

Lukasz PACHURKA, Izabela SÓWKA, Magdalena FORTUNA*

OCENA RYZYKA ZDROWOTNEGO ZWIĄZANEGO Z NARAŻENIEM INHALACYJNYM NA BENZO(A)PIREN W WYBRANYCH MIASTACH DOLNEGO ŚLĄSKA

Benzo(a)piren jest wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. Celem pracy było przeprowadzenie oceny ryzyka nowotworowego związanego z inhalacyjnym narażeniem na benzo(a)piren dla wybranych miast Dolnego Śląska. W tym celu wykorzystano metodologię opartą na standardach Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA), obejmującej tzw. całozyciowe przewlekłe narażenie osoby dorosłej i dziecka. W przeprowadzonych analizach wykorzystano dane pomiarowe Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) we Wrocławiu. Z przeprowadzonych obliczeń wynika iż najwyższą wartość ryzyka nowotworowego otrzymano dla mieszkańców Nowej Rudy: dzieci: $32,53 \cdot 10^{-6}$, kobiety: $15,91 \cdot 10^{-6}$, mężczyźni: $13,34 \cdot 10^{-6}$ mg/d·kg. Wyznaczone wartości ryzyka nowotworowego były wyższe od wartości obliczonych dla tła środowiskowego.

1. WSTĘP

Dynamicznie rozwijający się przemysł, energetyka i transport są źródłem wielu substancji negatywnie wpływających na stan środowiska oraz zdrowie człowieka. Wśród emitowanych związków do najbardziej niebezpiecznych zalicza się wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) charakteryzujące się zdolnością do bioakumulacji, długim czasem przebywania w środowisku oraz szkodliwym oddziaływaniem na środowisko naturalne oraz zdrowie ludzi [5, 13]. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne mają działanie silnie toksyczne dla ludzi. Niektóre związki działają kancerogennie oraz mutagennie na organizm człowieka. Największe zagrożenie dla zdrowia populacji powodują związki WWA inhalowane wraz z wdychanym powietrzem [1, 4, 13]. WWA są związkami występującymi we wszystkich elementach środowiska człowieka: w glebie,

* Zakład Ekologii i Zarządzania Ryzykiem Środowiskowym, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, lukasz.pachurka@pwr.edu.pl.

w wodzie, w powietrzu oraz w żywności. Działanie WWA charakteryzuje powszechny charakter. Toksyczne związki dostają się do organizmu różnymi drogami: przez skórę, drogą inhalacyjną i pokarmową [4, 13, 14]. Przeprowadzone badania epidemiologiczne odnośnie wpływu kancerogennego działania WWA na ludzki organizm wykazały silną korelację między występowaniem nowotworu płuca a stężeniem benzo(a)pirenu [4, 13].

Emisja WWA do powietrza jest szacowana na podstawie wielkości emisji 4 związków wskaźnikowych: benzo(a)pirenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(b)fluorantenu oraz indeno(1,2,3-cd)pirenu. Benzo(a)piren jest wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. Dopuszczalne stężenie benzo(a)pirenu ze względu na ochronę zdrowia określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu i wynosi ono 1 ng/m^3 [9]. W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) monitorowane jest w powietrzu atmosferycznym 7 rodzajów WWA. Zanieczyszczeniem mierzonym na największej liczbie stanowisk jest benzo(a)piren: 120 stanowiska w 2013 r. w Polsce, w tym 13 na Dolnym Śląsku [8, 17].

Głównym źródłem emisji wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych (WWA) do atmosfery jest niska emisja pochodząca z ogrzewania budynków poprzez spalanie paliw kopalnych (drewna, gazu, węgla, oleju). Sezonowa zmienność WWA związana jest z zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania budynków. Najwyższe stężenia WWA w powietrzu występują w dużej mierze w mniejszych miejscowościach ze względu na stosowanie w nich indywidualnych kotłowni do ogrzewania budynków mieszkalnych. Wykorzystywane w nich piece i paleniska posiadają niskie sprawności energetyczne, a stosowane w nich stałe paliwa są często złej jakości. Na skutek podawania żywności obróbce termicznej (grillowanie, smażenie, pieczenie, wędzenie) powstają związki WWA, które są również składnikiem dymu tytoniowego [6, 13].

