

Zanieczyszczenie związkami organicznymi gleb na terenie starych gazowni

Izabela Bojakowska*, Wojciech Irmiński*

Pollution of soils by aromatic compounds in the area of old gasworks. *Prz. Geol.*, 50: 691–697.

S u m m a r y. Production of gas from hard coal was particularly noxious to the environment because of leakage of aromatic hydrocarbons from production facilities, use of low-effective gas purification and technological sewage treatment installations, and waste management practices. The areas of old gasworks are currently included in extending urban agglomerations located in central city sections. They encompass polluted soils and groundwaters that bring about danger to residents. The present studies of soils were carried out in the areas of not fully reclaimed old gasworks. The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), benzene and its alkyl-derivatives – toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) were determined on the selected soil samples. Many of the samples contain up to 10 ppm PAHs. Nearly all the samples examined were featured by a very high content of benzo(a)pyrene that considerably exceeded maximum accessible concentrations of this compound for industrial soils. A diverse spectrum of PAHs at different gasworks facilities, gas tanks, furnace batteries, equipment units and pitch pits was observed.

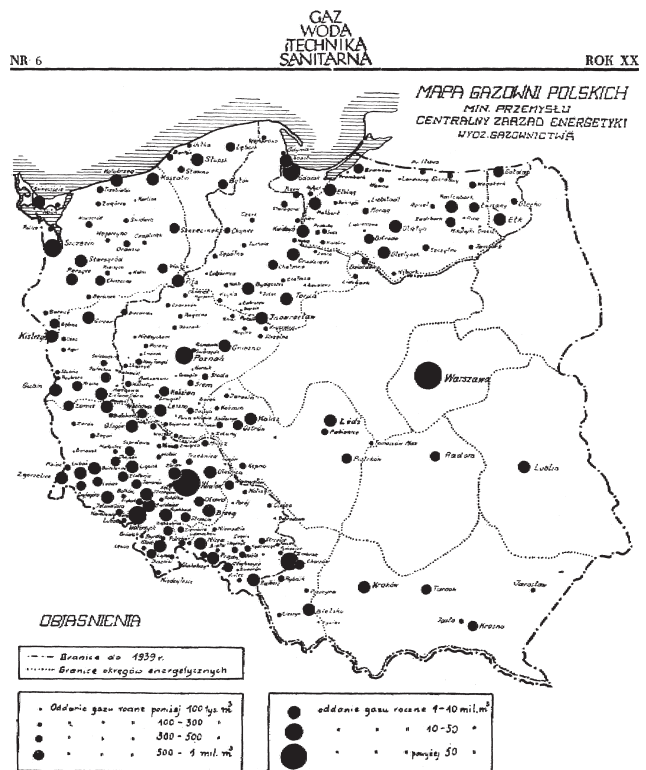
Key words: old gasworks, soils, PAHs, BTEX

Rozwój produkcji gazu miejskiego z węgla kamiennego rozpoczął pod koniec XVIII w. William Murdoch, współwynalazca termolampy, który w 1792 r. zastosował w Birmingham oświetlenie gazowe w swoim domu i w warsztatach firmy „Boulton & Watt”. Pierwszą gazownię miejską wybudowano w Anglii w 1795 r., a wyprodukowany gaz stosowano wyłącznie do oświetlenia pomieszczeń i ulic. W drugiej połowie XIX w. przemysł gazowniczy rozpowszechnił się w Europie i Ameryce Północnej, np. w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii i Irlandii Północnej i Stanach Zjednoczonych było ponad 1000 gazowni. Pierwszą na ziemiach polskich gazownię uruchomiono we Wrocławiu w 1847 r., następne w Szczecinie (1848), Gdańsku (1852), Poznaniu i Warszawie (1856), Toruniu (1859) oraz w Bydgoszczy (1860). Po wojnie, na terenie Polski znajdowało się 263 gazowni (ryc. 1), wobec 103 gazowni na obszarze Rzeczypospolitej do 1939 r. Większość z nich została zbudowana w pierwszej dekadzie XX w. Największe gazownie były zlokalizowane w Warszawie, Wrocławiu i Szczecinie (Filipowski, 1946; Hoppe & Perlińska, 2000). Początkowo produkowały one gaz w celu oświetlenia ulic, w następnych latach zaś na potrzeby indywidualnych odbiorców.

