
- W_H – wskaźnik warunków technicznych emisji, m/m
- W_K – wskaźnik kanionu ulicznego, m/m
- W_{Qb} – obciążenie obszaru miasta zużyciem energii bezpośredniej, jako wyznacznik generowania Miejskiej Wyspy Ciepła, W/m²
- W_{tQUA} – wskaźnik kosztów energetycznych struktury zaopatrzenia obszaru w energię, J/J
- Y_{WH} – mnożnik uwzględniający wpływ warunków technicznych emisji W_H
- Y_{WK} – mnożnik uwzględniający wpływ wskaźnika kanionu W_K

1. Wprowadzenie

Na jakość powietrza w aglomeracji miejskiej mają wpływ czynniki naturalne oraz antropogeniczne. Przez kształtowanie tych drugich istnieje możliwość poprawy jakości powietrza. Aglomeracja miejska jest skumulowanym odbiorcą energii bezpośredniej. W miastach klimatu umiarkowanego jednym z głównych odbiorców energii są potrzeby cieplne mieszkańców i gospodarki. Przyjęto założenie mówiące, że dla aglomeracji miejskiej bez istotnego udziału uciążliwego przemysłu oraz o nieistotnej, w ogólnym bilansie, wartości dopływu zanieczyszczeń spoza aglomeracji, podstawowym antropogenicznym czynnikiem kształtującym jakość powietrza jest spalanie paliw w źródłach stacjonarnych i mobilnych. Dlatego analiza energetyczno-ekologiczna źródeł i procesów spalania, zgodna z zasadą zrównoważonego rozwoju, winna stanowić istotny element oceny jakości powietrza. Przy aktywnym podejściu do zagadnienia jakości powietrza należy ocenę oprzeć na metodyce, wiążącej skutek z przyczyną o charakterze antropogenicznym. Za takie przyczyny uznano: źródła emisji, jako podstawowy czynnik antropogeniczny o dynamicznym wpływie na jakość powietrza oraz strukturę urbanistyczną, jako istotny czynnik (antropogeniczny) o statycznym wpływie na jakość powietrza. Takie podejście do problematyki, jakkolwiek dotyczyć powinno całej aglomeracji, jest szczególnie predestynowane dla obszarów o gęstej zabudowie mieszkalnej z istotnym udziałem indywidualnych źródeł stacjonarnego spalania oraz z dopuszczonym ruchem pojazdów z silnikiem spalinowym.

Na proces dyspersji, jako funkcjonujący w przyrodzie, składają się stany uporządkowane i chaotyczne. Im większy udział stanów chaotycznych tym większa niepewność wyników uzyskanych przy wykorzystaniu modeli deterministycznych. Liczne badania, w tym również autora [1] wskazują na złożoność zjawiska dyfuzji substancji w warunkach emisji niskiej, gdzie niewielka zmiana warunków początkowych powoduje radykalne zmiany pola stężeń. Gęsta zabudowa ze stacjonarnymi i mobilnymi źródłami emisji może prowadzić do kumulacji lokalnych zanieczyszczeń w ograniczonej przestrzeni, powodując wysokie ich koncentracje. W celu możliwie obiektywnej oceny jakości powietrza w obszarach o takiej strukturze urbanistycznej, proponuje się oparcie oceny jakości na wielkościach nielosowych, czyli obciążonych małą niepewnością.

2. Metodyka wyznaczania Energetycznego Wskaźnika Jakości Powietrza

2.1. Definicja Energetycznego Wskaźnika Jakości Powietrza

Jako istotne kryterium oceny jakości powietrza w obszarze aglomeracji autor proponuje Energetyczny Wskaźnik Jakości Powietrza – EWJP (*Energy Air Quality Index – EAQI*) wyrażony zależnością (1), wiążący jakość powietrza ze strukturą zużycia energii oraz z warunkami emisji wynikającymi ze struktury zabudowy. Ze względu na powszechność oznaczenia AQI (*Air Quality Indeks*) autor zdecydował się na stosowanie skrótu EAQI zamiast polskiego EWJP.

$$EAQI = EAQI_s + EAQI_m = E_{sFR} \cdot Y_{WH} + E_{mFR} \cdot Y_{WK} \quad (1)$$

Wielkości: E_{sFR} , Y_{WH} , Y_{WK} opisane są odpowiednio zależnościami: (6), (10), (12).