Zwiększenie udziału zużycia węgla w kotłowniach gospodarstw domowych przyczynia się do wzrostu emisji, co zaobserwowano analizując wartości przedstawione w tabeli 1 w sektorze „Procesy spalania poza przemysłem”. W roku 2012 odnotowano wzrost emisji krajowej WWA o 1,3% w stosunku do wartości z roku 2011 r. Zmniejszenie udziału emisji WWA z produkcji aluminium i koks natomiast przyczyniło się do zmniejszenia jej poziomu w sektorze „Procesy produkcyjne” (tabela 1) [6].

Tabela 1. Emisja WWA w Polsce w latach 2011–2012 [6]

Sektory	2011	2012
	[Mg]	
Procesy spalania poza przemysłem	122,3	125,3
Procesy produkcyjne	15,9	14,8
Transport drogowy	2,8	2,8
Procesy spalania w przemyśle	0,7	0,7
Procesy spalania w sektorze produkcyjnym i transformacji energii	0,2	0,3
Inne pojazdy i urządzenia	0,5	0,5
Razem	142,5	144,4

Analizując zmienność stężeń benzo(a)pirenu i WWA na terenie województwa dolnośląskiego zaobserwowano iż najwyższe stężenia odnotowano w roku 2012 w Nowej Rudzie ($13,55 \text{ ng/m}^3$) [10, 16]. Wpływ na wysokość obserwowanych przekroczeń stężeń WWA mają występujące niekorzystne warunki do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń (położenie miasta w dolinie) [8]. W roku 2013 zanotowano przekroczenia poziomu docelowego benzo(a)pirenu na wszystkich stacjach pomiarowych na Dolnym Śląsku [17]. Obserwowane poziomy stężenie średniorocznych benzo(a)pirenu w województwie mieściły się w roku 2013 w zakresie od 130% w Działoszynie do 1310% w Nowej Rudzie. Z przeprowadzonych analiz wynika, że notowane stężenia w 2013 r. są niższe niż w roku poprzednim. W tabeli 2 przedstawiono średnioroczne poziomy stężenie benzo(a)pirenu w wybranych miastach województwa dolnośląskiego w latach 2012–2013 [16, 17]. Obserwowane uśrednione stężenia WWA dla wszystkich stacji tła miejskiego w wybranych państwach Unii Europejskiej w 2012 roku są dużo wyższe w Polsce (ok. 23 ng/m^3) niż w innych krajach np. Czechy – ok. $8,5 \text{ ng/m}^3$, Łotwa – ok. $4,1 \text{ ng/m}^3$, Niemcy – ok. $2,1 \text{ ng/m}^3$ [8].

Tabela 2. Średnioroczne poziomy stężenie benzo(a)pirenu w latach 2012–2013 [16, 17]

Strefa	2012	2013
	[ng/m ³]	
Aglomeracja Wrocławska	4,7	3,9
m. Legnica	6,5	7,9
m. Wałbrzych	b.d.	5,1
Strefa dolnośląska: Nowa Ruda	13,6	13,1

Celem pracy było przeprowadzenie oceny ryzyka nowotworowego związanego z inhalacyjnym narażeniem na benzo(a)piren dla wybranych miast Dolnego Śląska. W pracy zostały wykorzystane dane pomiarowe Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) we Wrocławiu prowadzone w ramach PMS. Ocenę przeprowadzono z uwzględnieniem całocyclowego narażenia osoby dorosłej oraz dzieci.

2. MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano metodologię oceny ryzyka (ang. *Risk Assessment*) opartą na standardach Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA), obejmującej tzw. całocycloowe przewlekłe narażenie osoby dorosłej i dziecka na benzo(a)piren obecny w powietrzu atmosferycznym [14, 15]. W scenariuszu mieszkańca, na podstawie danych literaturowych [2, 13, 14] założono, że osoba dorosła może być narażona przez 24 godziny na dobę oraz przez 365 dni w roku. Dla osoby dorosłej przyjęto wiek narażenia 70 lat, natomiast dla dziecka 6 lat [2, 11–13, 15].