Gazownie, podobnie jak większość zakładów przemysłu chemicznego, działających w drugiej połowie XIX i w pierwszej połowie XX w., należały do szczególnie uciążliwych dla środowiska. W tych czasach większość urządzeń produkcyjnych była nieszczelna, urządzenia oczyszczające gaz były za małe i zbyt mało wydajne w stosunku do wielkości produkcji gazu, na ogół też gazownie nie posiadały oczyszczalni ścieków technologicznych, a pojemność separatorów smoły najczęściej także była niewystarczająca. Takie warunki wytwarzania gazu stwarzały wiele sytuacji powodujących przenikanie zanieczyszczeń do środowiska. Ponadto stosowano wówczas jako „normalne” praktyki zagospodarowywania odpadów powstających podczas funkcjonowania gazowni, dzisiaj nie do zaakceptowania wobec obowiązujących standardów. Polegały one na składowaniu powstających odpadów w pobliżu lub na miejscu produkcji. Odpady stałe używano

również do niwelacji terenu oraz jako materiał rekultywacyjny, np. na bagnistych i innych nisko położonych terenach, a ciekłe odpady były niekiedy wylewane wprost na grunt.

Na początku lat siedemdziesiątych na całym świecie, a także w Polsce, ze względu na powszechne wprowadzanie stosowania gazu ziemnego na potrzeby komunalne i przemysłowe produkcja gazu z węgla została stopniowo zaniechana. Obecnie część terenów zajmowanych niegdyś przez zakłady wytwarzające gaz nadal należy do gazowni. W zależności od stanu technicznego zabudowań i lokalizacji terenu niektóre stare budynki zaadaptowano na potrzeby rozdzielni gazu ziemnego, niekiedy zaś obiekty te wyburzono i na ich miejscu wzniesiono nowe. Część tere-



Ryc. 1. Rozmieszczenie gazowni w Polsce w 1946 r. (Filipowski, 1946)

Fig. 1. Location of gasworks in Poland in 1946 (Filipowski, 1946)

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4.
00-975 Warszawa

nów starych gazowni została sprzedana, a co za tym idzie zmienił się sposób ich użytkowania; w niektórych przypadkach zostały na nich usytuowane inne zakłady przemysłowe, magazyny, warsztaty samochodowe, garaże lub parkingi. Część tych terenów przeznaczano także pod ogrody działkowe lub budownictwo mieszkaniowe. Na przykład niektóre budynki starych gazowni w Piotrkowie Trybunalskim i Tomaszowie Mazowieckim wykorzystuje się jako pomieszczenia biurowe i mieszkania komunalne (Irmiński, 1996). Zabudowania niektórych starych gazowni ze względu na wartość historyczną budynków wykorzystywane są jako obiekty użyteczności publicznej, np. w Holandii dziewiętnastowieczne neogotyckie budynki (w tym także olbrzymi zbiornik gazu) gazowni Westergas w Amsterdamie, zamkniętej w 1967 r., zamieniono na Centrum Muzyki.

Na terenach gazowni, po zaprzestaniu wytwarzania gazu z węgla, prowadzono prace rekultywacyjne — wywożono zanieczyszczony grunt i gruz z rozebranych budynków, a na ich miejscu umieszczano niezanieczyszczoną glebę. Często jednak zanieczyszczony grunt usuwano tylko do pewnej głębokości. Mimo, że powierzchnia terenu została uporządkowana, to jednak w podłożu nadal pozostały zanieczyszczenia, które mogą wpływać na jakość wód podziemnych oraz powietrza gruntowego, które może migrować do budynków poprzez zluźnienia gruntu oraz kanały i przewody podziemnej infrastruktury technicznej.

różła i charakterystyka zanieczyszczeń chemicznych na terenie gazowni

Zanieczyszczenie środowiska na terenach poszczególnych gazowni jest zróżnicowane, przede wszystkim uwarunkowane stosowaną technologią produkcji gazu, wykorzystywaniem w produkcji gazu różnych surowców (tj. węgla o zróżnicowanej zawartości metali ciężkich), wytwarzaniem odpadów i sposobem ich zagospodarowywania. Większość urządzeń gazowni: piecownia, generatorownia, aparatornia, amoniakalnia, separatory smoły, płuczki naftenowe, płuczki amoniakalne, płuczki benzolowe, odsmalacze, odsiarczalnica, zbiorniki gazu i oczyszczalnica ścieków (ryc. 2), ze względu na nie najlepszą ich sprawność i szczelność, przy jednocześnie bardzo uciążliwym charakterze produkcji, była potencjalnym źródłem zanieczyszczenia środowiska.

