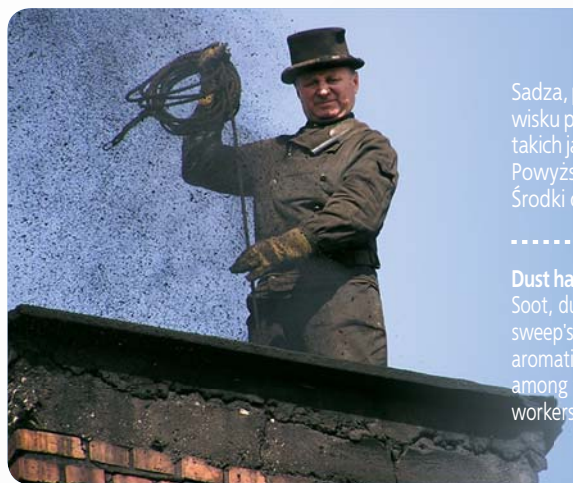


mgr inż. MAREK CHYC
 Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie
 mgr inż. BOGNA BURZAŁA
 „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. - Centralne Laboratorium
 mgr RENATA SZCZYGLÓWSKA
 Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie

Zagrożenia pyłami w zawodzie kominiarza



Fot. Roman Adamus

Sadza, pył, palne i toksyczne związki chemiczne są jednym z wielu zagrożeń występujących na stanowisku pracy kominiarza. Kominiarze narażeni są na działanie niebezpiecznych związków chemicznych, takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WVA), dioksyny (PCDD/F) i metale ciężkie. Powyższe czynniki powodują choroby zawodowe, spośród których nowotwory są najgroźniejszymi. Środki ochrony osobistej są w stanie skutecznie chronić pracownika przed działaniem trucizn.

Dust hazards in a chimney sweep's job

Soot, dust, flammable and toxic chemical compounds are among the many threats present at a chimney sweep's workstation. Chimney sweeps are exposed to hazardous chemical compounds such as polycyclic aromatic hydrocarbons, dioxins (PCDD/F) and heavy metals. Those agents cause occupational diseases, among which carcinoma is the most dangerous one. Personal protection equipment can efficiently protect workers against the impact of poisons.

Wstęp

Praca kominiarza wiąże się z wieloma czynnikami ryzyka, takimi jak groźba upadku z wysokości, praca we wnętrzu ciasnych, ciemnych urządzeń ogniowych i dymnych w warunkach podwyższonej temperatury i niedoboru tlenu. Kominiarz narażony jest na bezpośredni kontakt przez skórę i drogi oddechowe z substancjami niebezpiecznymi, wśród których są: tlenek węgla, ditlenek siarki, pyły, sadze, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WVA), dioksyny (PCDD/F), metale ciężkie. Praca w środowisku tak wielu czynników niebezpiecznych, szkodliwych i uciążliwych może być przyczyną wielu dolegliwości zdrowotnych, a w ostateczności prowadzi do chorób zawodowych. Znaczne nagromadzenie szkodliwych czynników chemicznych i pyłowych na stanowisku pracy wymaga stosowania odpowiednich środków ochrony indywidualnej.

Prace kominarskie powodują konieczność przebywania pracowników w warunkach dużego dyskomfortu oraz narażenia na czynniki chemiczne klasyfikowane jako palne, bardzo toksyczne, rakotwórcze, mutagenne. Jednocześnie wykonywana praca jest bardzo pożyteczna społecznie. Właściwy stan techniczny urządzeń grzewczych, przewodów wentylacyjnych i dymnych zapobiega brzemieniom w skutkach awariom i wypadkom, często śmiertelnym. Należy w tym miejscu wspomnieć o licznych przypadkach zatrucia tlenkiem węgla, powodowanych złym stanem technicznym instalacji grzewczych [1].

W artykule przedstawiono wyniki badań własnych zawartości pyłu w powietrzu znajdującym się w kotłowni podczas mechanicznego czyszczenia kotła węglowego. Wykonano także badania pochłaniania pyłów przez filtropochłaniacze z masek i półmasek przeciwgazowych. W sadzy i pyłach węglowych oznaczono metale ciężkie: kadm, ołów i rtęć.

Skutki zdrowotne działania czynników zagrożeń w środowisku pracy kominiarzy

Kominiarze wykonujący swoją pracę są narażeni na różne czynniki szkodliwe dla zdrowia, występujące w szerokim przedziale stężeń. Zagrożenia chemiczne w dużej mierze zależne są od rodzaju i jakości spalanego paliwa.