Jako kryteria uzupełniające przyjęto wskaźniki: \bar{W}_{ERUA} – opisany zależnością (7) oraz W_{Ob} – opisany zależnością (8).

Oddzielne wyznaczanie wartości $EAQI_s$ (powiązanej ze stacjonarnymi źródłami emisji) i $EAQI_m$ (powiązanej z mobilnymi źródłami emisji) daje możliwość pełniejszej analizy źródeł

stanu powietrza. Zgodnie z przyjętą (przy definiowaniu AQI) zasadą, duże wartości EAQI opisują pogorszoną jakość powietrza.

W oparciu o wyniki analizy sześciu hipotetycznych obszarów miasta o jednolitej strukturze zaopatrzenia w ciepło, przedstawionej w pracy [1], a także prace wcześniejsze [2, 3], autor proponuje przyjęcie klasyfikacji przedstawionej w tabeli 1, dla określenia potencjalnego zagrożenia jakości powietrza w powiązaniu z wartością $EAQI_s$.

Tabela 1. Jakość powietrza w zależności od wartości $EAQI_s$

$EAQI_s$ [mg/m^2h]	Jakość powietrza
0 - 400	1 – bardzo dobra
401 - 1500	2 – dobra
1501 - 3500	3 – umiarkowana
3501 - 6000	4 – niezdrowa
Powyżej 6000	5 – niebezpieczna

EAQI nie uwzględnia warunków meteorologicznych, jako niezależnych od człowieka. Nie uwzględnia również kierunków i prędkości wiatru, jako że w obszarach o gęstej zabudowie występują znaczne fluktuacje kierunku i prędkości wiatru, przy ogólnej redukcji prędkości wiatru. Wielkości E_{sFR} i E_{mFR} , jako generujące jakość powietrza, są uśrednione w czasie i przestrzeni, co wynika z dużej zmienności wartości stężenia substancji w przestrzeni za budynkiem lub w kanionie.

2.2. Wyznaczanie obciążenia obszaru emisją niską ze stacjonarnych źródeł energetycznych

W rozdziale przedstawiono metodykę wyznaczenia wskaźnika E_{sFR} (obciążenia obszaru emisją niską) w powiązaniu ze strukturą zaopatrzenia w ciepło, oraz wielkości W_{Qb} i \overline{W}_{ERUA} .

1. wyznaczenie dla odbiorców energii (budynków) wartości całkowitej energii użytkowej $Q_{uż}$ wraz ze zdefiniowaniem wszystkich jej składników, oraz wartości energii bezpośredniej Q_b ,
2. wyznaczenie wartości energii pierwotnej Q_p dla tych składników $Q_{uż}$, w których zużycie Q_p jest realizowane w analizowanym obszarze lub obszarach sąsiednich,
3. wyznaczenie wskaźnika lokalnych kosztów energetycznych struktury zaopatrzenia w energię dla analizowanego obszaru według zależności:

$$W_{QUA} = \frac{Q_{pUA}}{Q_{uż}} \quad (2)$$

- 3a. jeżeli wszystkie źródła energii (cieplnej, elektrycznej, dla potrzeb gospodarczych i technologicznych) znajdują się poza obszarem lub posiadają emitory wysokie to

$$W_{QUA} = 0$$

co oznacza, że obciążenie obszaru miasta emisją niską ze stacjonarnych źródeł energetycznych

$$E_{sFR} = 0$$

jedyną emisją z zespołu budynków jest emisja ciepła antropogenicznego

$$W_{Qb} > 0$$

- 3b. w przypadku struktury zaopatrzenia w ciepło opartej w całości na ogrzewaniu miejscowym i (lub) kotłowniach z emitorami niskimi

$$W_{QUA} > 1 \text{ GJ}_p/\text{GJ}_{uż} \quad \text{oraz} \quad E_{sFR} > 0$$

najczęściej

$$W_{QUA} = (1,1 - 1,8) \text{ GJ}_p/\text{GJ}_{uż}$$

4. wyznaczenie wartości emisji *i-tej* substancji z analizowanego obszaru, dla każdego z *n* składników $Q_{uż}$, związanego ze zużyciem Q_p , w oparciu o wskaźniki emisji zanieczyszczeń dla struktur zaopatrzenia w ciepło W_{Ei}

$$E_{iUA} = \Sigma(Q_{uż} \cdot W_{EiUA})_n \quad (3)$$

gdzie emisja zanieczyszczeń E_{iUA} dotyczy paliw spalanych w źródłach zlokalizowanych w analizowanym obszarze