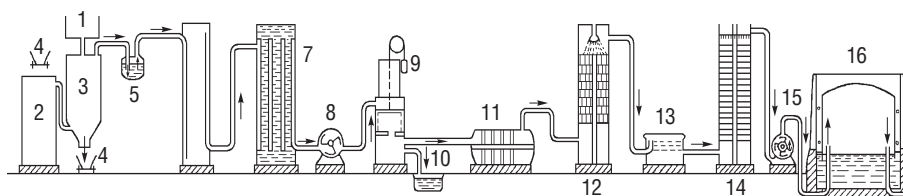
Ponadto potencjalnymi źródłami zanieczyszczeń na terenie gazowni były miejsca, gdzie magazynowano węgiel, przechowywano koks i koksik, magazynowano inne surowce, okresowo stosowane w produkcji, np. wapno, wodorotlenek sodu, katalizatory i środki przeciwkorozyjne, zawierające takie pierwiastki jak nikiel, ołów, cynk, miedź, chrom, mangan, uran, wanad. Są to również miejsca, gdzie mieszano i przechowywano różne związki siarki, składowano odpady powstające podczas produkcji

gazu, osady z oczyszczania ścieków, a także materiały z demontażu starych urządzeń podczas modernizacji zakładu lub uszkodzonych w czasie awarii. Część odzyskiwanych różnych substancji (m.in. siarczan amonu lub smoła) z odpadów powstających podczas produkcji, zależnie od tego czy był rynek zbytu na te wtórne surowce i czy odzysk był ekonomicznie uzasadniony, mogła być także składowana na terenie gazowni. Zanieczyszczenia mogły przenikać do środowiska również w następstwie zwykłych działań przemysłowych, np. z rozlań smarów, paliw, składowanych transformatorów, akumulatorów ołowiowych, czy stosowania pestycydów. Z tych to powodów należy spodziewać się, że na terenie gazowni, oprócz występowania zanieczyszczeń w gruntach wokół poszczególnych obiektów, mogą także znajdować się różne zanieczyszczenia w przypadkowych miejscach.

Największe zagrożenie chemiczne dla środowiska na terenie gazowni jest związane z przenikaniem aromatycznych związków organicznych: benzenu i jego alkilopochodnych (BTEX) oraz wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych (WWA) z procesów produkcyjnych oraz ze zdeponowanych odpadów.

