

Wpływ zanieczyszczenia powietrza na centralny układ nerwowy

W imieniu Krakowskiego Alarmu Smogowego: Jakub Jędrak

Streszczenie

Badania naukowe prowadzone w ciągu ostatniej dekady dostarczają rosnącej liczby dowodów na wybitnie negatywny wpływ zanieczyszczenia powietrza na układ nerwowy. Problem ten dotyczy całej populacji, choć szczególnie jednostek najsłabszych, a więc dzieci i osób starszych.

Badania epidemiologiczne pokazują, iż dzieci narażone na wyższe stężenia zanieczyszczeń powietrza, takich jak pył zawieszony, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) czy dwutlenek azotu, wypadają zauważalnie gorzej w testach inteligencji, mają też większe problemy z pamięcią, uwagą i koncentracją, a także wyższy poziom niepokoju i częściej wykazują zachowania depresyjne.

Z kolei u osób starszych, długoletnia zwiększona ekspozycja na pył zawieszony nasila i przyspiesza proces starzenia się układu nerwowego, a w konsekwencji pogłębia upośledzenie zdolności poznawczych i sprawności umysłowej (demencja).

Okazuje się, iż najdrobniejsze cząstki pyłu zawieszzonego (obecne m.in. w spalinach emitowanych przez silniki dieslowskie) przenikają z płuc do krwiobiegu, a następnie do różnych narządów, w tym mózgu, gdzie ich obecność może prowadzić do przewlekłego stanu zapalnego oraz do różnorodnych zmian o charakterze degeneracyjnym, w tym zmian podobnych do obserwowanych w chorobie Alzheimera.

Wstęp

Kiedy słyszymy o skutkach zdrowotnych zanieczyszczenia powietrza, zazwyczaj, co zrozumiałe, myślimy o chorobach układu oddechowego. Rzeczywiście, liczne badania epidemiologiczne wyraźnie pokazują związek między typowymi zanieczyszczeniami (pył zawieszony, benzo(a)piren i inne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), tlenki azotu, ozon), a częstością występowania astmy, raka płuc, infekcji dróg oddechowych czy przewlekłej obturacyjnej choroby płuc [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Nieco mniej znany

jest fakt, że ekspozycja na pył zawieszony jest także przyczyną dużego odsetka zawałów, i ogólniej, chorób wieńcowych [1, 2, 3, 9, 10, 11, 12] a także jedną z przyczyn nadciśnienia [13].¹ Prowadzi to do znaczącego wzrostu śmiertelności (dostępne dane epidemiologiczne dla Krakowa mówią o kilkuset przedwczesnych zgonach rocznie [14]).

Prawie zupełnie nieznanym w naszym kraju wydaje się być natomiast negatywny wpływ zanieczyszczonego powietrza na centralny układ nerwowy.² Dlatego też postanowiliśmy napisać dedykowany temu tematowi artykuł. Przytoczymy streszczenie wyników wybranych badań prowadzonych w Polsce, Stanach Zjednoczonych, Meksyku, Chinach, Korei i Kanadzie.³

Rozpoczniemy od krótkiego zaprezentowania wyników wieloletnich badań prowadzonych w Krakowie przez zespół prof. Jędrychowskiego [16, 17, 18], które to badania z oczywistych powodów są dla nas szczególnie istotne.

Zanieczyszczenie powietrza a rozwój umysłowy dzieci

Wpływ wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i pyłu zawieszony - badania grup Jędrychowskiego i Perery

Kraków

W trwającym od roku 2000 projekcie, kierowanym przez prof. Wiesława Jędrychowskiego z Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego⁴ badano grupę kilkuset kobiet z Krakowa i ich dzieci, poczynając od drugiego lub trzeciego trymestru ciąży [16, 17, 18].

W ramach omawianego projektu badawczego mierzono indywidualną ekspozycję na wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) i pył zawieszony PM_{2.5} [17]. Pomiary te dostarczyły bardzo cennych danych, uzupełniając informacje dostępne z trzech krakowskich stacji pomiarowych

¹Wpływowi zanieczyszczenia powietrza na układ oddechowy i układ krążenia poświęcimy osobny artykuł.

²Ogromna większość prac, na których opieraliśmy się pisząc ten tekst, pochodzi z ostatnich dziesięciu lat, kilka zaś kluczowych - z ostatnich trzech lat (2011-13). Naturalne jest zatem przypuszczenie, że informacje które zostaną tu podane nie są znane nie tylko urzędnikom i politykom, ale także specjalistom od ochrony środowiska, energetyki i transportu, a nawet, być może, większości lekarzy.

³Inspiracją do napisania niniejszego artykułu był m.in. podobny przeglądowy artykuł w języku angielskim [15]. Duża część omawianych tu prac to właśnie pozycje tam wzmiankowane (choć bez podania dokładnych referencji).

⁴W badaniach uczestniczył Zakład Epidemiologii, Katedry Epidemiologii i Medycyny Zapobiegawczej CM UJ oraz Fundacja Zdrowie i Środowisko wspólnie z Columbia University w Nowym Jorku.

[19]. Wyniki indywidualnego monitoringu ww. zanieczyszczeń wyraźnie wskazują, iż:

1. Badane osoby były narażone na wysokie bądź bardzo wysokie stężenia zarówno $PM_{2.5}$ (więcej niż 20% badanych na średnie stężenia powyżej $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$), jak i WWA.
2. Ekspozycja na zanieczyszczenia była wyższa w centrum miasta, niż na jego obrzeżach.
3. Stężenie $PM_{2.5}$ i WWA było istotnie wyższe w sezonie grzewczym.

Poza pomiarem indywidualnej ekspozycji, dodatkowo, jak podają autorzy [16], *Przy porodzie pobierano krew pępowinową i krew matki do analiz toksykologicznych (addukty WWA-DNA, kotinina, metale ciężkie)*. Postępowanie takie umożliwia niezależną ocenę ekspozycji na WWA, gdyż: *Absorbowane przez organizm związki WWA, a dokładnie benzo[a]piren (BaP), tworzą z materiałem genetycznym (DNA) addukty i ich stężenie we krwi jest traktowane jako dozometr dawki BaP pochłoniętej przez człowieka.*⁵

Wyniki krakowskich badań pokazują wyraźnie, że im większa ekspozycja matki na pył zawieszony i WWA w czasie ciąży, tym mniejsza waga urodzeniowa, wzrost, pojemność płuc i obwód główki noworodka. Przekłada się to m.in. na słabszy rozwój intelektualny oraz słabsze funkcjonowanie układu odpornościowego w wieku późniejszym (m.in. zwiększone ryzyko występowania astmy i infekcji dróg oddechowych). Autorzy podkreślają też szczególne narażenie rozwijającego się płodu (szkodliwe substancje mogą bowiem przenikać poprzez barierę łożyskowo-naczyniową), jak i nowo narodzonych dzieci. Jak piszą dalej autorzy: *Sily obronne ustroju na pewno są mniejsze w pewnych grupach populacyjnych (dzieci i osoby w starszym wieku)*.