5. wyznaczenie równoważnej emisji zanieczyszczeń powietrza w oparciu o zdefiniowane równoważniki toksyczności k_{Ui} analizowanych zanieczyszczeń (rozdział 2.4):

$$E_{RUA} = \Sigma(k_{Ui} \cdot E_{iUA}) \quad (4)$$

6. wyznaczenie obciążenia obszaru miasta o powierzchni F_U emisją niską substancji *i* ze stacjonarnych źródeł energetycznych:

$$E_{sFi} = \frac{E_{iUA}}{F_{UA}} \quad (5)$$

oraz emisją niską równoważną ze stacjonarnych źródeł energetycznych:

$$E_{sFR} = \frac{E_{sRUA}}{F_{UA}} \quad (6)$$

7. wyznaczenie, średniego dla analizowanego obszaru, lokalnego wskaźnika kosztów ekologicznych zaopatrzenia w energię, uwzględniającego równoważny ładunek zanieczyszczeń E_{sRUA}

$$\bar{W}_{ERUA} = \frac{E_{sRUA}}{Q_{uż}} \quad (7)$$

wielkość \bar{W}_{ERUA} [g/GJ_{uż}] stanowi kryterium uzupełniające EAQI_s

8. wyznaczenie obciążenia obszaru zużyciem energii bezpośredniej Q_b

$$W_{Qb} = \frac{Q_{bUA}}{F_{UA}} \quad (8)$$

Wobec relatywnie małego udziału ciepła z procesów metabolizmu w całkowitym cieple pochodzenia antropogenicznego $Q_{AM} = (0,03-0,06)Q_A$, pomija się tą wielkość w wartości Q_{bUA} . Wielkość W_{Qb} [W/m²] stanowi kryterium uzupełniające EAQI_s.

2.3. Wyznaczanie wskaźników uwzględniających warunki emisji w strukturze urbanistycznej

Złożoność układów urbanistycznych oraz różnorodność struktur architektonicznych, nie pozwala na pełne uwzględnienie ich wpływu na dyspersję substancji, szczególnie

w obszarach o gęstej zabudowie. Wprowadzenie wskaźników urbanistycznych do formuły EAQI ma na celu uwzględnienie względnego pogorszenia warunków dyspersji emitowanych zanieczyszczeń, w następstwie niekorzystnych warunków technicznych emisji. Za szczególnie istotne uznano:

- wskaźnik warunków technicznych emisji W_H ,
- wskaźnik kanionu ulicznego W_K .

1. Wskaźnik warunków technicznych emisji W_H

$$W_H = \frac{h_s}{H_{Bsr}} \quad (9)$$

Wskaźnik W_H wyrażony jest przez stosunek wysokości emitora h_s do średniej wysokości zabudowy mieszkalnej H_{Bsr} w zasięgu cienia aerodynamicznego budynku, to jest do $x = 6H_B$. Wartość wskaźnika $W_H < 2,0$ ($2,5$) cechuje emitory niskie. Wartość wskaźnika W_H , dla analizowanego obszaru, wyznacza się jako średnioważoną względem wartości emisji równoważnej z niskich emitatorów punktowych.

Na podstawie wyników badań modelowych autora [1] określono średnią wartość Y_{WH} dla wartości wskaźnika $W_H = 1$. Dla $1 < W_H < 2,5$ wartości Y_{WH} wyznaczono według zależności Eltermana [4] określających wartości stężeń imisyjnych dla emitatorów niskich, analizowanych w pracy autora [5] oraz na podstawie wyników badań autora [6]. Formuła (10) określa wpływ wskaźnika W_H na wartość $EAQI_s$ dla $1 \leq W_H < 2,5$.

$$Y_{WH} = \frac{\bar{C}}{C_{WH=2,5}} = 70,9 \exp(-1,72W_H) \quad (10)$$

Formuła (10) umożliwia oszacowanie średniej wartości stężenia względnego substancji, w obszarze cienia aerodynamicznego po stronie zawietrznej budynku, w przestrzeni ograniczonej wertykalnie: ścianą zawietrzną i płaszczyzną $x = 5H_B$ oraz horyzontalnie: płaszczyznami $z = 0,1H_B$ oraz $z = 0,4H_B$. Przyjęto, że jest to przestrzeń, w której ludzie są szczególnie narażeni na emisję z niskich źródeł punktowych. Stężeniem odniesienia $C_{WH=2,5}$ jest wartość koncentracji substancji w opisanym przestrzeni gdy $h_s = 2,5H_B$, tj. gdy można emitator traktować jako wysoki.