Nowotwór skóry moszny to historycznie pierwsza choroba zawodowa zidentyfikowana wśród kominiarzy. Sir Percival Pott w 1775 r. zaobserwował, że u kominiarzy – wśród których znaczną część stanowili kilkuletni chłopcy – występują często nowotwory skóry i rak moszny [2]. Uczony ten wysunął hipotezę, według której obserwowane jednostki chorobowe powodowane są działaniem sadzy kominowej. Hipotezę z 1775 r. potwierdził von Volkmann, który zaobserwował podobne schorzenie wśród smolarzy. Dalsze badania ujawniły, że związki zawarte w sadzy i smole powodują powstawanie nowotworu kolczystokomórkowego oraz podstawnokomórkowego. Wymienione

rodzaje nowotworów tworzą przerzuty do pachwinowych węzłów chłonnych, przerzuty odległe stwierdza się sporadycznie [2].

W Skandynawii w latach 80. ub. wieku stwierdzono niepokojąco wysoki standaryzowany wskaźnik umieralności (SMR) wśród kominiarzy. Standaryzowany wskaźnik umieralności w odniesieniu do przedziału ufności 95%, czyli stosunek obserwowanych zgonów w populacji kominiarzy do liczby zgonów mężczyzn w populacji Szwecji wyniósł od 1,24 do 1,36. Badania obejmowały przypadki zgonów odnotowane w latach 1952-2006 [3]. Gustavsson, badając przyczyny wzrostu SMR, uzyskał wyniki świadczące o tym, że wysoka śmiertelność wśród przedstawicieli omawianej grupy zawodowej spowodowana była głównie chorobami układu oddechowego i chorobami wątroby. Wymienione schorzenia były dwukrotnie częściej przyczyną zgonów w populacji kominiarzy, niż w przypadku reszty społeczeństwa w analogicznym przedziale wiekowym.

W dalszej części artykułu przedstawimy główne zagrożenia związane z występowaniem pyłów i zwartych w nich substancji chemicznych w środowisku pracy kominiarzy.

Pył sadzy i węgla

PM – *particulate matter* – jest terminem oznaczającym krople aerozoli oraz cząstki stałe zawarte w powietrzu. W kontekście omawianej problematyki wartości PM₁₀ i PM_{2,5} dotyczą głównie pyłów zawie-

rających sadzę i popiół o wielkości cząstek poniżej odpowiednio 10 i 2,5 µm. Cząstki stałe o średnicach ziaren poniżej 10 µm wnikają lub przedostają się do układu oddechowego człowieka i są zatrzymywane w oskrzelach [4]. Cząstki stałe o średnicy ok. 2 µm zatrzymywane są w pęcherzykach płucnych, gdzie mogą adsorbować biologicznie czynne substancje, przedostawać się z krwią poza płuca i kumulować w niektórych narządach wewnętrznych. Szacuje się, że emisja cząstek stałych PM₁₀ na skutek spalania węgla kamiennego w gospodarstwach domowych wynosi ponad 0,2 mg/m³ [5]. Wykazano, że zawartość pyłu w powietrzu wdychanym przez kominarza w czasie oczyszczania przewodów kominowych wynosi 3-19 mg/m³, zawartość benzo[a]pirenu osiąga wartości do 9,1 µg/m³ [3].

W pyłach wydostających się z przewodów dymnych i spalinowych mogą być również zawarte włókna azbestowe i krystaliczna krzemionka. Pyły te mogą stać się przyczyną rozwoju groźnych chorób zawodowych, takich jak rak płuca, pylica płuca czy astma oskrzelowa oraz zmian patologicznych w opłucnej i osierdziu. Zachorowalność mężczyzn na choroby zawodowe w Polsce w 2010 r. wynosiła 34,1 na 100 tys. zatrudnionych – drugą pozycję w tej statystyce stanowi pylica płuca [6].

Zgodnie z obowiązującym przepisami najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) na stanowisku pracy dla pyłu całkowitego wynosi 4 mg/m³ [7].

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) to związki organiczne posiadające dwa i więcej skondensowanych pierścieni o charakterze aromatycznym. WWA jako zanieczyszczenia środowiskowe występują w postaci mieszanin homologów (rys. 1.).