Jeśli chodzi o upośledzenie rozwoju intelektualnego, Autorzy piszą: *... dzieci narażone na wyższe stężenia WWA (powyżej $18 \text{ ng}/\text{m}^3$), uzyskiwały gorsze wyniki w porównaniu z rówieśnikami, którzy byli narażeni na niższe stężenia. Różnica ta orientacyjnie jest porównywalna z deficytem 3.8*

⁵Benzo[a]piren, traktowany jako reprezentatywny przedstawiciel grupy ośmiu WWA, monitorowanych w omawianym projekcie badawczym (a także w równoległym projekcie badawczym w Nowym Jorku [20]), jest substancją o bardzo silnych własnościach mutagennych i kancerogennych [25]. Stężenie benzo[a]pirenu w powietrzu na obszarze aglomeracji Krakowa jest szczególnie wysokie (stężenie średnioroczne rzędu $10 \text{ ng}/\text{m}^3$), co przekłada się na ekspozycję na B[a]P porównywalną z ekspozycją wynikającą z czynnego palenia tytoniu. Głównym źródłem B[a]P i innych WWA jest w przypadku naszego miasta niska emisja powierzchniowa, czyli indywidualne źródła ciepła opalane węglem bądź biomasą.

punktów na skali ilorazu inteligencji. Trzeba podkreślić, że w analizie skutków oddziaływania węglowodorów aromatycznych na rozwój umysłowy dzieci uwzględniono także inne czynniki, które mogą mieć wpływ na rozwój dziecka, jak czas trwania i przebieg ciąży, ekspozycję na dym tytoniowy, związki ołowiu i rtęci. Również sytuacja społeczno-ekonomiczna rodziny, płeć dziecka, liczba starszego rodzeństwa, a także inteligencja matki zostały uwzględnione.

Przytoczyliśmy powyższy cytat, aby podkreślić, że strata 3.8 punktów w skali IQ nie odnosi się do grupy kontrolnej nie narażonej na ekspozycję na WWA, lub narażonej jedynie w stopniu nieznacznym (takiej grupy dzieci zresztą nie dało by się w Polsce łatwo znaleźć, zwłaszcza w Małopolsce czy na Śląsku), tylko do grupy, w której występują stężenia nawet tak stosunkowo wysokie jak przytoczone 18 ng/m^3 . W porównaniu z dziećmi żyjącymi w idealnie czystym środowisku, i mogących w pełni rozwinąć swoje wrodzone zdolności umysłowe, ubytek inteligencji wśród dzieci krakowskich jest więc zapewne znacznie wyższy.

W dodatku, w latach 2000-2004, kiedy prowadzono pomiary, stężenia zarówno pyłu zawieszonego jak i WWA były wyraźnie niższe niż w ostatnich latach. Należy zatem przypuszczać, że obecnie wpływ zanieczyszczeń na zdrowie dzieci jest niestety silniejszy.

Nowy Jork

Z badaniami krakowskimi, omówionymi powyżej, związane były wieloletnie badania wpływu ekspozycji kobiet w ciąży na wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne prowadzone w Nowym Jorku (grupa badawcza z Columbia University, kierowana przez współpracującą z prof. Jędrychowskim prof. Pererę, patrz [20] oraz inne prace Perery i współpracowników tam cytowane).

Podobnie jak w Krakowie, badano zarówno indywidualną ekspozycję matek na WWA, jak i krew pępowinową na obecność adduktów DNA. Wyniki badań nowojorskich są zasadniczo zbieżne z wynikami dla Krakowa, przytoczonymi powyżej.⁶

⁶Przytoczone badania krakowskie i nowojorskie nie są oczywiście jedynymi badaniami wpływu zanieczyszczenia powietrza na rozwój dzieci w okresie prenatalnym. Epidemiolodzy dysponują znaczną liczbą dowodów na związek między zanieczyszczeniem powietrza a niską wagą urodzeniową, i wszystkimi związanymi z tym lub współwystępującymi konsekwencjami, a także ilością poronień, wcześniactwem czy wreszcie częstością występowania wad wrodzonych u noworodków (patrz [21, 22] i prace tam cytowane). W szczególności, w pracy [21] pokazano korelację między stężeniem pyłu zawieszonego $\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10} a niską wagą urodzeniową noworodków. Jak można przewidzieć, wpływ tej samej masy drobniejszych frakcji pyłu ($\text{PM}_{2.5}$) jest większy, niż dla PM_{10} . Analizie poddano bardzo dużą liczbę (ok 3 mln.) przypadków z miast wchodzących w skład sieci ICAPPO (International

I tak, w pracy [20] zbadano szkodliwy wpływ WWA na rozwój zdolności poznawczych, umiejętność uczenia się oraz zachowanie dzieci w wieku 6-7 lat. Stwierdzono istotny związek między ekspozycją na WWA a poziomem niepokoju, zachowań depresyjnych, oraz problemami z uwagą i koncentracją.

Wcześniejsze prace Perery i współpracowników dotyczące tej samej grupy (kohorty) dzieci wskazują z kolei na związek między ekspozycją na WWA a opóźnieniem rozwojowym na etapie trzeciego roku życia [23], oraz obniżonym ilorazem inteligencji (IQ) w wieku lat pięciu [24].

Należy także podkreślić, że średnie stężenie roczne WWA (ang. PAH) w aglomeracji nowojorskiej jest znacznie niższe niż w Krakowie (... *the air concentrations of PAH in the Polish study were 10 times higher than in the NYC cohort (Jedrychowski et al. 2005).* [20]).⁷

Biologiczne mechanizmy szkodliwego oddziaływania pyłu zawieszonego na układ nerwowy

Badania prowadzone zarówno na zwierzętach, jak i na ludziach pokazują, że drobne i najdrobniejsze cząstki pyłu zawieszonego (ang. *fine particles, ultrafine particles*) mogą przedostawać się z płuc poprzez układ krążenia do mózgu, serca, wątroby, nerek czy śledziony (zobacz [26] i prace tam cytowane). Jak piszą autorzy [16]: *Stwierdzono, że pyły o średnicy 0.1 μm przenikają z pęcherzyków płucnych do naczyń krwionośnych i wraz z krwią dostają się do różnych narządów i tkanek; mogą też przenikać poprzez barierę łożyskowo-naczyniową do płodu.*

Badania laboratoryjne

Bardzo drobne cząstki⁸ węgla znaczone radioaktywnym izotopem ¹³C znajdowano w mózgach (zarówno w kresomózgowiu, jak i w mózgdzku) szczurów wcześniej poddanych ekspozycji na takie cząstki [27]. Autorzy stwierdzają, że cząstki węgla najprawdopodobniej przedostają się do mózgu za pośrednictwem nerwu węchowego.