2. Wskaźnik kanionu ulicznego W_K

$$W_K = \frac{H_{Bsr}}{W} \quad (11)$$

Wskaźnik W_K wyrażony jest stosunkiem średniej wysokości budynków ograniczających kanion, na długości $L > 2,5H_B$, do całkowitej szerokości ulicy W . Zależnie od wartości wskaźnika W_K , wyodrębnia się trzy typy formowania się przepływu powietrza prostopadłego do osi kanionu symetrycznego [7, 8]:

- przepływ poślizgowy (*skimming flow*), gdy $W_K > 0,9$, charakteryzujący się znacznym ograniczeniem wymiany powietrza wewnątrz kanionu,
- przepływ z rozdziałem śladu (*wake interference flow*), gdy $W_K = 0,30-0,9$, przy którym obok cyrkulacji strumienia wewnątrz kanionu, następuje również wymywanie części zanieczyszczeń i przenoszenie ich (głównie w obrębie śladu aerodynamicznego) do sąsiednich kanionów,

- opływ wyodrębnionych struktur (*isolated roughness flow*), gdy $W_K < 0,30$, przy którym można pominąć wpływ wzajemnego oddziaływania przegród ograniczających kanion na zaburzenia przepływu.

Wartość wskaźnika W_K ma decydujący wpływ na warunki dyfuzji zanieczyszczeń ze źródeł mobilnych, ale również z niskich sąsiednich źródeł stacjonarnych [9, 10]. W analizie pomija się wpływ charakteru ruchu pojazdów na dyspersję emitowanych zanieczyszczeń motoryzacyjnych [7].

Na podstawie wyników badań przedstawionych w pracach [10, 11] opracowano formułę (12) określającą wpływ wskaźnika W_K na wartość $EAQI_m$ dla przepływu z rozdziałem śladu, oraz zdefiniowano warunki brzegowe dla pozostałych typów przepływu:

- gdy $W_K > 0,9$ $Y_{WK} = 2,5$ (przepływ poślizgowy)
- gdy $W_K = 0,30-0,9$ (przepływ z rozdziałem śladu)

$$Y_{WK} = \frac{C}{C_{WK=0,25}} = 0,7 \exp(1,3W_K) \quad (12)$$

- gdy $W_K < 0,3$ $Y_{WK} = 1,0$ (opływ wyodrębnionych struktur) – brak wpływu W_K na $EAQI_m$.

Formuła szacuje średnią wartość stężenia względnego w rejonie ściany zawietrznej, ograniczonej horyzontalnie płaszczyznami $z = 0,1H_B$ oraz $z = 0,4H_B$. Stężeniem odniesienia jest wartość koncentracji substancji w opisanej przestrzeni gdy $H_{Bsr} = 0,25W$, tj. gdy można pominąć wpływ kanionu.

2.4. Równoważniki toksyczności emitowanych zanieczyszczeń w metodyce oceny jakości powietrza

Równoważniki toksyczności k_{U_i} emitowanych substancji, względem substancji referencyjnej, wyznacza się dla zanieczyszczeń pierwotnych, uwzględniając:

- bezpośredni wpływ substancji na organizmy żywe (szczególnie na człowieka),
- zakres oddziaływania substancji, również w innych komponentach środowiska,
- czas życia emitowanej substancji,
- procesy fizyko-chemiczne zachodzące z udziałem substancji,
- oddziaływanie powstałych zanieczyszczeń wtórnych.

Równoważniki różnią się zatem od współczynników toksyczności wyznaczanych w oparciu o dopuszczalne wartości stężeń imisyjnych substancji.