Pobraną ilość benzo(a)pirenu tzw. dawkę pobraną, określającą ilość substancji dostającej się do organizmu w ciągu doby, w przeliczeniu na 1 kg masy ciała obliczono ze wzoru (1).

$$D = \frac{C_p \cdot K \cdot CK \cdot CT}{MC \cdot T} \quad (1)$$

gdzie:

- D – dawka pobrana [mg/d·kg]
- C_p – średnie stężenie substancji w powietrzu [mg/m³]
- K – dobowa wentylacja płuc [m³/d]
- CK – częstotliwość kontaktu [d/rok]
- CT – czas trwania kontaktu [rok]
- MC – średnia masa ciała [kg]
- T – okres uśredniania [d].

Do obliczeń w pracy na podstawie danych literaturowych zostały przyjęte następujące parametry: średnia masa ciała dla dziecka – 16 kg, kobiety – 65,4, mężczyzny – 78,1 kg. Dobową wentylację płuc przyjęto jako wartość: dla dziecka – 10 m³/d, dla osoby dorosłej 20 m³/d. Pozostałe parametry wynosiły: częstotliwość kontaktu – 365 d/rok, czas trwania narażenia – 365 dni w roku, 24 godziny na dobę. Powyższe dane oparte są na 50-percentylu rozkładu masy ciała w danych antropometrycznych [2, 12]. Przyjęcie takich samych parametrów jak w literaturze [12, 13] pozwoliło porównać otrzymane wartości dla Aglomeracji Wrocławskiej. Średnie stężenie benzo(a)pirenu dla mieszkańca określono jako średnia z dwóch lat prowadzonych pomiarów przez WIOŚ w latach 2012–2013 [16, 17]. Punktem odniesienia był poziom tła środowiskowego dla Polski wynoszący 0,550 ng/m³ według danych z Raportu *European Commission DG Environment* [12]. W ocenie uwzględniono rakotwórcze działanie benzo(a)pirenu na podstawie wzoru (2).

$$CR = D \cdot SF_{B(a)P} \quad (2)$$

gdzie:

- CR – ryzyko nowotworowe (ang. *Cancer Risk*)
- D – dawka pobrana [mg/d·kg]
- $SF_{B(a)P}$ – współczynnik siły działania kancerogennego dla $B(a)P$.

Współczynnik siły działania kancerogennego przyjęto z toksykologicznej bazy (OEHHA): narażenie inhalacyjne 3,9·10⁹ [kg·d·mg⁻¹] [6]. Otrzymane wartości porównano z akceptowalnym poziomem ryzyka nowotworowego 1·10⁻⁶ [2, 13].

3. WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Zastosowanie metody oceny ryzyka zdrowotnego wg US EPA pozwala na oszacowanie istniejącego i przewidywanego ryzyka zdrowotnego przy określonym stężeniu zanieczyszczenia powietrza. W pracy przyjęto, że wpływ na ryzyko nowotworowe związane z narażeniem na benzo(a)piren w powietrzu atmosferycznym wybranych miast i aglomeracji województwa dolnośląskiego ma zwiększenie udziału transportu drogowego, wpływ niskiej emisji pochodzącej głównie z gospodarstw domowych (lokalne kotłownie) oraz ukształtowanie terenu odgrywające rolę podczas rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. W omawianym scenariuszu wpływ na wielkość dawki pobranej ma poziom stężenia benzo(a)pirenu na badanym obszarze.

W wybranych miastach Dolnego Śląska notowane stężenie benzo(a)pirenu kształtowało się w zakresie od 1,3 ng/m³ w Działoszynie do 13,1 ng/m³ w Nowej Rudzie. Wartość stężenia benzo(a)pirenu w roku 2013 o 1310% wartości normatywnej w nowej Rudzie, 390% we Wrocławiu, 790% w Legnicy oraz o 510% w Wałbrzychu [17].

W tabeli 3 zestawiono wartości dawki B(a)P pobranej drogą inhalacyjną w wybranych miastach Dolnego Śląska z podziałem na mężczyzn, kobiety i dzieci.