Collaboration on Air Pollution and Pregnancy Outcomes), [22].

⁷Szczyściem w nieszczęściu dla mieszkańców Krakowa, zwłaszcza tych najmłodszych, jest ciekawy fakt, iż Europejczycy rasy białej są bardziej odporni na szkodliwe działanie WWA niż Afroamerykanie, badani w Nowym Jorku [18]. Nie zmienia to jednak oczywiście oceny sytuacji w Krakowie, która jest dramatyczna (normy stężeń WWA przekroczone ok. 10-krotnie).

⁸Przez *cząstki* rozumiemy tu oczywiście klastry atomów, inny termin którego być może należało by używać to *nanocząstki*.

Z kolei w badaniach Fonken i współpracowników [28] jedna z dwóch grup myszy (samców) była przez okres dziesięciu miesięcy poddawana działaniu powietrza zanieczyszczonego pyłem zawieszonym PM_{2.5} o dość dużym stężeniu (średnio 94.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ale tylko przez 6 godzin dziennie i 5 dni w tygodniu, a uśrednione po 10-miesięcznym okresie badania stężenie miało wartość 16.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.⁹ Drugiej (kontrolnej) grupie myszy podawano powietrze czyste (filtrowane).

Myszy poddane działaniu zanieczyszczonego powietrza, w porównaniu do grupy kontrolnej wykazywały zaburzenia pamięci i orientacji przestrzennej oraz nasilone zachowania o charakterze depresyjnym. Co więcej, u myszy z pierwszej grupy w hipokampie, obszarze mózgu odpowiedzialnym za pamięć, zdolność uczenia się i orientację przestrzenną, zaobserwowano ekspresję cytokin pro-zapalnych oraz zmiany anatomiczne.

Badania prowadzone w aglomeracji Meksyku (Ciudad de México)

Szczególnie interesujące, choć w naszej opinii także bardzo przygnębiające, są wyniki badań nad wpływem zanieczyszczeń na układ nerwowy dzieci i psów, prowadzonych w mieście Meksyk (zobacz [29] i prace tam cytowane).

Badania obejmowały 73 zdrowych¹⁰ dzieci (średnia wieku 10.5 roku) i pewną ilość zdrowych, młodych psów z miasta Meksyk i miasta kontrolnego (Polotitlán), o znacznie mniejszym poziomie zanieczyszczenia powietrza.¹¹

Mózgi zarówno dzieci, jak i psów badano za pomocą obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (MRI). Dodatkowo, mózgi psów poddane zostały badaniu histopatologicznemu. U 56 % dzieci i bardzo podobnej liczby psów

⁹W Krakowie przez większą część sezonu grzewczego 6-godzinne stężenie PM_{2.5} znacznie przekracza pierwszą z podanych wartości (zazwyczaj w godzinach wieczornych, w nocy i nad ranem, lecz nierzadko przez całą dobę), a osiągnięcie średniej dziennej tak niskiej jak 16.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ praktycznie się nie zdarza.

¹⁰W szczególności bez otyłości, czynników ryzyka w kierunku chorób neurologicznych czy zaburzeń umysłowych.

¹¹Miasto Meksyk jest częścią ogromnej, ponad 20-milionowej aglomeracji, a położenie w kotlinie i znaczne natężenie ruchu kołowego powoduje że mieszkańcy narażeni są na przez cały rok smog typu *Los Angeles*, i związane z nim wysokie stężenia pyłu zawieszonego, ozonu (O₃), tlenków azotu (NO_x) i innych zanieczyszczeń, choć w ciągu ostatnich dwóch dekad (od roku 1990) nastąpiła znaczna poprawa jakości powietrza. Warto w tym miejscu zauważyć, że jeśli chodzi o pył zawieszony, obecnie sytuacja w mieście Meksyk jest najprawdopodobniej **lepsza** niż w Krakowie (autorzy podają średnie roczne stężenie PM_{2.5} równe 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli znacznie niższe niż krakowskie [19]). Nie chcemy przez to stwierdzić, że ogólny stan powietrza w aglomeracji Meksyku też jest lepszy (choć jest to możliwe), chcemy jedynie po raz kolejny zwrócić uwagę, z jak poważną sytuacją mamy do czynienia w Krakowie, i w wielu innych miejscach w południowej Polsce.

(57%) z miasta Meksyk zaobserwowano zmiany anatomiczne o charakterze patologicznym w obszarze kory przedczołowej. U psów z miasta Meksyk badania histologiczne wykazały obecność stanu zapalnego, powiększenie przestrzeni Virchowa-Robina, glejozę oraz depozycję w mózgu cząstek pyłu zawieszonego. Jeśli ktoś byłby sceptyczny, na ile wyniki badań wykonanych na psach można odnieść do ludzi, autorzy [29] podkreślają, że we wcześniejszych pracach wykazali podobieństwo efektów zdrowotnych ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza u ludzi i psów (*We have previously demonstrated that health effects from air pollution in dogs mimic similar effects in humans*).

W świetle powyższych informacji, nie powinno nas dziwić, że w porównaniu z grupą dzieci z Polotitlán, miasta o niskim poziomie zanieczyszczeń, dzieci z miasta Meksyk wypadły gorzej w testach psychometrycznych, którym były poddane wszystkie dzieci biorące udział w badaniach, oraz że w przeciwieństwie do dzieci z Polotitlán, dzieci z Meksyku wykazywały zauważalne opóźnienie w stosunku do normalnego rozwoju umysłowego, właściwego dla ich wieku metrykalnego.

Psy z miasta Meksyk badano także w pracy [30]. Badania histologiczne wykazały obecność przewlekłego stanu zapalnego mózgu, a także zmiany o charakterze patologicznym, zbliżone do tych, jakie obserwujemy przy chorobie Alzheimera. Pozwolimy sobie tu zacytować bez tłumaczenia jedno zdanie ze wstępu ww. pracy: *Neurodegenerative disorders such as Alzheimer's may begin early in life with air pollutants playing a crucial role.*

Również w pracy [31] wykazano, że ekspozycja na drobne cząstki pyłu zawieszonego podnosi poziom cytokin pro-zapalnych w tkance mózgowej (w tym wypadku u myszy), co może przyczyniać się do powstawania chorób neurodegeneracyjnych (choroba Parkinsona, choroba Alzheimera).

Z kolei w pracy [32] pokazano, że przewlekły proces zapalny tkanki mózgowej może mieć kluczowy związek z patogenezą choroby Alzheimera.