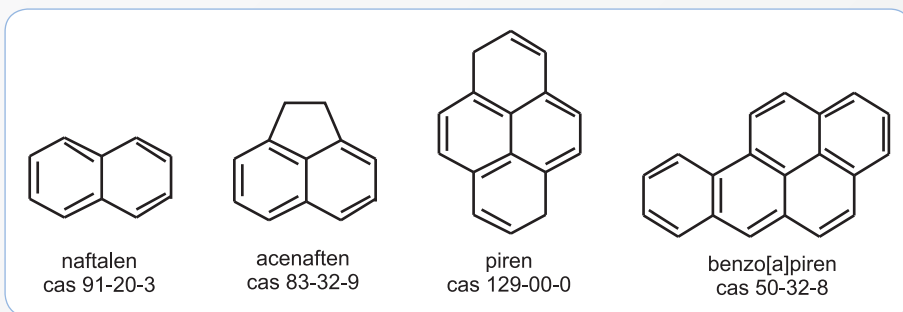
Najważniejszym przedstawicielem grupy jest benzo[a]piren (B[a]P), choć grupa obejmuje ponad 200 związków chemicznych. Znacznym zagrożeniem, związanym z cytotoxycnością omawianej klasy zanieczyszczeń, jest wysokie powinowactwo tworzenia adduktów, pomiędzy cząsteczkami WWA a łańcuchami DNA. Powstałe addukty negatywnie wpływają na replikację komórek [8].

Analiza kilkunastu podstawowych WWA zawartych w węglach różnych gatunków wykazała zawartości w przedziale 0,2 do 2500 mg WWA/kg węgla [9]. Zawartość WWA w sadzy jest znacznie większa, a całkowity udział masowy związków organicznych wynosi ok. 60% [10].

Dioksyny i furany

Terminem dioksyny i furany określa się grupę związków, będących polichlorowanymi pochodnymi dibenzo-p-dioksyn i dibenzofuranów (PCDD/F). Dioksyny powstają w procesach termicznych. Ocenia się, że PCDD/F są najgroźniejszymi spośród poznanych ksenobiotyków. Zawartość dioksyn w sadzy jest bardzo różnicowana i zależy od składu chemicznego paliwa, warunków spalania oraz typu paleniska. W tab. 1. przedstawiono zróżnicowanie ilości PCDD/F w próbkach sadzy pobranych z różnych instalacji grzewczych [11].

Badania kliniczne wskazują, że dioksyny wywierają silnie mutagenne działanie zaburzając prawidłowy przebieg procesu podziału komórek, wykazują działanie teratogenne i alergizujące.



Rys. 1. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)

Fig. 1. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

Tabela 1. Zawartość dioksyn w próbkach sadzy [11]

Table 1. Dioxin content in soot samples [11]

Palenisko	Paliwo	Zawartość dioksyn ng I-TEQ*/kg sadzy		
		minimum	średnio	maksymalnie
Piec	drewno	10	2015	16 000
Kocioł węglowy		17	1438	20 500
Piec	drewno, węgiel	77	2772	10 000
Piec kaflowy		53	550	5 000

* I-TEQ – międzynarodowy równoważnik toksycności (ang. *International Toxicity Equivalent*)

Przebieg zatrucia PCDD/F powoduje, że skutki mogą być odczuwalne po dłuższym czasie od wchłonięcia toksyn. Stwierdzono negatywne oddziaływanie dioksyn na przebieg procesów komórkowych odpowiedzialnych za przemianę materii związanych z aktywnością cytochromu P-450, glucuronyltransferazy i glutationtransferazy [12]. Pierwszym objawem zatrucia dioksynami jest bolesna trądzik chlorowy (łac. *chloracne*). *Chloracne* jest schorzeniem zapaleniowo-alergicznym, występującym głównie na skórze twarzy i rąk. Zmiany skórne utrzymują się latami powodując głębokie blizny.

Metale ciężkie

Metale ciężkie występują w każdym rodzaju spalnego paliwa, ponieważ stanowią jego nieodłączną część mineralną. W procesie spalania część metali i ich związków sublimuje, osadzając się na popiele lotnym czy sadzy.

