Michał Krzyżanowski, Łukasz Adamkiewicz, Krzysztof Skotak

# Indeks godzinowy stopnia zanieczyszczenia powietrza benzenem: metoda wyznaczania kategorii indeksu

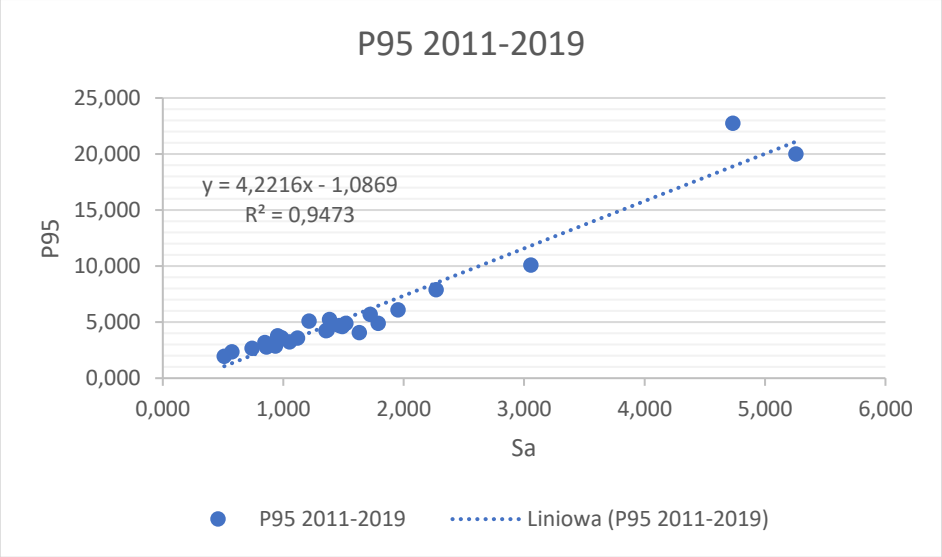
Benzen jest substancją rakotwórczą, hemo- i genotoksyczną. Ryzyko zdrowotne wynika z długotrwałego narażenia na benzen. Nie ma „bezpiecznego" stopnia narażenia a ryzyko rośnie proporcjonalnie do średniego stężenia benzenu we wdychanym powietrzu. Ryzyko wystąpienia białaczki związane z narażeniem na 1 µg/m³ benzenu w powietrzu w ciągu całego życia wynosi $6*10^{-6}$ (6 na milion)[1].

Chociaż pojedyncze krótkie okresy zwiększonego narażenia nie mają dużego znaczenia zdrowotnego, przyczyniają się do powiększania długookresowej średniej narażenia. Informacja o tych krótkich, zwłaszcza powtarzających się, okresach może więc być przydatna dla minimalizowania ich liczby i, w konsekwencji, ograniczania narażenia długookresowego i związanego z nim ryzyka dla zdrowia.

Indeks jakości powietrza jest oparty na godzinowych pomiarach stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, klasyfikowanych do jednej z 6-ciu kategorii (od 0 do 5). Metoda wyznaczenia granic kategorii indeksu jest opisana poniżej. Głównym celem tej kategoryzacji jest zachowanie proporcjonalności kategorii stężenia godzinowego z narażeniem długookresowym i związanym z nim ryzykiem zdrowotnym.

Godzinowe stężenia benzenu mierzone w stacjach monitoringu powietrza charakteryzują się dużą zmiennością, a ich rozkład wartości jest silnie skośny. Na podstawie danych godzinowych z 27 stacji monitorujących benzen w Polsce we wszystkich latach okresu 2011-19, wyznaczono zależność 95-go centyla stężenia godzinowego (P95) od średniej arytmetycznej stężenia w okresie 9 lat (Sa) (ryc. 1).

**Ryc. 1. Zależność P95 godzinowych stężeń benzenu od średniej arytmetycznej na podstawie pomiarów w 27 stacjach monitoringu powietrza w Polsce, 2011-2019**




[1] Air Quality Guidelines for Europe. 2nd edition. WHO Regional Publications, European Series No.91. World Health Organization 2000

Funkcja liniowa dobrze opisuje zależność (współczynnik determinacji $R^2$=0,9473), umożliwiając obliczenie P95 odpowiadających różnym wartościom długookresowego średniego stężenia benzenu oraz ryzyka narażenia dla zdrowia. Przyjmując w miarę równomierny wzrost ryzyka białaczki wraz ze wzrostem kategorii indeksu, wyliczone wartości graniczne dla stężeń godzinowych podane są w tabeli 1.

**Tabela 1. Wartości godzinowe stężeń benzenu definiujące kategorie indeksu**

| Wartość indeksu | Górne granice | | |
|---|---|---|---|
| | Ryzyko / 100 tys | Srednie narażenie (µg/m³) | Stężenie godzinowe (µg/m³) |
| 0 | < 0,5 | 0,833 | 2,43 |
| 1 | 1,0 | 1,667 | 5,95 |
| 2 | 1,5 | 2,500 | 9,47 |
| 3 | 2,0 | 3,333 | 12,99 |
| 4 | 3,0 | 5,000 | 20,02 |
| 5 | >3,0 | >5,000 | >20,02 |

Ponieważ indeks wyznaczony jest na podstawie 95go centyla, można go interpretować w następujący sposób: utrzymywanie się najwyższych wartości godzinowych odpowiadających kategorii *i* indeksu (*i* = 0-5) przez 5% (długiego) czasu obserwacji wiąże się z ryzykiem białaczki mniejszym niż wskazane w odpowiednim wierszu tabeli 1 (lecz większym niż wskazane w wierszu *i* - 1). Np. jeśli 5% najwyższych godzinowych stężeń benzenu należy do kategorii 2, to ryzyko białaczki jest między 1,0 a 1,5 /100 tys.