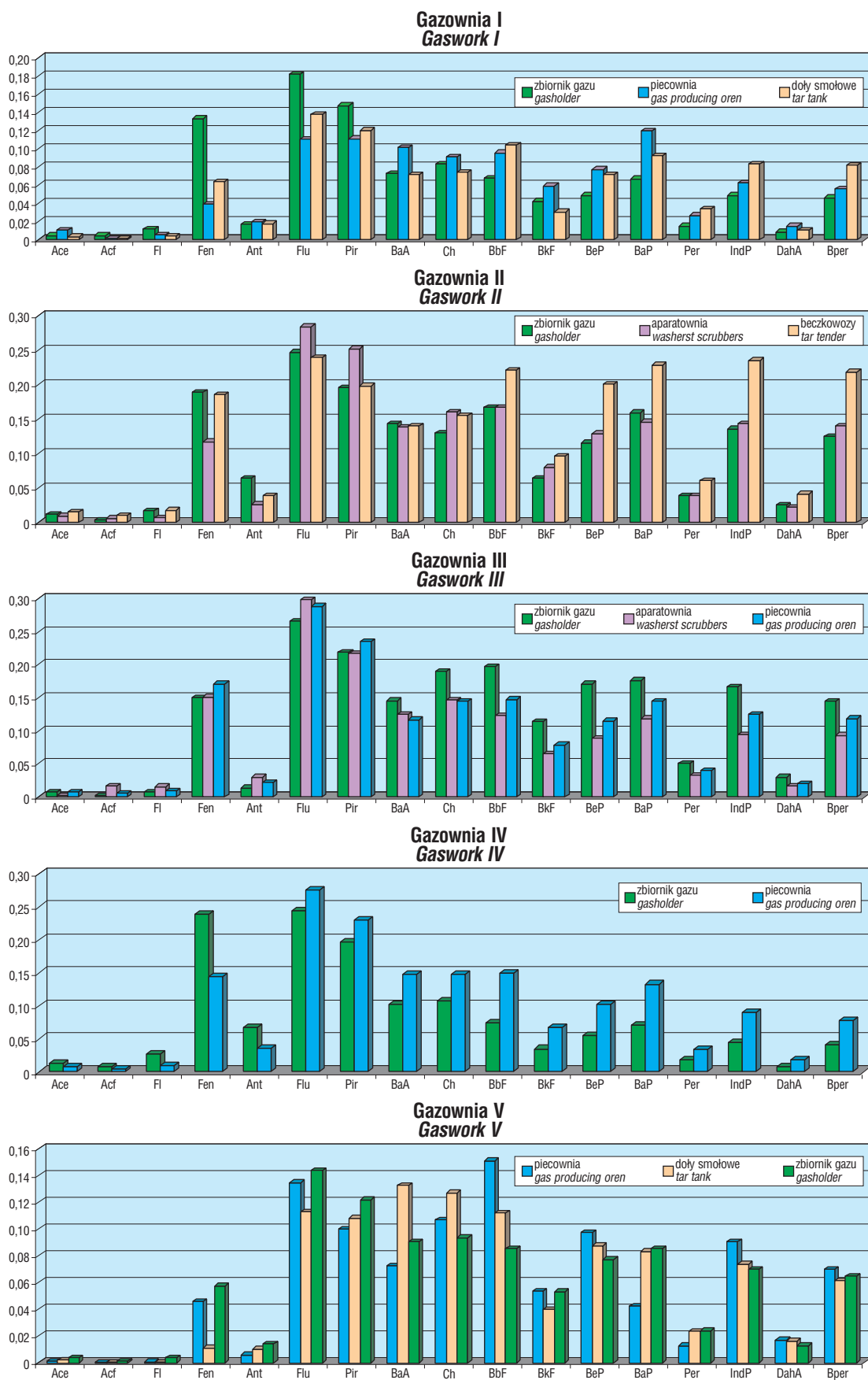
BTEX — benzen i jego alkilopochodne toluen, etylobenzen i ksyleny, mogą być na terenach starych gazowni istotnym zanieczyszczeniem wód podziemnych, w znacznie mniejszym stopniu gleb. Związki te charakteryzujące się dużą lotnością, odznaczają się szkodliwym oddziaływaniem na organizmy zwierzęce; większość z nich powoduje działanie narkotyczne oraz prowadzi do aplazji szpiku kostnego.

WWA — wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, są najczęściej dominującym zanieczyszczeniem chemicznym gleb w strefie oddziaływania starych gazowni. Spośród licznej grupy wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych występujących powszechnie w środowisku i pochodzących zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych, najczęściej jest badanych szesnaście związków wytypowanych przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US EPA). Są to: naftalen (Nf), acenaftylen (Ace), acenaften (Acf), fluoren (Fl), fenantren (Fen), antracen (Ant), fluoranten (Flu), piren (Pir), benzo(a)antracen (BaA), chryzen (Ch), benzo(b)fluoranten (BbF), benzo(k)fluoranten (BkF), benzo(a)piren (BaP), indeno(1,2,3-c,d)piren (IndP), dibenzo(a,h)antracen (DahA) oraz benzo(ghi)perylene (BPer). WWA są stosunkowo dobrze poznaną grupą związków organicznych, ze



Ryc. 2. Schemat gazowni: 1 — zasobnik węgla, 2 — generator gazowy, 3 — piec gazowniczy, 4 — wózek na koks, 5 — płuczka z zamknięciem hydraulicznym, 6 — chłodnia powietrzna, 7 — chłodnica wodna, 8 — pompa ssąca, 9 — odsmalacz, 10 — zbiornik na smołę, 11 — płuczka naftalenowa, 12 — płuczka amoniakalna, 13 — skrzynie czyszczące do usuwania siarkowodoru, 14 — płuczka benzolowa, 15 — gazomierz, 16 — zbiornik gazu

Fig. 2. Gasworks scheme: 1 — coal bunker, 2 — gas generator, 3 — gas producing oven, 4 — truck, 5 — washer with hydraulic seal, 6 — air cooler, 7 — water cooler, 8 — suction pump, 9 — tar separator, 10 — tar tank, 11 — naphthalene scrubber, 12 — ammonia scrubber, 13 — hydrogen sulphide cleaning box, 14 — benzene scrubber, 15 — gas meter, 16 — gas holder



Ryc. 3. Względny udział wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych w glebach przy różnych obiektach gazowni

Fig. 3. Relative share of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils at different gasworks facilities