Badania epidemiologiczne w USA i Chinach

Boston, USA

Świadomość istnienia przyczynowo-skutkowego mechanizmu oddziaływania pyłu zawieszonego na układ nerwowy (patrz prace cytowane powyżej), skłoniła autorów pracy [26] do zbadania związku pomiędzy ekspozycją na drobną frakcję pyłu zawieszonego (*ultrafine particles*) pochodzenia komunikacyjnego

(BC, *black carbon*¹²) a zdolnościami poznawczymi dzieci w wieku 8-11 lat. Poddano ponownej analizie dane zebrane w ramach trwającego w latach 1986-2001 projektu badawczego obejmującego grupę ok. dwustu dzieci z Bostonu, USA. Ekspozycję na pył zawieszony osób badanych oszacowano na podstawie miejsca zamieszkania i danych ze stacji monitoringu używając modelu, w którym brano pod uwagę m.in. warunki meteorologiczne, natężenie ruchu kołowego, odległość do najbliższej ruchliwej ulicy, dzień tygodnia.

Wykazano związek między podwyższoną ekspozycją na drobną frakcję pyłu zawieszzonego a upośledzeniem funkcji poznawczych, pamięci, oraz inteligencji tak werbalnej jak i niewerbalnej. Należy podkreślić, że jak zwykle w tego typu badaniach, uwzględniono wpływ wielu potencjalnie interferujących czynników (m.in. czynniki socjodemograficzne, w tym grupa etniczna, obecność męża lub partnera matki itd., waga urodzeniowa, poziom ołowiu we krwi, i ekspozycja na dym tytoniowy). Dzieci badane były m.in. za pomocą testu inteligencji Kaufmana (*Kaufman Brief Intelligence Test*), a jedno z badań (co ważne z pkt. widzenia dyskusji o przyczynach dysleksji) obejmowało badanie zasobu słów (ang. *vocabulary*).

Autorzy podkreślają, że zaobserwowany wpływ ekspozycji na drobną frakcję pyłu zawieszzonego na obniżenie ilorazu inteligencji (IQ) jest porównywalny z wpływem podwyższonego (o 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$) poziomu ołowiu we krwi (utrata do 5 pkt. IQ) lub paleniem przez matkę 10 lub więcej papierosów w czasie ciąży (4 pkt. IQ).

Michigan, USA

Z kolei w pracy [33] badano związek między poziomem zanieczyszczeń powietrza pochodzenia przemysłowego w pobliżu szkół, a wynikami w nauce. Przebadano 3660 szkół, od podstawowych po średnie, w stanie Michigan, USA. Okazało się, że w szkołach położonych w miejscach, gdzie zanieczyszczenie powietrza było wyższe, uczniowie częściej bywali nieobecni na zajęciach (wyższy poziom absencji), co zdaniem autorów może świadczyć o potencjalnie gorszym stanie zdrowia uczniów. W dodatku, wyższe zanieczyszczenie powietrza przekładało się na gorsze wyniki w testach i egzaminach (brano pod uwagę wyniki egzaminów z matematyki i języka angielskiego, a ściślej, procent uczniów, którzy nie zdobyli wymaganego minimum z tych dwu przedmiotów). Podkreślmy po raz kolejny, że jak zwykle ma to miejsce, autorzy uwzględnili wpływ potencjalnie zakłócających czynników, takich jak

¹²Drobne cząstki sadzy; głównym (przynajmniej w realiach amerykańskich i zachodnio-europejskich) źródłem takich cząstek są spaliny emitowane przez silniki dieslowskie.

położenie szkoły na obszarze wielkomiejskim, podmiejskim (przedmieścia) lub wiejskim, wydatki na ucznia i inne czynniki socjoekonomiczne.

Autorzy [33] sugerują, że poziom zanieczyszczenia powietrza w miejscu gdzie znajduje się lub jest lokowana szkoła, powinien spełniać określone wymagania (zapewne określone prawnie), co w chwili pisania [33] nie miało miejsca w stanie Michigan.

Quanzhou, Chiny

W pracy [34] badano ponad 800 dzieci z klas drugich (8–9 lat) i trzecich (9–10 lat) dwu szkół podstawowych w mieście Quanzhou (ChRL). Szkoła A ulokowana była w okolicy określonej w pracy jako czysta, szkoła B - w okolicy zanieczyszczonej. Monitorowano stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych (dwutlenek azotu, NO_2 i pył zawieszony¹³ PM_{10}). Badano stężenie zanieczyszczeń nie tylko na zewnątrz, ale również w salach lekcyjnych. Średnie stężenie NO_2 w otoczeniu szkół A i B wynosiło 7 i $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, odpowiednio.

Nie powinno być dla nas niespodzianką, że nawet po uwzględnieniu czynników potencjalnie zakłócających przebieg badania, wyniki dzieci ze szkoły B były gorsze we wszystkich przeprowadzonych testach, a w 6 na 9 przeprowadzonych testów wyniki były statystycznie znaczące.¹⁴

Autorzy [34] podkreślają znaczący związek między przewlekłą ekspozycją nawet na stosunkowo niskie stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych a funkcjonowaniem układu nerwowego dzieci, oraz fakt, że potrzebne są dalsze tego typu badania.

Wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na sprawność umysłową osób starszych

W świetle przytoczonych powyżej badań, naturalne wydaje się być pytanie o wpływ długoletniej ekspozycji na pył zawieszony na sprawność umysłową osób w podeszłym wieku.

¹³ Ja piszę sami autorzy, zapewne lepszym wskaźnikiem zanieczyszczeń komunikacyjnych byłby $\text{PM}_{2.5}$, niestety pomiary takie nie były w Quanzhou dostępne. Niemniej, stężenie PM_{10} wraz ze stężeniem NO_2 dostarcza również istotnych informacji o natężeniu ruchu kołowego.

¹⁴ Autorzy piszą: *... after controlling the potential confounding factors ... differences in results for six of nine tests (66.7%) achieved statistical significance: Visual Simple Reaction Time with preferred hand and with nonpreferred hand, Continuous Performance, Digit Symbol, Pursuit Aiming, and Sign Register.*

Mając to na uwadze, w pracy [35] przeanalizowano wpływ drobnych cząstek węgla (BC¹⁵, sadza dieslowska), typowego zanieczyszczenia komunikacyjnego, na funkcje poznawcze grupy 680 mężczyzn (średnia wieku 71 lat) z obszaru metropolitalnego tzw. Wielkiego Bostonu (ang. *Greater Boston*). W latach 1996-2007 członków tej grupy poddawano różnorodnym testom oceniającym ich zdolności poznawcze.

Z kolei poziom ekspozycji na pył zawieszony w miejscu zamieszkania osób badanych oszacowano używając wyrafinowanego modelu, uwzględniającego dane z 83 stacji pomiarowych, podobnie jak w przytoczonych wcześniej badaniach grupy dzieci z Bostonu badanych w pracy [26].