Wyniki klasyfikacji wyników pomiarów z 27 stacji monitorujących stężenia benzenu w okresie 2011-2019 w sposób ciągły i wykorzystanych do wyznaczenia progów indeksu przedstawione są w tabeli 2.

**Tabela 2. Odsetek i liczba godzin / rok wg. wartości indeksu w stacjach o różnych długookresowych średnich stężeniach benzenu. Dane z 27 stacji z pomiarami ciągłymi w okresie 2011-2019**

| Wartość indeksu | Średnie stężenie (µg/m³) | | | Średnie stężenie (µg/m³) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 |
| | % godzin | % godzin | % godzin | godz. /rok | godz. /rok | godz. /rok |
| 0 | 94,37% | 81,09% | 62,38% | 8267 | 7104 | 5465 |
| 1 | 5,10% | 15,65% | 22,21% | 447 | 1371 | 1946 |
| 2 | 0,38% | 2,33% | 7,00% | 34 | 204 | 613 |
| 3 | 0,09% | 0,58% | 2,51% | 8 | 51 | 220 |
| 4 | 0,04% | 0,28% | 2,50% | 3 | 24 | 219 |
| 5 | 0,02% | 0,07% | 3,38% | 1 | 6 | 296 |

Odsetek i liczba godzin klasyfikowanych do wyższych kategorii indeksu rośnie znacząco wraz ze wzrostem długookresowej średniej stężenia benzenu. Jedynie 0,15% i 0,93% godzin (odpowiednio: 12 i 81 godz./rok) zaklasyfikowano do kategorii 3-5 indeksu w stacjach ze średnim stężeniem poniżej 0,83 i 2.5 µg/m³, podczas gdy ponad 8% godzin (735 godz./rok) zaklasyfikowano do kategorii 3-5 w stacjach ze średnim stężeniem ponad 2,5 µg/m³. Wartości indeksu.

W podobny sposób sklasyfikowano wyniki pomiarów godzinowych w 63 stacjach zbierających dane z przerwami, lub nawet okazjonalnie, w okresie 2011-2019. Wyniki tej klasyfikacji przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3. Odsetek i liczba godzin / rok wg. wartości indeksu w stacjach o różnych długookresowych średnich stężeniach benzenu. Dane z 63 stacji z pomiarami nieciągłymi w okresie 2011-2019**

| Wartość indeksu | Średnie stężenie (µg/m³) | | | Średnie stężenie (µg/m³) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 |
| | % godzin | % godzin | % godzin | godz. /rok | godz. /rok | godz. /rok |
| 0 | 97,03 | 82,83 | 48,45 | 8500 | 7256 | 4244 |
| 1 | 2,58 | 13,52 | 34,18 | 226 | 1185 | 2994 |
| 2 | 0,31 | 2,53 | 9,10 | 28 | 221 | 797 |
| 3 | 0,05 | 0,71 | 3,95 | 4 | 62 | 346 |
| 4 | 0,02 | 0,32 | 3,23 | 2 | 28 | 283 |
| 5 | 0,01 | 0,08 | 1,10 | 1 | 7 | 97 |

Wyniki na podstawie danych ze innych stacji niż te użyte do definiowania progów potwierdzają dostateczną czułość klasyfikacji.

Należy jednak zwrócić uwagę, że ocena długookresowego stężenia i związanego z nim ryzyka dla zdrowia na podstawie pojedynczych obserwacji krótkookresowych może być błędna, zwłaszcza w miejscach z podwyższonym poziomem zanieczyszczenia. Wskazują na to wyniki przedstawione w tabeli 4 (dla danych z 27 stacji z pomiarami ciągłymi) i tabeli 5 (dla danych z 63 stacji z pomiarami nieciągłymi).

**Tabela 3. Odsetek klasyfikacji indeksu do kategorii zgodnych i niezgodnych z ryzykiem oszacowanym na podstawie długookresowej średniej stężeń. Dane z 27 stacji z pomiarami ciągłymi w okresie 2011-2019**

| % godzin | Średnie stężenie (µg/m³) | | |
|---|---|---|---|
| | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 |
| Celnych | 94% | 18% | 8% |
| Przeszacowujących ryzyko | 6% | 1% | 0% |
| Niedoszacowujących ryzyka | 0% | 81% | 92% |

**Tabela 3. Odsetek klasyfikacji indeksu do kategorii zgodnych i niezgodnych z ryzykiem oszacowanym na podstawie długookresowej średniej stężeń. Dane z 63 stacji z pomiarami nieciągłymi w okresie 2011-2019**

| % godzin | Średnie stężenie (µg/m³) | | |
|---|---|---|---|
| | < 0,83 | 0,83- 2,50 | > 2,50 |
| Celnych | 97% | 16% | 8% |
| Przeszacowujących ryzyko | 3% | 1% | 0% |
| Niedoszacowujących ryzyka | 0% | 83% | 92% |

Lepsze oszacowanie ryzyka w miejscach z wysokimi stężeniami średnimi można osiągnąć opierając klasyfikację na 95tym centylu pomiarów godzinowych z okresu (min. roku) poprzedzającego godzinę

pomiaru. Zastosowanie takiej metody wymagałoby przebudowania indeksu, który musiałby odnosić się do bazy danych i wyliczać centyle przed prezentacją odpowiedniej kategorii indeksu. Oznaczałoby odejście od obecnie stosowanej metody wyznaczania indeksu na podstawie ustalonych z góry wartości progów jednogodzinowych.