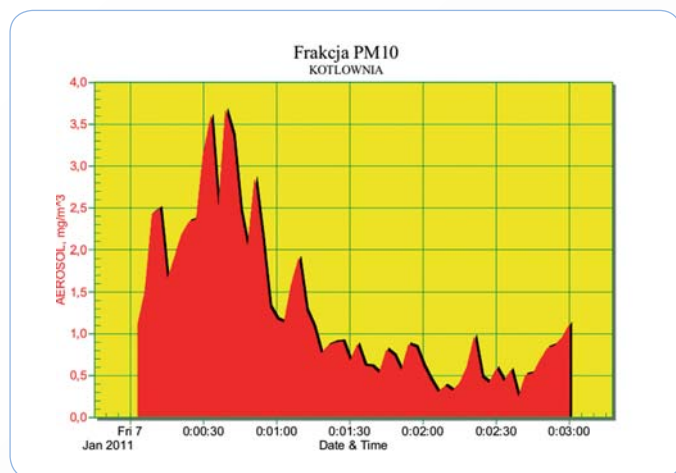
Metale ciężkie, w postaci związanej bądź wolnej, są wprowadzane do organizmu wraz z cząstkami stałymi zawartymi w powietrzu. Lotny popiół zawiera rtęć, tal, kadm, ołów, antymon, kobalt, chrom, nikiel, wanad oraz arsen [13]. Niektóre z tych metali mają ważne znaczenie dla organizmu i są niezbędne w procesach metabolicznych. Spełniają one wymienione funkcje tylko w określonych stężeniach.

Istotną rolę w rozwoju i funkcjonowaniu organizmu odgrywają takie pierwiastki, jak cynk i miedź. Natomiast arsen, chrom, kobalt, mangan oraz nikiel są potrzebne w znacznie mniejszych ilościach. Inne metale, jak rtęć, kadm, ołów należą do grupy pierwiastków toksycznych, na które człowiek nie wykazuje zapotrzebowania fizjologicznego. Z wiekiem stężenie metali ciężkich w tkankach wzrasta, co w przypadku zwiększonego nagromadzenia objawia się działaniem toksycznym. Powodują one choroby układów: pokarmowego, oddechowego, nerwowego, krążenia. Niektóre pierwiastki, jak kadm, rtęć, ołów wykazują działanie rakotwórcze lub potencjalnie rakotwórcze [14].

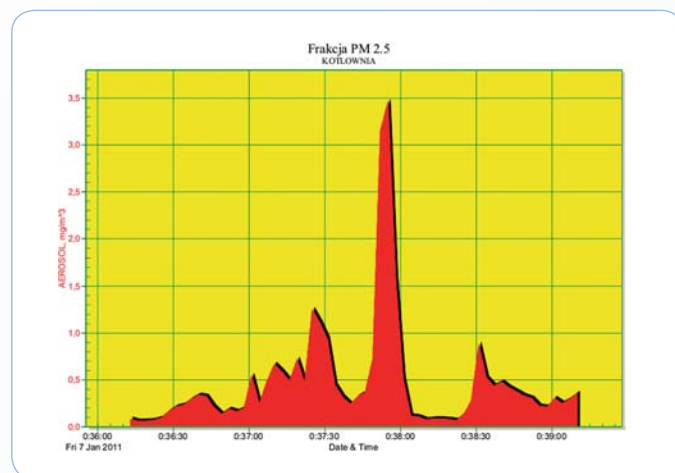
Wyniki badań

Celem badań było określenie skuteczności odpylenia powietrza przy użyciu komercyjnego filtropochłaniacza z masek i półmasek przeciwgazowych oraz określenie zawartości wybranych metali ciężkich w pyłe kotłowym. Pomiaru wykonano w kotłowni wyposażonej w kocioł CO o mocy znamionowej 29 KW opalany węglem kamiennym. Pomieszczenie o kubaturze 19 m³ posiadało wentylację grawitacyjną zapewniającą trzykrotną wymianę powietrza w ciągu godziny. Czas pojedynczego pomiaru zapylenia wynosił trzy minuty i obejmował sześćdziesiąt zliczeń. Zasada badania odpowiadała pomiarom stosowanym w dozymetrii indywidualnej. Do oznaczeń zastosowano pyłomierz laserowy o zakresie pomiarowym 0,001-400 mg/m³. Stężenie pyłu całkowitego w powietrzu pobranym z kotłowni, w trakcie mechanicznego oczyszczania kotła CO wynosiła 2,520 mg/m³ (NDS dla sadzy 4 mg/m³). Stężenie pyłowej frakcji PM₁₀, wyniosła średnio 1,260 mg/m³.