Okazało się, iż zwiększona ekspozycja na pył zawieszony wiązała się w sposób istotny z gorszymi wynikami testów, m.in. z wyższym ryzykiem wystąpienia niskiej oceny w teście MMSE (*Mini-Mental State Examination*). Autorzy podają, że pogorszenie sprawności umysłowej zależało w przybliżeniu liniowo od logarytmu ze stężenia pyłu, a dwukrotnie większa ekspozycja odpowiadała różnicy wieku równej 1.9 roku (co można interpretować po prostu jako odpowiednio szybsze starzenie się układu nerwowego u osoby narażonej na wyższe stężenia zanieczyszczeń).

Podobny cel przyświecał autorom pracy [36], w której przebadano ponad 19 tys. kobiet w wieku 70-81 lat. W przeciwieństwie do pracy [35], badano wpływ już nie tylko najdrobniejszej frakcji pyłu, będącego jak wspomniano głównym składnikiem pyłu zawieszonego pochodzenia komunikacyjnego, ale tzw. *fine particles*, czyli PM_{2.5}, oraz *coarse particles*, PM_{2.5-10}, tj. cząstki o rozmiarach pomiędzy 2.5 a 10 μm (różnica pomiędzy PM₁₀ a PM_{2.5}). Podobnie jak w pracy [35], ekspozycję na zanieczyszczenia powietrza oszacowano używając wyników wieloletnich pomiarów stężeń pyłu zawieszonego. Ponownie, wyższy poziom ekspozycji na pył zawieszony, i to zarówno na PM_{2.5}, jak i na PM_{2.5-10}, związany był z istotnie szybszym pogorszeniem funkcji poznawczych u badanych osób. Według autorów, różnica w długoterminowej ekspozycji na pył zawieszony równa 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jeśli chodzi o zdolności poznawcze, odpowiada dwuletniej różnicy wieku.

Dodajmy, za autorami [35], że pogorszenie sprawności intelektualnej osób starszych wiąże się w oczywisty sposób ze zmniejszeniem lub utratą ich samodzielności, większą liczbą koniecznych hospitalizacji, częstszą koniecznością opieki pielęgniarstwa (czy to w domu pacjenta, czy w wyspecjalizowanych ośrodkach, w realiach polskich takich jak Zakłady Opiekuńczo-Lecznice czy Domy Pomocy Społecznej), a w końcu ze zwiększoną śmier-

¹⁵Wzmiankowany już, nie posiadający zgrabnego polskiego odpowiednika angielski termin *black carbon*.

telnością.

Na koniec warto wspomnieć, że zanieczyszczenie powietrza może też nasilać objawy depresji u osób starszych [37]. Mianowicie, badania prowadzone na grupie ponad pięciuset osób w Seulu (Korea) wykazały istotny związek między zwiększonymi stężeniami pyłu zawieszonego PM_{10} , dwutlenku azotu (NO_2) i ozonu (O_3) a symptomami depresji. Co ciekawe, szczególnie silne było oddziaływanie zanieczyszczonego powietrza na sferę emocjonalną badanych osób, zaś wpływ na symptomy somatyczne i sferę afektywną był słabszy.

Inne wybrane przykłady wpływu zanieczyszczeń powietrza na układ nerwowy u osób dorosłych

W pracy [38] pokazano, że istnieje statystycznie istotna zależność między stężeniem zanieczyszczeń takich jak tlenek węgla, dwutlenek azotu, dwutlenek siarki czy pył zawieszony PM_{10} , a liczbą prób samobójczych w Vancouver (Kanada). Podobna zależność istnieje pomiędzy stężeniem ww. zanieczyszczeń a liczbą przypadków depresji zgłaszanych w izbach przyjęć [39] (dane z sześciu miast kanadyjskich).

Z kolei w pracy [40] przeanalizowano zależność między poziomem industrializacji danej okolicy a samopoczuciem mieszkańców. Okazuje się, że mieszkańcy obszarów bardziej zindustrializowanych wykazują mniejszy poziom optymizmu i dobrego samopoczucia (co nie jest bardzo zaskakujące), niezależnie od rodzaju przemysłu. Jednak, co ciekawe, w obszarach o wysokim poziomie zanieczyszczenia powietrza notowano szczególnie wysoki poziom depresji i niepokoju.

Podsumowanie i komentarz

Jako że zanieczyszczenie powietrza to problem nie tylko zdrowotny, ale i społeczny, ekonomiczny, a także etyczny, pozwolimy sobie w tym miejscu na skomentowanie wyników przytoczonych badań, w odniesieniu do sytuacji w Polsce, a w szczególności do sytuacji w Krakowie.

Sytuacja w Krakowie na tle innych miast Europy i Świata

Wielokrotnie w niniejszym artykule podkreślaliśmy, jak bardzo zanieczyszczonym miastem jest Kraków.¹⁶ Z wyjątkiem chińskiego miasta Quanzhou, w Krakowie poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym i WWA jest wyższy, niż w jakimkolwiek z miejsc wymienionych w tym artykule, łącznie z miastem Meksyk. Stężenie tlenków azotu, typowego zanieczyszczenia komunikacyjnego, jest również bardzo wysokie, i w dodatku z roku na rok rośnie [19].¹⁷ Kraków jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych miast w Europie, i prawdopodobnie najbardziej zanieczyszczoną aglomeracją Unii Europejskiej. Jeśli chodzi o jakość powietrza, zwłaszcza w zimie, Kraków jest w istocie bliższy miastom chińskim, niż zachodnioeuropejskim.

Niska emisja powierzchniowa

W przypadku Krakowa, ogromna część pyłu zawieszonego oraz większość emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) pochodzi z tzw. niskiej emisji powierzchniowej, czyli pieców domowych opalanych węglem, biomasą, a nierzadko i tworzywami sztucznymi.¹⁸ Dodajmy, że na brak poprawy stanu krakowskiego powietrza w ostatnich latach wpływa także powrót wielu mieszkańców do ogrzewania węglem. Zjawisko to najwyraźniej niweluje efekt ekologiczny związany z równoległą powolną (i nieskuteczną) redukcją niskiej emisji, prowadzoną od lat przez Władze Krakowa.

Już same tylko wyniki badań grup Jędrzychowskiego i Perery [16, 17, 18, 20, 23, 24], dobitnie pokazujących ogromną szkodliwość WWA i pyłu zawieszonego na rozwój dzieci, także w okresie prenatalnym, wystarczają, w naszej opinii, do uzasadnienia jak najszybszej likwidacji niskiej emisji powierzchniowej.