Jako podstawę wyznaczenia równoważników toksyczności zanieczyszczeń emitowanych z procesów spalania, przyjęto wartości zdefiniowane w procedurach Oceny Cyklu Życia (Life Cycle Assessment – LCA). Dotyczą one emisji zanieczyszczeń oraz uwzględniają wymienione czynniki. W wyniku analizy uwzględniono następujące kategorie oddziaływania na środowisko [12]:

- homotoksyczność (Human Toxicity Potential – HTP),
- utlenianie fotochemiczne w troposferze (Photochemical Ozone Creation Potential – POCP).

Analizowano również wartości następujących standardów imisyjnych:

- dopuszczalne wartości stężeń w UE ze względu na ochronę zdrowia ludzkiego [13],
- standardy Jakości Powietrza według NAAQS – US EPA [14],
- standardy Jakości Powietrza według WHO [15],
- standardy Jakości Powietrza według NAAQOs – Kanada [16],

- poziomy dopuszczalne substancji w powietrzu według Rozporządzenia Ministra Środowiska z 17.12.2008 [17].

Jako substancję odniesienia przyjęto (tradycyjnie) ditlenek siarki SO_2 . W procedurze LCA występują inne substancje referencyjne (dla HTP – 3,4 dichlorobenzen, dla POCP – etylen), co zostało uwzględnione. Sposób wyznaczania wartości emisyjnych równoważników toksyczności analizowanych zanieczyszczeń przedstawiono w pracy autora [1].

Wyznaczono również wartość k_U dla CO_2 jako zanieczyszczenia, które ze względu na wielkość emisji z procesów spalania posiada wpływ na jakość powietrza w obszarach o ograniczonej dyfuzji. Jako podstawę wyznaczenia równoważnika toksyczności dla CO_2 względem SO_2 , przyjęto wartości stężeń substancji w powietrzu miast średniej wielkości, według European Standard for Ventilation EN 13779.

Wyznaczone wartości k_{Ui} zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości emisyjnych równoważników toksyczności k_{Ui}

Substancja	SO_2	NO_2	CO	PM_{10}	benzen	VOC	CO_2
Równoważnik k_{Ui}	1	8,5	0,25	7,5	75	5,0	$1,5 \cdot 10^{-5}$

3. Przykład wyznaczania wartości EAQI_s (powiązanej ze stacjonarnymi źródłami emisji) dla obszarów rzeczywistych

W oparciu o inwentaryzację stacjonarnych źródeł emisji, związanych z pokryciem potrzeb energetycznych oraz odbiorców energii cieplnej na terenie dzielnicy Jeżyce w Poznaniu [18], przeprowadzono procedurę wyznaczenia wartości EAQI_s uwzględniającej źródła niskie stacjonarne, dla warunków rzeczywistych. Analizowany obszar dzielnicy (oznaczony jako A2 i C11), o powierzchni $F = 4028$ tys. m^2 , został podzielony na dziewięć podobszarów o zbliżonej strukturze urbanistycznej. Analiza obejmuje podobszary:

- o gęstej zabudowie (początek XX wieku) ze znacznym udziałem ogrzewania indywidualnego (węgiel, gaz, energia elektryczna) i kotłowni wbudowanych (podobszary: A2A, A2C, A2D),
- o zabudowie wielorodzinnej blokowej (z różnych okresów II połowy XX wieku) z kotłowniami wbudowanymi, lokalnymi lub o zasilaniu z miejskiej sieci ciepłej (podobszary: A2B, A2E, C11A, C11C),
- o zabudowie luźnej jednorodzinnej z udziałem obszarów zieleni, z kotłowniami wbudowanymi (podobszary: C11B, C11D).

Na terenie dzielnicy, obok budynków mieszkalnych, znajdują się również obiekty administracyjne, oświatowe, handlowe, usługowe-przemysłowe i inne. Emitory odprowadzające spaliny z ogrzewań indywidualnych i kotłowni są emitarami niskimi, co obrazują wartości W_{Hsr} zestawione w tabeli 4.

Zgodnie z metodyką przedstawioną w p. 2.2 wyznaczono dla poszczególnych podobszarów, wartości wskaźników energetycznych i ekologicznych definiujących EAQI_s . Analizę przeprowadzono dla średnich warunków klimatycznych trzech miesięcy zimowych o najniższej temperaturze zewnętrznej (grudzień, styczeń, luty), odnosząc wartości do 60-min. Wyniki zestawiono w tabelach 3 i 4 oraz przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3.