Jak wynika z rys. 2., najwyższe stężenie frakcji PM₁₀ rejestrowano w początkowej fazie czyszczenia kotła, po czym następowała stabilizacja wskazań pyłomierza na poziomie od 0,5 do 1 mg/m³. Zmiany zawartości frakcji pyłowej PM_{2,5} w badanym powietrzu wykazywały charakter skokowy (rys. 3.), a typowe wartości rejestrowanego zapylenia powietrza wynosiły poniżej 0,5 mg/m³, z wyjątkiem kilku pojedynczych maksimów, gdzie zapylenie powietrza gwałtownie wzrastało nawet do około 3,5 mg/m³. Uzdantnienie powietrza przy pomocy komercyjnego filtropochłaniacza, będącego na wyposażeniu masek i półmasek przeciwgazowych, pozwoliło zmniejszyć zawartość cząstek stałych w oczyszczonym powietrzu do poziomu 0,001 mg/m³ powietrza. Skuteczność uzdatniania powietrza w odniesieniu do PM₁₀ wyniosła 99,9%. Powietrze atmosferyczne w pobliżu budynku, w którego kotłowni wykonano pomiary, wykazywało zanieczyszczenie pyłową frakcją PM₁₀ na poziomie 0,020 mg/m³ (dopuszczalna wartość PM₁₀ < 0,040 mg/m³) [15].



Rys. 2. Wyniki pomiarów stężenia frakcji pyłowej PM₁₀
 Fig. 2. Measuring the concentration of the PM₁₀ fraction



Rys. 3. Wyniki pomiarów stężenia frakcji pyłowej PM_{2,5}
 Fig. 3. Measuring the concentration of the PM_{2,5} fraction

Tabela 2. Wyniki oznaczeń zawartości metali ciężkich w pyłe węglowym i sadzy pobranych z kotłowni
 Table 2. Content of heavy metals in coal dust and soot, sampled from a boiler room

Oznaczany pierwiastek		Pył węglowy	Sadza kotłowa	Całkowita dzienna dawka, bezpieczna dla zdrowia [14]
		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/24 h]
Kadm	Cd	0,24	3,63	0,02
Ołów	Pb	24,75	167,10	0,30
Rtęć	Hg	0,025	0,210	0,02

Stężenie frakcji pyłowej PM_{2,5} w analogicznym eksperymencie wyniosła 0,464 mg/m³, po przefiltrowaniu powietrza stężenie PM_{2,5} było niższe niż granica oznaczalności pyłomierza (0,001 mg/m³).

Pył węglowy i sadzę pobraną z kotłowni poddano analizie pierwiastkowej na zawartość wybranych metali ciężkich. Sadza kotłowa zawierała podwyższoną zawartość kadmu, ołowiu i rtęci, względem ilości występujących w spalonym paliwie. Kadm i ołów został oznaczony techniką optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-OES), natomiast rtęć została wyznaczona metodą absorpcji atomowej, techniką zimnych par.

W tab. 2. przedstawiono zawartość wybranych metali ciężkich w węglu kamiennym i sadzy powstałej w procesie spalania paliwa. Ze względu na różnice lotności poszczególnych metali ciężkich i ich związków następuje znaczna ich koncentracja na cząstkach popiołu lotnego i sadzy.

Jak wynika z tabeli 2., spośród oznaczanych metali ciężkich ołów był pierwiastkiem dominującym. Wszystkie 3 oznaczane metale występowały w sadzy w większej ilości niż w pyłe węglowym. W przypadku kadmu zawartość pierwiastka w sadzy była blisko 15 razy wyższa niż w węglu.

Wnioski

W przypadku prac kominarskich i wykonywanych na podobnych stanowiskach należy zwrócić uwagę na konieczność stosowania środków ochrony indywidualnej w celu maksymalnego zabezpieczenia skóry przed kontaktem z sadzą (rękawice ochronne, kombinezon ochronny). Niezbędna jest również kompleksowa ochrona górnych dróg oddechowych,

co nie wiąże się z dużymi nakładami finansowymi, lecz wyłącznie ze świadomością społeczną i zdyscyplinowaniem osobistym pracownika. Obserwacje wskazują, że stosowanie filtrów i filtropochłaniaczy podczas prac kominarskich jest praktyką rzadką.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że możliwa jest skuteczna ochrona przed pyłem i zawartymi w nim szkodliwymi substancjami chemicznymi. Zastosowanie filtropochłaniacza pozwala usunąć ok. 99,9% ilości pyłu z wdychanego powietrza. Oczyszczenie powietrza przy zastosowaniu filtropochłaniacza powoduje ograniczenie dziennych dawek, na które narażeni są kominarze w związku z wykonywaną pracą, co zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia chorób nowotworowych i pylicy u pracowników. Szacuje się, że podczas wykonywania prac kominarskich pracownik zużywa ok. 10 m³ powietrza [3], co przy oznaczonym poziomie zapylenia skutkowałoby wprowadzeniem dawki ok. 13 mg pyłu respirabilnego do organizmu pracownika.