Tab. 1. Dopuszczalna zawartość szkodliwych związków organicznych w glebach w Kanadzie (CCME 1999)

Table 1. Permissible contents of harmful organic compounds in soils in Canada (CCME 1999)

Węglowodór	Tereny			
	rolnicze	mieszkalne i parki	handlowe	przemysłowe
	BTEX (ppm)			
benzen	0,1	0,7	0,7	0,7
toluen	0,1	0,8	0,8	0,8
ksyleny	0,1	1	17	20
etylobenzen	0,1	1,2	20	20
WWA (ppm)				
naftalen	0,1	0,6	22	22
fenantren	0,1	5	50	50
benzo(a)antracen	0,1	1	10	10
benzo(b)fluoranten	0,1	1	10	10
benzo(k)fluoranten	0,1	1	10	10
benzo(a)piren	0,1	0,7	0,7	0,7
dibenzo(a,h)antracen	0,1	1	10	10
benzo(ghi)perylen	0,1	1	10	10

względem na ich szkodliwe (rakotwórcze i mutagenne) oddziaływanie na organizmy zwierzęce; najsilniejsze działanie rakotwórcze i mutagenne wykazują węglowodory, które w swojej strukturze chemicznej zawierają układ pierścieniowy benzo(a)antracenu.

Ze względu na szkodliwe oddziaływanie związków z grupy WWA i BTEX na organizmy w wielu krajach wprowadzono przepisy regulujące dopuszczalną ich zawartość w glebach, osadach i wodach (tab. 1).

Zakres i metodyka badań

Z terenu pięciu gazowni o zróżnicowanej wielkości produkcji gazu (od kilkuset do kilku mln m³/rok), znaj-

dujących w północnej części kraju, pobrano do badań próbki gleb i podłoża skalnego. Obecnie tereny trzech spośród tych starych gazowni są częściowo nadal w gestii zakładów gazowniczych. W dwóch największych zakładach stare zabudowania zostały zaadaptowane na potrzeby administracji i rozdzielni gazu, część budynków rozebrana, doły smołowe zlikwidowane; materiały pochodzące z ich rozbiórki i demontażu oraz zanieczyszczony grunt wywieziono, a na ich miejsce nawieziono niezanieczyszczoną glebę i ziemię próchniczną oraz zasadzono rośliny. W przypadku jednej z gazowni, na podlegającej jej części terenu, wszystkie budynki rozebrano i na ich miejsce wzniesiono nowe, przeprowadzono też rekultywację powierzchniowej warstwy gleby. Sprzedana część terenu nie została jednak zrehabilitowana; jedynie zbiorniki gazu zostały rozebrane, a pozostały na niej budynek piecowni jest wykorzystywany jako warsztat i garaż. Tereny dwóch pozostałych gazowni mają obecnie innych użytkowników. W jednym przypadku teren, gdzie znajdowały się zbiorniki gazu, jest obecnie nieużytkiem częściowo

zajętym przez „dzikie” ogródki działkowe, kopuły dwóch małych zbiorników na gaz zostały rozebrane, a w pozostałych po nich fundamentach utworzyły się dwa zbiorniki — oczka wodne; budynki piecowni i aparatowni zostały zaadaptowane na pomieszczenia biurowe, które są wynajmowane. W drugim przypadku część terenu gazowni, gdzie prawdopodobnie znajdowały się zbiorniki gazu, została zagospodarowana na ogródki działkowe, część tego terenu zajęła budynek jednorodzinny, zaś budynek starej piecowni jest wykorzystywany jako warsztat.

Na terenach gazowni pobrano próbki przy obiektach, które mogły być potencjalnym źródłem zanieczyszczenia. Z terenu czterech gazowni pobrano próbki gleb z głębokości 0–20 cm, jedynie na terenie gazowni, gdzie wytwarzano

Tab. 2. Zawartość węglowodorów z grupy BTEX w glebach z terenu starych gazowni (ppb)

Table 2. Contents of BTEX hydrocarbons in soils of old gasworks areas (ppb)