Analizowany obszar miasta jest zróżnicowany pod względem urbanistycznym oraz struktury zużycia energii. Wartości lokalnego wskaźnika kosztów energetycznych zaopatrzenia w energię $W_{iQUA} > 1$ (rys. 1, tabela 4) wskazują na dominujący udział ogrzewań indywidualnych i kotłowni wbudowanych. Dotyczy to podobszarów A2D, C11B i C11D. Udział tych źródeł jest również relatywnie duży ($W_{iQUA} = 0,75$) w podobszarze A2C. Wartości

wskaźnika kosztów ekologicznych W_{ERUA} (tabela 4) wynikają z charakterystyki paliw, jako nośników energii. Duże wartości W_{ERUA} w podobszarach A2D, C11B oraz A2C i C11D wskazują na dominujący lub znaczący udział węgla jako paliwa.

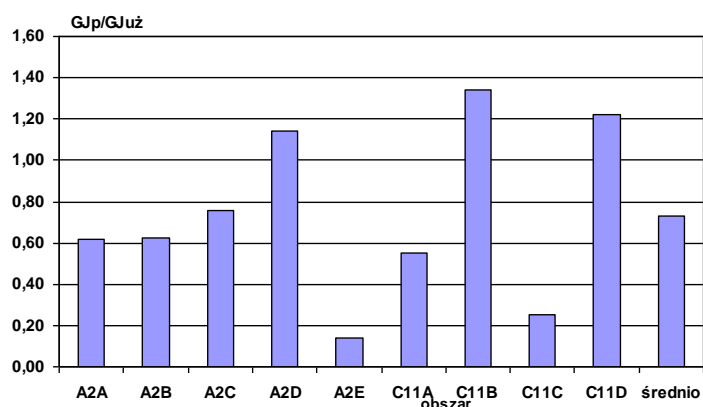
Tabela 3. Wartości emisji zanieczyszczeń ze stacjonarnych źródeł energetycznych dla analizowanych podobszarów

Podobszar	Pow. F_U [tyś.m ²]	E_s -SO ₂ kg/h	E_s -NO ₂ kg/h	E_s -PM10 kg/h	E_s -CO kg/h	E_s -VOC kg/h	E_s -CO ₂ Mg/h	E_{sRUA} kg/h
A2A	419	10,79	2,08	5,89	10,30	2,44	3,47	87,48
A2B	553	3,11	1,70	1,67	3,16	0,76	2,23	34,76
A2C	425	15,55	2,59	8,53	14,82	3,48	4,57	122,73
A2D	561	29,67	6,03	16,09	28,20	6,76	9,80	242,60
A2E	340	0,77	0,18	0,42	0,75	0,17	0,29	6,52
C11A	274	3,26	0,73	1,80	3,16	0,74	1,18	27,47
C11B	375	1,60	0,42	0,88	1,56	0,36	0,64	13,96
C11C	535	2,59	0,45	1,43	2,57	0,59	0,78	20,57
C11D	547	5,01	2,14	2,80	5,14	1,17	2,99	51,33
razem	4028	72,33	16,32	39,52	69,66	16,48	25,96	607,42

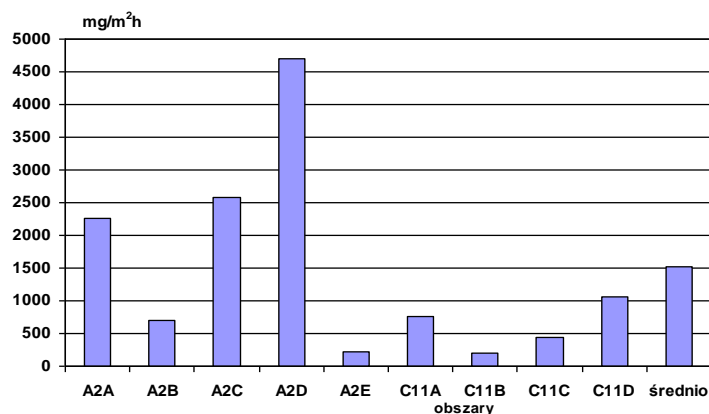
Tabela 4. Wartości charakteryzujące $EAQI_s$ dla analizowanych podobszarów