¹⁶Będziemy tu mówić o Krakowie, ale podobna sytuacja występuje w wielu miejscowościach w Małopolsce i na Śląsku, w szczególności np. w Skawinie, Nowym Sączu, Suchej Beskidzkiej, Zakopanem, Zabrze, Rybniku i wielu innych.

¹⁷W Krakowie zdarzają się stężenia PM_{10} tak wysokie jak $1229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (17 stycznia 2006 roku, Aleja Krasińskiego, godzina 19sta) [19]. Warto zauważyć, że w przeliczeniu na $PM_{2.5}$ daje to $0.8 \times 1229 \approx 983 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gdyż przyjęty dla Krakowa współczynnik konwersji stężenia pyłu PM_{10} na $PM_{2.5}$ wynosi 0.8 [41]. Dla porównania, w Pekinie, jednym z najbardziej zanieczyszczonych miast świata, ok. 13 stycznia 2013 roku miał miejsce najpoważniejszy zanotowany do tej pory przypadek zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym, szeroko komentowany przez światowe media [42]. Maksymalne zarejestrowane w Pekinie stężenie $PM_{2.5}$ to $866 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [43].

¹⁸Problem spalania odpadów nie został poruszony w niniejszym artykule, niemniej jest to problem bardzo poważny. Wśród produktów niecałkowitego spalania tworzyw sztucznych zawierających chlor (PCV) znajdują się tzw. dioksyne, niezwykle szkodliwe związki, wykazujące silny charakter mutageny, kancerogeny i znaczną neurotoksyczność.

Dodatkowo, pył zawieszony jest w Krakowie także przyczyną kilkuset przedwczesnych zgonów rocznie [14].

Zanieczyszczenia komunikacyjne

Bardzo poważny wpływ na zdrowie mieszkańców Krakowa ma (i niestety prawdopodobnie jeszcze długo będzie mieć) wzrost w ostatnich dwu dekadach (zwłaszcza po roku 2004) liczby pojazdów spalinowych,¹⁹ w szczególności tych z silnikiem diesla. To ostatnie zjawisko ma zresztą zasięg ogólnopolski, a dodatkowo dobrze wiadomo, że średnia wieku aut w Polsce jest bardzo wysoka (powyżej 15 lat, patrz np. [44]), zaś ich stan techniczny, w tym poziom emisji spalin, jest często bardzo zły. Nie pomaga tu też bliskość Niemiec, skąd tanio sprowadzamy stare samochody, które nie mają już prawa jeździć po tamtejszych drogach.

Z drugiej strony, powszechny jest też niestety proceder wymontowywania filtrów cząstek stałych (DPF, *Diesel particulate filter*) z nowych samochodów z napędem diesla. Proszę wpisać w wyszukiwarkę "*demontaż DPF*", znajdą Państwo ogromną ilość ogłoszeń, gdzie ten proceder reklamuje się bez cienia wstydu czy poczucia robienia czegoś niewłaściwego, prawdopodobnie (przynajmniej chcielibyśmy w to wierzyć...) z powodu braku elementarnej wiedzy na temat wysokiej szkodliwości spalin dieslowskich.

Podkreślmy raz jeszcze, że silniki dieslowskie (o ile nie są to nowe silniki wyposażone w sprawny filtr DPF) są najprawdopodobniej głównym, a na pewno bardzo istotnym źródłem najdrobniejszych cząstek pyłu zawieszonego (o średnicy poniżej $0.1 \mu\text{m}$, czyli 100 nm), których wybitnie szkodliwe oddziaływanie na organizm ludzki, w szczególności na układ nerwowy, zostało przedstawione m.in. w pracach [26, 28, 29, 30, 31, 32, 35].

Poza pyłem zawieszonym, bardzo poważnym zagrożeniem dla zdrowia mieszkańców Krakowa jest też wysokie stężenie tlenków azotu.²⁰

Zanieczyszczenia przemysłowe

Ważnym źródłem zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza pyłem zawieszonym, jest też przemysł (huty, elektrownie). W przypadku Krakowa, obok przemysłu lokalnego, niezwykle istotny jest napływ zanieczyszczeń ze Śląska. Choć potencjalnie najłatwiejsze do kontroli i redukcji (np. poprzez stosowanie bardziej skutecznych filtrów), zanieczyszczenia powietrza pochodzące

¹⁹Warto zauważyć, że liczba aut przypadająca w Krakowie na jednego mieszkańca jest znacznie wyższa niż np. w Monachium, Dreźnie czy Berlinie.

²⁰Wpływ tlenków azotu na układ oddechowy (astma, przewlekła obturacyjna choroba płuc) zostanie omówiony w osobnym artykule.

z przemysłu wciąż stanowią poważny problem w wielu miejscach w Polsce (porównaj np. wyniki badań nad wpływem zanieczyszczeń przemysłowych na dzieci w wieku szkolnym, przedstawione w pracy [33]).

Koszty społeczne i ekonomiczne

W obecnych czasach największy kapitał każdego kraju to umysły jego obywateli. Widzimy, że zanieczyszczenie powietrza może poważnie upośledzać zdolności umysłowe dzieci i młodzieży. O wybitnie negatywnych skutkach takiego zjawiska, zwłaszcza w sytuacji, gdy szybkie i efektywne uczenie się decyduje o powodzeniu jednostki na rynku pracy, a stan nauki akademickiej i tzw. innowacyjność gospodarki - o pozycji danego kraju na arenie międzynarodowej, nie trzeba chyba nikogo przekonywać.

Z drugiej strony, wyniki badań przedstawione w pracach [35, 36] dają pewne pojęcie o ogromnych kosztach tak społecznych, jak i ekonomicznych, jakie ponosimy w związku z wpływem zanieczyszczenia powietrza na obniżenie sprawności umysłowej i wynikający stąd brak samodzielności osób w podeszłym wieku. W przypadku Krakowa bowiem oznacza to przyspieszenie procesów neurodegeneracyjnych, procesu uwiędnięcia zdolności poznawczych średnio o wiele lat (nawet o dekadę), [19, 36]. W perspektywie występującego od dawna procesu starzenia się społeczeństwa jest to wizja tym bardziej ponura.

Truizmem jest stwierdzenie, że łatwiej (i taniej) jest zapobiegać niż leczyć. Mamy zatem nadzieję, że ktoś w końcu policzy, oszacuje prawdziwe koszty zanieczyszczenia powietrza, i że w konsekwencji wkrótce doczekamy się skutecznych działań zmierzających do redukcji poziomu zanieczyszczeń.