Węglowodór	Gazownia I	Gazownia II	Gazownia III	Gazownia IV	Gazownia V
benzen	0,4–2571 17,4	0,4–1,6 0,65	0,4–3,8 1,1	0,4–2,4 1,05	1,7–11,3 2,2
toluen	0,4–5348 28	0,4–4,6 1,75	0,4–5,5 2,55	0,4–3,5 1,5	3,5–13,7 4,4
etylobenzen	0,3–840 12,8	0,3–1,2 0,3	0,3–2,5 1,1	0,3–1,2 0,3	0,8–2,1 1,3
p-ksylen	0,4–1197 6,5	0,4–1,1 0,4	0,4–2,5 1,05	0,4–1,4 0,4	0,4–2,2 1,5
m-ksylen	0,4–3287 19,4	0,4–3,3 1	0,4–7,7 2,1	0,4–4 0,65	2–6,3 4,2
o-ksylen	0,4–2041 8	0,4–1,7 0,4	0,4–4 1,55	0,4–2,4 0,4	1,1–2,8 2,4
BTEX	7,4–14727 95,1	0,9–12,9 5,95	3,5–24,7 11,8	2,3–10,2 4	10–38,4 15,55

zawartość minimalna — zawartość maksymalna
mediana
minimum contents — maximum content
median

Tab. 3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w glebach terenów starych gazowni (ppm)

Tabele 3. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of old gasworks areas (ppm)

	Gazownia I	Gazownia II	Gazownia III	Gazownia IV	Gazownia V
Suma A	<u>0,06–3489,59</u> 6,61	<u>0,06–66,90</u> 1,34	<u>0,06–3489,59</u> 3,97	<u>0,42–104,41</u> 12,21	<u>4,18–91,20</u> 25,43
Suma B	<u>0,23–872,80</u> 29,83	<u>0,20–152,00</u> 5,46	<u>0,20–1872,80</u> 17,64	<u>2,02–419,60</u> 22,31	<u>44,39–1783,70</u> 170,94
Suma C	<u>0,16–709,80</u> 24,87	<u>0,26–99,90</u> 6,92	<u>0,16–709,80</u> 15,89	<u>1,92–300,63</u> 16,64	<u>41,37–1559,30</u> 172,09
Suma D	<u>0,03–2,60</u> 6,11	<u>0,06–16,90</u> 1,79	<u>0,03–92,60</u> 3,95	<u>0,39–50,16</u> 3,61	<u>9,00–288,10</u> 33,65
Suma WWA	<u>0,468–6170,9</u> 68,19	<u>0,567–330,51</u> 5,39	<u>54,12–807,4</u> 92,97	<u>4,761–875,5</u> 55,15	<u>98,94–3722,3</u> 402,1
Suma WWA _{US EPA}	<u>0,430–6020,3</u> 62,17	<u>0,512–307,2</u> 13,57	<u>50,52–719,9</u> 84,99	<u>4,328–804,4</u> 51,12	<u>88,62–3310,2</u> 359,2

zawartość minimalna — zawartość maksymalna
 mediana
minimum contents — maximum contents
 median

najwięcej gazu, wykonano kilka ręcznych odwiertów (sondowań). Łącznie do badań pobrano 49 próbek.

Analizy zawartości BTEX (benzen, etylobenzen, toluen, o-ksylen, p-ksylen i m-ksylen) w próbkach gleb wykonano przy użyciu układu HEADSPACE (19395A) — chromatograf gazowy (5890II) z detektorem spektrometrem mas (5971) GC/MSD firmy Hewlett-Packard i polarnej kolumny kapilarnej HP-FFAP. Analizę przeprowadzono metodą wzorca zewnętrznego (certyfikowany standard DWM-570, firmy ULTRA Scientific).

Oznaczenia zawartości wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (WWA) — acenaftylenu, acenaftenu, fluorenu, fenantrenu, antracenu, fluorantenu, pirenu, benzo[a]antracenu, chryzenu, benzo[b]fluorantenu, benzo[k]fluorantenu, benzo[e]pirenu, perylenu, indeno[1,2,3-cd]pirenu, dibenzo[ah]antracenu, benzo[ghi]perylenu wykonano po zastosowaniu ekstrakcji analizowanych związków dichlormetanem w aparacie Soxtec. Ekstrakty po odsiarczeniu, zateżano w aparacie TurboVap. Analizy chromatograficzne przeprowadzono przy użyciu chromatografu gazowego 5990 II z detektorem spektrometrem mas GC-MSD 5971 firmy Hewlett-Packard. Rozdziały wykonano w kolumnie niepolarniej HP-5 MS (długość 25 m, średnicy 0,2 mm, film 0,33 m (5%)-difenilo-(95%)-dimetylopolisilikan), stosując programowanie temperatury: w zakresie 70–200°C 10°C/min, a w zakresie 200–300°C 2,5°C/min. Detektor spektrometr mas pracował w temperaturze 280°C. Analizę przeprowadzono metodą wzorca zewnętrznego, stosując certyfikowany standard PM-612 firmy ULTRA Scientific oraz certyfikowane wzorce benzo(e)pirenu i perylenu firmy Promochem. Oznaczenia BTEX, WWA w próbkach gleb wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.