Podobszar	$Q_{uż-sez}$ GJ/h	W_{tQUA} GJ _p /GJ _{uż}	E_{sFR} mg/m ² h	W_{ERUA} g/GJ _{uż}	W_{Qb} W/m ²	W_{Hsr} m/m	Y_{WH} -	$EAQI_s$ mg/m ² h	Klasa jakości
A2A	79,1	0,62	208,7	1105,8	63,2	1,09	10,86	2265,2	3
A2B	56,5	0,62	62,8	615,7	31,5	1,07	11,26	707,2	2
A2C	83,6	0,75	289,1	1469,0	69,7	1,20	8,93	2581,5	3
A2D	121,3	1,14	432,7	1999,7	82,3	1,09	10,86	4697,8	4
A2E	30,0	0,14	19,2	217,3	25,6	1,07	11,26	216,2	1
C11A	30,9	0,55	100,1	889,5	30,7	1,30	7,64	765,5	2
C11B	7,1	1,34	37,2	1970,4	7,2	1,50	5,37	200,0	1
C11C	71,9	0,25	38,5	286,1	36,7	1,07	11,26	432,9	2
C11D	38,2	1,22	93,9	1343,9	24,2	1,07	11,26	1057,4	2
średnio	518,5 ^{a)}	0,73	150,8	1171,5	42,8	1,13	10,14	1529,2	3

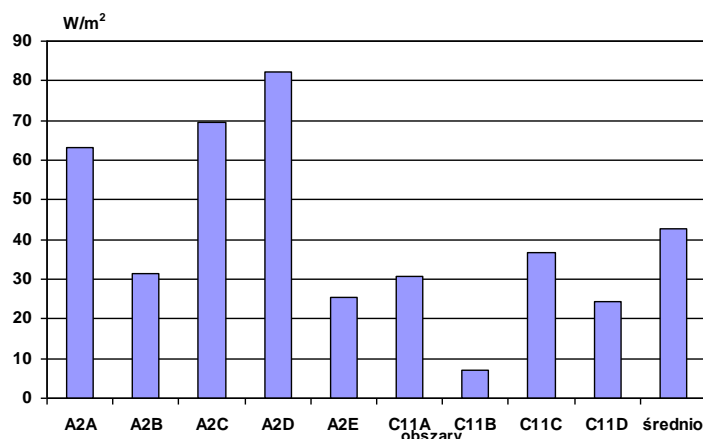
a) – wartość stanowi sumę



Rys. 1. Wartości lokalnego wskaźnika kosztów energetycznych zaopatrzenia w energię W_{tQUA} dla podobszarów



Rys. 2. Wartości Energetycznego Wskaźnika Jakości Powietrza EAQI_s dla podobszarów



Rys. 3. Wartości obciążenia podobszarów zużyciem energii bezpośredniej W_{Qb}

Wartości EAQI_s uwzględniające, oprócz kosztów energetycznych i ekologicznych, również stopień koncentracji źródeł oraz strukturę urbanistyczną, wskazują na potencjalne możliwości wystąpienia określonych stanów jakości powietrza. Szczególna sytuacja występuje w podobszarze A2D (rys. 3, tabela 4) o EAQI_s = 4698 mg/m²h, czyli w zakresie „niezdrowej klasy” jakości powietrza (tabela 1). Przyczyną tego stanu obok dużych wartości wskaźników W_{IQUA} i W_{ERUA} jest gęsta zabudowa oraz mała wartość W_{Hsr} (tabela 4). Gęsta zabudowa oraz duże wartości wskaźników W_{IQUA} i W_{ERUA} stanowią przyczynę zakwalifikowania podobszarów A2A i A2C do 3. klasy jakości powietrza (umiarkowana). Podobszary C11B i C11D, mimo dużych wartości wskaźników W_{IQUA} i W_{ERUA} , dzięki luźnej zabudowie i rozproszeniu źródeł emisji plasują się w klasach: C11B – bardzo dobrej (duża wartość W_{Hsr}) oraz C11D – dobrej. Przedstawione na rysunku 3 i w tabeli 4 wartości W_{Qb} , wskazują podobszary A2D, A2C i A2A jako znaczące ($W_{Qb} > 65$ W/m²) źródła generowania MWC, co może wpływać na wystąpienie okresowych cyrkulacji mas powietrza połączonych z przenoszeniem zanieczyszczeń.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza wartości EAQI oraz kryteriów uzupełniających (wskaźniki W_{IQUA} , W_{ERUA} , W_{Qb}) wskazuje nie tylko podobszary o pogorszonych warunkach jakości powietrza, ale również identyfikuje przyczyny tego stanu, co stanowi istotną przesłankę dla opracowania programu naprawczego. Przedstawiona metodyka wyznaczania EAQI zakłada wyizolowanie miasta lub jego obszaru z całego systemu energetycznego. Daje przez to przesłanki do oceny stanu jakości powietrza wewnątrz określonej osłony bilansowej,