Tabela 3. Dawki benzo(a)pirenu pobranego drogą inhalacyjną w wybranych miastach Dolnego Śląska

Strefa	Średnia wartość stężenia B(a)P [ng/m ³]	Pobrana dawka B(a)P [·10 ⁻⁶ mg/d·kg]		
		Dzieci	Osoby dorosłe	
			kobiety	mężczyźni
Tło dla Polski [3]	0,55	0,34	0,17	0,14
Agglomeracja Wrocławska	4,30	2,69	1,31	1,10
m. Legnica	7,20	4,50	2,20	1,84
m. Wałbrzych	5,10	3,19	1,56	1,30
Strefa dolnośląska: Nowa Ruda	13,35	8,34	4,08	3,42

Z przeprowadzonych obliczeń wynika iż największą dawkę pobraną benzo(a)piranu drogą inhalacyjną w województwie dolnośląskim otrzymują dzieci (8,34·10⁻⁶ mg/d·kg), będące w grupie osób najbardziej narażonych na zanieczyszczenia powietrza. Najwyższą wartość przyjmowanej dawki benzo(a)pirenu odnotowuje się dla mieszkańców Nowej Rudy i jej wartość jest około dwadzieścia cztery razy większa niż wartość dla tła środowiskowego. Drugą grupę stanowią dzieci i mieszkańcy zamieszkujący obszar miasta Legnica, gdzie wpływ na poziom zanieczyszczenia w powietrzu ma obecność hut i przemysłowy charakter miasta.

Na podstawie dawki pobranej w wybranych miastach województwa obliczono wartość ryzyka nowotworowego (tabela 4) – wśród miast Dolnego Śląska największe potencjalne ryzyko nowotworowe występuje w Nowej Rudzie.

Tabela 4. Inhalacyjne ryzyko nowotworowe wywołane obecnością benzo(a)pirenu w powietrzu w wybranych miastach Dolnego Śląska

Strefa	CR [$\cdot 10^{-6}$ mg/d·kg]		
	Dzieci	Osoby dorosłe	
		kobiety	mężczyźni
Tło dla Polski [3]	1,33	0,66	0,55
Aglomeracja Wrocławska	10,49	5,11	4,29
m. Legnica	17,55	8,58	7,18
m. Wałbrzych	12,44	6,08	5,07
Strefa dolnośląska: Nowa Ruda	32,53	15,91	13,34

Uznawane za akceptowalne lub nieistotne wg US EPA jest ryzyko na poziomie $1 \cdot 10^{-6}$ [mg/d·kg], natomiast ryzyko poważne wymagające podjęcia działań ochronnych wynosi $1 \cdot 10^{-3}$ mg/d·kg [2, 13]. Z przeprowadzonych obliczeń wynika iż najwyższą wartość ryzyka otrzymano dla mieszkańców Nowej Rudy: dzieci: $32,53 \cdot 10^{-6}$, kobiety: $15,91 \cdot 10^{-6}$, mężczyźni: $13,34 \cdot 10^{-6}$ mg/d·kg. Wartości ryzyka nowotworowego dla aglomeracji wrocławskiej są wyższe niż w badaniach przeprowadzonych w latach 2008-2010, gdzie potencjalne ryzyko nowotworowe na benzo(a)piren dla mieszkańców Aglomeracji Wrocławskiej wyniosło dla dzieci $10,1 \cdot 10^{-6}$, dla mężczyzn: $4,93 \cdot 10^{-6}$ i kobiet $4,13 \cdot 10^{-6}$ mg/d·kg [13]. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w analizowanych miastach należałoby podjąć programy ochrony powietrza zmierzające do poprawy jego jakości i ochrony zdrowia mieszkańców.

4. PODSUMOWANIE

Narażenie na związki o działaniu bezprogowym, jakim jest benzo(a)piren może być przyczyną nowotworów. We wszystkich punktach pomiarowych na Dolnym Śląsku zostały przekroczone poziomy docelowe dla benzo(a)pirenu. Wzrost poziomu stężeń zanieczyszczeń w powietrzu związany jest głównie z działalnością człowieka, w tym dużym udziałem niskiej emisji pochodzącej ze spalania paliw w gospodarstwach domowych. Najwyższą wartość ryzyka nowotworowego otrzymano dla mieszkańców Nowej Rudy: dzieci: $32,53 \cdot 10^{-6}$, kobiety: $15,91 \cdot 10^{-6}$, mężczyźni: $13,34 \cdot 10^{-6}$ mg/d·kg. Wyznaczone wartości ryzyka nowotworowego są wyższe od wartości obliczonych dla tła środowiskowego oraz od tych, które odnotowano w literaturze. Wśród badanych populacji najbardziej narażone na inhalacyjne ryzyko nowotworowe są dzieci. Uzyskane wartości świadczą o potencjalnym ryzyku nowotworowym. Do pełnego określenia wpływu zanieczyszczenia należałoby uwzględnić inne drogi narażenia tj. poprzez skórę i drogę pokarmową.