Wprowadzenie dawki metali ciężkich wraz z pyłem respirabilnym w omawianym przypadku stanowi mniej niż 1% bezpiecznej dawki dobowej, niepowodującej zmian zdrowotnych. Należy również pamiętać, że ilość wchłoniętego metalu jest uzależniona od postaci w jakiej on występuje, jak również od metabolizmu człowieka, jego płci i wieku. Zastosowanie filtropochłaniacza w przeprowadzonym eksperymencie zmniejszyło dawkę potencjalnie wchłoniętego przez pracownika pyłu do ok. 10 µg. Inną istotną zaletą stosowania filtropochłaniacza jest możliwość oczyszczania wdychanego powietrza z zanieczyszczeń chemicznych, jak tlenek węgla, tlenki siarki, lotne związki organiczne.

PIŚMIENNICTWO

[1] Z. Makles, M. Pośniak *Sezon grzewczy rozpoczęty – zagrożenia czadem*. „Bezpieczeństwo Pracy”, 12 (459) 2009
 [2] H. A. Waldron *A brief history of scrotal cancer*. „British J. Ind. Med.” 40 (4) 1983
 [3] C. Jansson, M. Alderling, C. Hogstedt, P. Gustavsson *Mortality among Swedish chimney sweeps (1952-2006): an extended cohort study*. „Occup. Environ. Medicine” 69 (1) 2012
 [4] W. MacNee, K. Donaldson *Mechanism of lung injury caused by PM₁₀ and ultrafine particle with special reference to COPD*. „Eur. Resp. Journal”, 21 (40) 2003
 [5] J. Fudała *Zintegrowane narzędzie do zarządzania ryzykiem, charakteryzujące zależność zanieczyszczenia powietrza i narażenia ludzi w środowisku miejskim*. „Biuletyn Ekologiczny”, nr 2/2006
 [6] *Raport o rynku pracy oraz zabezpieczeniu społecznym*. E. Gross-Golecka (red.). Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej, Warszawa 2010
 [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 29 listopada 2002 r. DzU nr 217 poz. 1833
 [8] N. L. Nock, D. Tang, A. Rundle, C. Neslund-Dudas, A. T. Saveria, C. H. Bock, K. G. Monaghan, A. Koprowski, N. Mitrache, J. J. Yang, B. A. Rybicki *Associations between smoking, polymorphisms in polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) metabolism and conjugation genes and PAH-DNA adducts in prostate tumors differ by race*. „Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.” 16 (6) 2007
 [9] C. Achten, T. Hofmann *Native polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in coals – A hardly recognized source of environmental contamination*. „Science of the Total Environment”, 407 (8) 2009
 [10] D. Kim, B. M. Kumfen, C. Anastasio, I. M. Kennedy, T. M. Young *Environmental aging of polycyclic aromatic hydrocarbons on soot and its effect on source identification*. „Chemosphere” 76 (8) 2009
 [11] E. D. Lavric, A. Konnov, J. De Ruyck *Dioxin levels in wood combustion – a review*. „Biomass and Bioenergy”, 26 (2) 2004
 [12] K. Augustowska, E.L. Gregoraszczyk, T. Milewicz, J. Krzysiek, A. Grochowalski, R. Chrzęszcz *Effects of dioxin (2,3,7,8-TCDD) and PCDDs/Fs congeners mixture on steroidogenesis in human placenta tissue culture*. „Endocrine Regulations” 37 (1) 2003
 [13] P. Szczęwowski, J. Siepak, P. Niedzielski, T. Sobczyński *Research on heavy metals in Poland*. „Polish J. of Environ. Stud.” 18 (5) 2009
 [14] W. Seńczuk *Toksykologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1994
 [15] Prawo ochrony środowiska. DzU z 2008 r. nr 25, poz.150, z późn. zm.