Prośba do Czytelnika

Ze względu na bardzo poważne implikacje zdrowotne i społeczne problemu zanieczyszczenia powietrza, zwracamy się do Czytelnika z gorącą prośbą o rozpowszechnianie i udostępnianie, w miarę możliwości, informacji omówionych w niniejszym przeglądowym artykule. Jedynie przy odpowiednio wysokiej świadomości wagi zagrożenia, zwłaszcza wśród polityków i urzędników, możliwe jest szybkie i skuteczne działanie na rzecz poprawy jakości powietrza w Polsce, w szczególności w Małopolsce, na Śląsku i w obrębie dużych aglomeracji.

Zachęcamy również do sięgnięcia po cytowane w tekście prace oryginalne.

Podziękowania

Powstanie tej pracy nie byłoby możliwe bez pomocy Magdaleny Kozłowskiej. Oczywiście, wszelkie ewentualne błędy i niedoskonałości (np. w tłumaczeniu angielskich terminów medycznych) są wyłącznie winą autora. Autor chciałby także podziękować za pomoc Magdalenie Targosz-Gajniak, Marciniowi Abramowi, Wiktorowi Jaworskiemu oraz Adamowi Łączkowi.

Adres do korespondencji:

jakub.s.jedrak@gmail.com

Literatura

- [1] Luke Clancy, Pat Goodman, Hamish Sinclair, Douglas W Dockery, *Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study*, Lancet 2002; **360**: 1210–14.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12401247>
- [2] Heinrich J, Thiering E, Rzehak P, Krämer U, Hochadel M, Rauchfuss KM, Gehring U, Wichmann HE.: *Long-term exposure to NO2 and PM10 and all-cause and cause-specific mortality in a prospective cohort of women*, Occup Environ Med. 2013 Mar;70(3):179-86. doi: 10.1136/oemed-2012-100876. Epub 2012 Dec 8.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23220504>
- [3] Laura Perez et al.: *Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network)*

<http://erj.ersjournals.com/content/early/2013/03/20/09031936.00031112.abstract>
- [4] Rob McConnell et al.: *Childhood Incident Asthma and Traffic-Related Air Pollution at Home and School*, Environ Health Perspect. 2010 July; 118(7): 1021–1026.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2920902/>

- [5] Francine Laden, Joel Schwartz, Frank E. Speizer, and Douglas W. Dockery: *Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study*, Am J Respir Crit Care Med Vol **173**. pp 667–672, 2006.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16424447>

- [6] Denissenko M. F., Pao A., Tang M., Pfeifer G. P: *Preferential formation of benzo[a]pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53*, Science 1996 October 18; 274(5286): 430-2

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8832894>

- [7] Neupane B, Jerrett M, Burnett RT, Marrie T, Arain A, Loeb M.: *Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults*, Am J Respir Crit Care Med. 2010 Jan 1;181(1):47-53

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19797763?dopt=Abstract>

Zobacz także:

<http://infectious-diseases.jwatch.org/cgi/content/full/2010/113/2>

- [8] Zorana J. Andersen et al.: *Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Long-Term Exposure to Traffic-related Air Pollution*, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 183, No. 4 (2011), pp. 455-461.

<http://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/rccm.201006-09370C>

- [9] Tim S Nawrot, Laura Perez, Nino Künzli, Elke Munters, Benoit Nermery: *Public health importance of triggers of myocardial infarction: a comparative risk assessment*, The Lancet, Volume 377, Issue 9767, Pages 732 - 740, 26 February 2011.

<http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/>

[PIIS0140-6736%2810%2962296-9/abstract](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2810%2962296-9/abstract)

- [10] Mills NL, Donaldson K, Hadoke PW, Boon NA, MacNee W, Cassee FR, Sandström T, Blomberg A, Newby DE.: *Adverse cardiovascular effects of air pollution*, Nat Clin Pract Cardiovasc Med. 2009 Jan;6(1):36-44.
- www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19029991
- [11] Robert D. Brook et al.: *Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association*.
- <http://circ.ahajournals.org/content/121/21/2331.abstract>
- [12] Massimo Franchini, Pier Mannuccio Mannucci:
Thrombogenicity and cardiovascular effects of ambient air pollution,
Blood 2011 118:2405-2412
- <http://bloodjournal.hematologylibrary.org/content/118/9/2405.full>
- zobacz także: Gökhan M. Mutlu, Paul J. Bryce, and G. R. Scott Bunting: *Linking air pollution exposure with thrombosis*,
Blood 2011 118:2636-2637
- <http://bloodjournal.hematologylibrary.org/content/118/9/2636.full>
- [13] Kateryna Fuks et al.: *Long-term Urban Background Particulate Air Pollution Increases Arterial Blood Pressure*,
A48. AIR POLLUTION AND CARDIOVASCULAR DISEASE,
UPDATE ON MECHANISMS AND EPIDEMIOLOGY.
- http://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/ajrccm-conference.2010.181.1_MeetingAbstracts.A1712
- [14] J. Jędrak: *Wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na śmiertelność: analiza dla Krakowa*.
- <http://www.krakowskialarmsmogowy.pl/news/30/Wplyw-zanieczyszczenia-powietrza-pylem-zawieszonym-na-miertelno-c-analiza-dla-Krakowa>

- [15] Kirsten Weir: *Smog in our brains*.
<http://www.apa.org/monitor/2012/07-08/smog.aspx>
- [16] Wiesław Jędrychowski, Renata Majewska, Elżbieta Mróz, Elżbieta Flak i Agnieszka Kiełtyka: *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza drobnym pyłem zawieszonym i wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi w okresie prenatalnym na zdrowie dziecka. Badania w Krakowie*
http://www.malopolska.pl/Obywatel/EKO-prognozaMalopolski/Krakow/Documents/Zanieczyszczenia%20powietrza%20w%20Krakowie%20a%20zdrowie%20dzieci_final.pdf
- [17] Wiesław A. Jedrychowski, Frederica P. Perera, Agnieszka Pac, Ryszard Jacek, Robin M. Whyatt, John D. Spengler, Thomas S. Dumyahn, and Elżbieta Sochacka-Tatara:
Variability of total exposure to PM_{2.5} related to indoor and outdoor pollution sources. Krakow study in pregnant women,
Sci Total Environ. 2006 Jul 31; 366(1) pp. 47-54.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16139869>
- [18] Choi H, Jedrychowski W, Spengler J, Camann DE, Whyatt RM, Rauh V, Tsai WY, Perera FP.: *International studies of prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and fetal growth*,
Environ Health Perspect. 2006 Nov;114(11):1744-50.
- [19] Małopolska sieć monitoringu powietrza:
<http://monitoring.krakow.pios.gov.pl/iseo/>
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17107862>
- [20] Frederica P. Perera, Deliang Tang, Shuang Wang, Julia Vishnevetsky, Bingzhi Zhang, Diurka Diaz, David Camann, and Virginia Rauh:
Prenatal Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Exposure and Child Behavior at Age 6–7 Years,
Environ Health Perspect. 2012 Jun;120(6):921-6
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22440811>

- [21] Payam Dadvand et al.:
Maternal Exposure to Particulate Air Pollution and Term Birth Weight: A Multi-Country Evaluation of Effect and Heterogeneity,
Environmental Health Perspectives vol. 121, no. 3 (March 2013), p. 367.