Wyniki badań

Wykonane oznaczenia węglowodórów z grupy BTEX wykazały zróżnicowanie w ich zawartości na terenie różnych gazowni. Odnotowano znaczne wyższą ich zawartość w próbkach pobranych na terenach Gazowni I w porównaniu do próbek gleb pobranych na terenie innych gazowni, zwłaszcza w próbkach pobranych z głębszych poziomów z

otworów usytuowanych ok. 30 m od dołów smołowych oraz z piezometrów usytuowanych na placu przeładunkowym, zlokalizowanych w obrębie odpływu wód podziemnych. Zawartość BTEX w tych próbkach wynosiła kilka do kilkunastu tysięcy ppb. Stwierdzono przekroczenie, według kryteriów obowiązujących w Kanadzie, dopuszczalnego stężenia toluenu dla gruntów przemysłowych (tab. 2). Próbki gleb i gruntów pobranych na terenach pozostałych gazowni charakteryzowały się na ogół niewielką zawartością związków z grupy BTEX, nie przekraczającą kilkudziesięciu ppb (tab. 2). W glebach stwierdzano na ogół znacznie niższe niż dopuszczalne zawartości stężenia tych związków dla gruntów użytkowanych rolniczo. W części badanych próbek stężenia tych związków były nawet poniżej limitu detekcji dla zastosowanej metody analitycznej.

Prawie wszystkie zbadane próbki gleb pobrane na terenie gazowni wyróżniają się podwyższoną zawartością **wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych** w stosunku do zawartości tła WWA w glebach, która jest niższa od 0,2 ppm (Kordybach-Maliszewska & Terlak, 1999). Mediana zawartości niepodstawionych poliarenów z tzw. listy US EPA w zbadanych próbkach z poszczególnych gazowni wahała się od kilkunastu do kilkuset ppm (tab. 3) i przekraczała zawartość 10 ppm, co wskazuje na silne zanieczyszczenie gleb (Kabata-Pendias i in., 1995). Tereny, z których pobrano próbki gleb do badań są przykryte czwartorzędowymi osadami takimi jak: mułki, piaski, ropy, gliny zwałowe i ich eluwia oraz torfy. Gleby ukształtowane na utworach czwartorzędowych charakteryzują się bardzo niską zawartością wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (Bojakowska & Sokołowska, 1998).

Spośród oznaczonych związków dominującymi składnikami w składzie WWA zbadanych gleb są związki czteropierścieniowe: fluoranten i piren (tab. 4). Znaczny udział ma także trójpierścieniowy fenantren, czteropierścieniowy chryzen i benzo(a)antracenu, a ze związków pięciopierścieniowych: benzo(b)fluoranten, benzo(a)piren i benzo(e)piren. Podczas, gdy w węglach kamiennych, które były surowcem do produkcji gazu dominującymi składnikami obok fenantrenu jest chryzen i benzo(e)piren (Boja-

Tab. 4. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w glebach poszczególnych gazowni (ppm)
 Table 4. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of individual old gasworks (ppm)