Praca współfinansowana w ramach badań statutowych S40-029.

LITERATURA

- [1] BARRESE et al.: *Sensitive Monoclonal Antibody Method Based ELISA on Filter for Detection of Benzo[a]pyrene in Air*. Journal of Health Science 2014, 4(4). 94–98.
- [2] BIESIADA M.: *Ocena ryzyka zdrowotnego mieszkańców Wiślinki związanego z oddziaływaniem haldy fosfogipsu*. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 2006.
- [3] *Economic Evaluation of Air Quality Targets for PAHs*. Final Report for European Commission DG Environment, 2001.
- [4] JUDA-REZLER K.: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [5] KAPKA I i inni: *Jakość powietrza atmosferycznego a zapadalność na nowotwory płuc w wybranych miejscowościach i powiatach województwa śląskiego*. Przegląd Epidemiologiczny, 2009, 63, 439–444.
- [6] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE): Krajowy Bilans Emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO ZA LATA 2011 - 2012 w układzie klasyfikacji SNAP Raport syntetyczny, wersja 2, 2014. Dostępny na stronie: http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/2014/Bilans_emisji_raport_syntetyczny_2012.pdf.
- [7] Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHA): *Toxic Air Contaminant Document – Appendix A: HotSpots Unit Risk and Cancer Potency Values*. http://www.oehha.ca.gov/aor/hot_spots/2009/AppendixA.pdf.
- [8] Państwowy Monitoring Środowiska - Inspekcja Ochrony Środowiska: *Zanieczyszczenie powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi na stacjach tła miejskiego w Polsce w 2013 r.*, Warszawa 2014.
- [9] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu* (Dz. U. 2012 Poz. 1031).
- [10] SÓWKA I, PACHURKA Ł.: *Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego na obszarze Nowej Rudy*, [w] *Skażenie powietrza w Nowej Rudzie - szansa na zmianę?* Dolnośląski Klub Ekologiczny, Wrocław 2014, 13–22.
- [11] SZYMCZAK W., SZESZENIA-DĄBROWSKA N.: *Szacowanie ryzyka zdrowotnego związanego z zanieczyszczeniem środowiska*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1995.
- [12] TROJANOWSKA M., ŚWIETLIK R.: *Inhalacyjne narażenie mieszkańców miast Polski na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego arsenem, kadmem i niklem*. Medycyna Środowiskowa, 2012, 15(2), 33–41.
- [13] TROJANOWSKA M., ŚWIETLIK R.: *Ocena ryzyka nowotworowego związanego z narażeniem inhalacyjnym na benzo(a)piren w wybranych miastach Polski*. Medycyna Środowiskowa, 2013, 16(2), 14–22.
- [14] US EPA: *Guidelines for Human Health Risk Assessment of Chemical Mixtures*, Federal Register (51 FR 34014-34025), Washington, D.C., 1986.
- [15] US EPA: *Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I, Human Health Evaluation Manual (Part A)*, EPA/540/1-89/002. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C., 1989.
- [16] ŻYNIWICZ Ś., MIKOŁAJCZYK A., OSTRYCHARZ D.: *Ocena Jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2012r.*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu, Wrocław 2013.
- [17] ŻYNIWICZ Ś., MIKOŁAJCZYK A., OSTRYCHARZ D.: *Ocena Jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2013 roku*. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu, Wrocław 2014.

HEALTH RISK ASSESSMENT RESULTING FROM RESPIRATORY EXPOSURE TO BENZO(A)PYRENE IN SELECTED LOWER SILESIA CITIES

Benzo(a)pyrene is an indicator of air pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons. The aim of the study was to estimate the cancer risk assessment from respiratory exposure to benzo(a)pyrene for selected Lower Silesia cities. In the study methodology based on the standards of the United States Environmental Protection Agency (US EPA), including the so-called lifelong chronic exposure of adult and child, was used. For the calculations the measurement data of the Regional Inspectorate for Environmental Protection in Wrocław was used. The highest level of cancer risk was obtained for the residents of Nowa Ruda: for children: $32.53 \cdot 10^{-6}$, for woman: $15.91 \cdot 10^{-6}$, for man: $13.34 \cdot 10^{-6}$ mg/d·kg. Calculated values of cancer risk were higher than the values for the environmental background.