<http://ehp.niehs.nih.gov/1205575/>
- [22] Tracey J. Woodruff, Jennifer D. Parker, Kate Adams, Michelle L. Bell, Ulrike Gehring, Svetlana Glinianaia, Eun-Hee Ha, Bin Jalaludin, and Remy Slama: *International Collaboration on Air Pollution and Pregnancy Outcomes (ICAPPO)*,
Int J Environ Res Public Health, v.7(6); Jun 2010, PMC2905570.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2905570/>
- [23] F. P. Perera et al.: *Effect of prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children.*, Environ Health Perspect. 2006 Aug;114(8):1287-92.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16882541>
- [24] F. P. Perera et al.: *Prenatal airborne polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and child IQ at age 5 years*,
Pediatrics. 2009 Aug;124(2):e195-202.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19620194>
- [25] <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/polycycl.html>
- [26] S. F. Suglia, A. Gryparis, R. O. Wright, J. Schwartz, and R. J. Wright: *Association of black carbon with cognition among children in a prospective birth cohort study*,
Am J Epidemiol. 2008 Feb 1; 167(3):280-6. Epub 2007 Nov 15.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18006900>
- [27] Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C.: *Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain*,
Inhal Toxicol. 2004 Jun;16(6-7):437-45.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15204759>

- [28] L. K. Fonken, X. Xu, Z. M. Weil, G. Chen, Q. Sun, S. Rajagopalan and R. J. Nelson: *Air pollution impairs cognition, provokes depressive-like behaviors and alters hippocampal cytokine expression and morphology*, *Molecular Psychiatry* (2011) 16, 987–995.

<http://www.nature.com/mp/journal/v16/n10/abs/mp201176a.html>

- [29] L. Calderón-Garcidueñas et al.: *Air pollution, cognitive deficits and brain abnormalities: a pilot study with children and dogs*, *Brain Cogn.* 2008 Nov;68(2):117-27. doi: 10.1016/j.bandc.2008.04.008. Epub 2008 Jun 11.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18550243>

- [30] Calderón-Garcidueñas L, Azzarelli B, Acuna H, Garcia R, Gambling TM, Osnaya N, Monroy S, DEL Tizapantzi MR, Carson JL, Villarreal-Calderon A, Rewcastle B.: *Air pollution and brain damage*, *Toxicol Pathol.* 2002 May-Jun;30(3):373-89.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12051555>

- [31] A. Campbell et al.: *Particulate Matter in Polluted Air May Increase Biomarkers of Inflammation in Mouse Brain*, *NeuroToxicology*, Volume 26, Issue 1, January 2005, Pages 133–140.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X04001159>

- [32] Beatrice Hauss-Wegrzyniak, Pawel Dobrzanski, James D Stoehr, Gary L Wenk: *Chronic neuroinflammation in rats reproduces components of the neurobiology of Alzheimer's disease*, *Brain Research*, Volume 780, Issue 2, 12 January 1998, Pages 294–303.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006899397012158>

- [33] Mohai P, Kweon BS, Lee S, Ard K.: *Air pollution around schools is linked to poorer student health and academic performance*, *Health Aff (Millwood)*. 2011 May;30(5):852-62.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21543420>

- [34] Shunqin Wang, Jinliang Zhang, Xiaodong Zeng, Yimin Zeng, Shengchun Wang, and Shuyun Chen:
Children's Health Association of Traffic-Related Air Pollution with Children's Neurobehavioral Functions in Quanzhou, China,
Environ Health Perspect. 2009 October; 117(10): 1612–1618.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2790518/>

- [35] Melinda C. Power, Marc G. Weisskopf, Stacey E. Alexeeff, Brent A. Coull, Avron Spiro, and Joel Schwartz: *Traffic-Related Air Pollution and Cognitive Function in a Cohort of Older Men,*
Environ Health Perspect. 2011 May; 119(5): 682–687.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3094421/>

- [36] Weuve J, Puett RC, Schwartz J, Yanosky JD, Laden F, Grodstein F:
Exposure to particulate air pollution and cognitive decline in older women, Arch Intern Med. 2012 Feb 13;172(3):219-27.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22332151>

- [37] Youn-Hee Lim, Ho Kim, Jin Hee Kim, Sanghyuk Bae, Hye Yin Park, and Yun-Chul:
Air Pollution and Symptoms of Depression in Elderly Adults,
Environ Health Perspect. 2012 July; 120(7): 1023–1028.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3404652/>

- [38] Mieczysław Szyszkowicz, Jeff B. Willey, Eric Grafstein, Brian H. Rowe, and Ian Colman: *Air Pollution and Emergency Department Visits for Suicide Attempts in Vancouver, Canada,*
Environ Health Insights. 2010; 4: 79–86.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2978939/>

- [39] Szyszkowicz M, Rowe BH, Colman I:
Air pollution and daily emergency department visits for depression,
Int J Occup Med Environ Health. 2009;22(4):355-62.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20197262>

- [40] Sibila Marques and Maria Luísa Lima:
Living in grey areas: Industrial activity and psychological health,
Journal of Environmental Psychology Volume 31, Issue 4, December
2011, Pages 314–322.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494411000028>

- [41] Ferran Ballester, Sylvia Medina, Elena Boldo, Pat Goodman, Manfred Neuberger, Carmen Iniguez, Nino Kunzli, on behalf of the Aphis network: *Reducing ambient levels of fine particulates could substantially improve health: a mortality impact assessment for 26 European cities*, J Epidemiol Community Health 2008; **62**: 98–105.

<http://jech.bmj.com/content/62/2/98>

- [42] Światowe media o styczniowym smogu w Pekinie:

http://edition.cnn.com/2013/01/13/world/asia/china-smog-blanket/?hpt=hp_t2

<http://rendezvous.blogs.nytimes.com/2013/01/13/>

breathing-in-beijing-coping-with-chinas-smog/

<http://news.yahoo.com/video/beijings-toxic-smog-years-making-154427953.html>

<http://news.yahoo.com/video/chinese-dissident-ai-weiwei-joins-153755562.html>

- [43] <http://news.yahoo.com/air-pollution-beijing-goes-off-index-053809937.html>

- [44] <http://www.motofakty.pl/artykul/>

sredni-wiek-samochodu-w-polsce-przekracza-15-lat.html

Zobacz też np.:

<http://motoryzacja.interia.pl/wiadomosci/ceny/news/>

polacy-kupuja-auta-za-15-tys-15-letnie-golify,1914436,339