w oparciu o analizę istniejącej struktury urbanistycznej i energetycznej. Umożliwia również programowanie działań modernizacyjnych struktury mających na celu poprawę jakości powietrza w określonym obszarze.

Energetyczny Wskaźnik Jakości Powietrza wyznacza się przede wszystkim dla wyodrębnionych w aglomeracji obszarów o gęstej zabudowie ze stacjonarnymi i mobilnymi źródłami emisji. Może być on również obliczany dla innych obszarów oraz jako wartość średnia dla aglomeracji. Istotne może być wyznaczenie EAQI dla obszarów, dla których istnieje ciągły pomiar stężeń zanieczyszczeń spełniający warunki pomiaru tła. Umożliwi to obliczenie wartości względnej wskaźników $EAQI_{UA}/EAQI_T$ oraz wyznaczenie korelacji między stosowanym wariantem Wskaźnika Jakości Powietrza (AQI) a EAQI, słusznej dla aglomeracji o konkretnym położeniu geograficznym i klimatycznym.

Literatura

- [1]. Bagieński Z.: Wpływ struktury zużycia energii na jakość powietrza w aglomeracji miejskiej w klimacie umiarkowanym, Rozprawy, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2010
- [2]. Bagieński Z.: Ocena aktualnego stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla m. Poznania, w: Projekt założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla obszaru miasta Poznania, red. E. Szczechowiak, Poznań 2001
- [3]. Bagieński Z.: Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla m. Inowrocławia, w: Modernizacja systemu ciepłowniczego miasta Inowrocławia do roku 2010, red. E. Szczechowiak, Poznań 1996
- [4]. Elterman W.M.: Wentylacja w przemyśle chemicznym, WNT, Warszawa 1985
- [5]. Bagieński Z.: Wpływ systemu wentylacji przemysłowej na emisję zanieczyszczeń powietrza, II International Scientific Conference: Air Protection in Theory & Applications, Szczyrk 1998, sekcja 4, s. 79-91, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN – Zabrze
- [6]. Bagieński Z.: Wpływ prędkości i temperatury gazów emitowanych z niskich źródeł punktowych na ich dyspersję w kanionie ulicznym – badania modelowe, IX Ogólnopolskie Sympozjum: zastosowanie mechaniki płynów w inżynierii środowiska, Gliwice–Wisła 2007, Politechnika Śląska, Mat. sympozjum, 9-17
- [7]. Ahmad K., Khare M., Chaudhry K.: Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections – a review. J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn., 2005, 93, 697-717
- [8]. Oke T.R.: Street design and urban canopy layer climate. Energy Buildings, 1988, 11, 103-113
- [9]. Bagieński Z.: The analysis of dispersion of pollutants from short point sources – wind tunnel experimental investigation, Environment Protection Engineering, 2006, 32, nr 4, s. 37-45
- [10]. Chang Cheng-Hsin, Meroney R.N.: Concentration and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 91, 1141-1154
- [11]. Sini J.F., Anquetin S., Mestayer P.: Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons, Atmospheric Environment, 1996, 30, 2659-2677
- [12]. Guinee J.B. (red.): Handbook on Life Cycle Assessment, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2001
- [13]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008, w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy, Dz. U. UE. L152, 11.06.2008 PL
- [14]. Air Quality Index, A Guide to Air Quality and Your Health, EPA-454/K-03-002, 2003
- [15]. WHO – Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005, WHO, 2006
- [16]. www.ec.gc.ca
- [17]. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r., w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, Dz. U. 2009/05/31
- [18]. Bagieński Z.: Ocena wpływu źródeł zaopatrzenia w ciepło na jakość powietrza w aglomeracji miejskiej, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 2005, nr 3, 82-91.