Węglowódor	Gazownia I	Gazownia II	Gazownia III	Gazownia IV	Gazownia V
Naftalen (Nf)	<0,001–14,084 0,002	<0,00–0,007 <0,001	<0,001–0,005 <0,001	<0,001–0,004 <0,001	<0,001–0,003 <0,001
Acenaftylen (Ace)	0,004–487,8 0,521	0,005–5,2 0,0975	0,16–2,8 0,406	0,023–3,58 0,33	0,17–8,7 0,875
Acenaften Acf)	0,002–124,8 0,198	0,002–0,7 0,02	0,093–1,06 0,2355	0,012–2,281 0,514	0,07–1,3 0,245
Fluoren (Fl)	0,005–567,0 0,37	0,004–5,0 0,055	0,28–2,8 0,4	0,024–4,77 0,949	0,12–1,8 0,81
Fenantren (Fen)	0,03–1574,0 5,15	0,037–37,4 0,883	5,40–59,1 7,85	0,322–75,7 8,288	3,16–41,8 20,01
Antracen (Ant)	0,006–728,0 1,21	0,007–13,4 0,227	0,78–5,4 1,00	0,038–18,8 2,133	0,66–37,6 3,49
Fluoranten (Flu)	0,077–728,0 9,26	0,063–49,9 1,553	9,29–104,8 15,28	0,652–144,63 8,167	14,35–418,85 5,27
Piren (Pir)	0,069–538,0 8,11	0,053–42,3 1,434	7,73–86,1 12,33	0,546–120,42 6,574	12,35–401,6 43,07
Benz[a]antracen (BaA)	0,039 333,4 6,21	0,039–31,8 1,109	3,69–57,2 6,11	0,368–76,92 3,785	8,75–492,3 31,54
Chryzen (Ch)	0,043–273,4 6,18	0,048–28,0 1,157	4,18–74,9 7,74	0,458–77,63 4,159	8,94–471 41,07
Benzo[b]fluoranten (BbF)	0,041–199,2 5,73	0,064–21,0 1,591	4,23–77,4 8,02	0,502–78,17 3,771	9,5–415,9 51,44
Benzo[k]fluoranten (BkF)	0,019–83,7 2,51	0,036–15,2 0,638	1,49–44,7 3,88	0,251–34,74 1,884	4,74–147,7 21,40
Benzo[e]piren (BeP)	0,033–112,7 4,53	0,051–17,5 1,412	2,63–67,2 5,87	0,344–53,37 3,021	7,51–324,6 36,22
Benzo[a]piren (BaP)	0,034–192,0 5,89	0,044–26,0 1,55	3,89–69,4 7,74	0,354–69,39 3,741	8,64–309,2 22,93
Perylen (Per)	0,005–37,9 1,49	0,004–5,8 0,412	0,97–20,2 2,11	0,088–17,8 1,002	2,81–87,5 6,65
Indeno[1,2,3-cd]piren (IndP)	0,029–84,3 4,72	0,054–14,4 1,482	6,15–65,5 6,89	0,384–47,16 3,221	8,17–274,4 33,46
Dibenz[ah]antracen (DahA)	0,003–22,7 0,97	0,009–3,4 0,241	0,423–11,9 1,05	0,062–9,52 0,556	1,32–61,1 6,345
Benzo[ghi]perylene (Bper)	0,028–69,9 5,14	0,046–13,5 1,535	2,73–56,9 6,09	0,332–40,64 3,054	7,68–227 27,31

zawartość minimalna — zawartość maksymalna
 mediana
 minimum contents — maximum contents
 median

kowska & Sokołowska, 2001). Zaobserwowano wyraźnie zwiększony udział benzo(a)pirenu w składzie WWA w glebach starych gazowni, w porównaniu do gleb niezanieczyszczonych (Bojakowska & Sokołowska, 1998). Zwraca uwagę występowanie prawie we wszystkich zbadanych próbkach benzo(a)pirenu w stężeniach wielokrotnie przekraczających 0,7 ppm. Stężenie to, według norm kanadyjskich, jest uznane za dopuszczalną zawartość tego związku w gruntach użytkowanych przemysłowo. Gleby takie mogą być źródłem narażenia osób wykorzystujących te tereny jako ogródki działkowe lub pracujących w pomieszczeniach budynków zaadaptowanych na biura.

Interesująco przedstawia się względny udział poszczególnych poliarenow w składzie WWA, w próbkach gleb pobranych przy różnych obiektach gazowni: zbiornikach

gazu, piecowni, aparatowni lub dołach smołowych (ryc. 3). W glebach pobranych w sąsiedztwie zbiorników gazu oraz aparatowni, w składzie zbadanych poliarenów dominuje fluoranten, piren i fenantren, natomiast w glebach w sąsiedztwie piecowni dominującymi związkami są fluoranten, benzo(a)piren i benzo(b)fluoranten, zaś w miejscach, gdzie źródłem zanieczyszczenia gleb była smoła jest widoczny wyraźny względny wzrost zawartości pięciopierścieniowego benzo(b)fluorantenu oraz sześciopierścieniowego indeno[1,2,3-cd]pirenu i benzo[ghi]perylene.

Podsumowanie

Stopień zanieczyszczenia gleb na terenach poszczególnych gazowni jest zróżnicowany, nie tylko z powodu stoso-

wanej technologii i wielkości produkcji gazu, wykorzystywania w produkcji gazu różnych surowców, wytwarzania odpadów i sposobów ich zagospodarowywania, ale także wskutek przeprowadzonych prac rozbiórkowych, niektórych obiektów (np. zbiorników na smołę, zbiorników na gaz, czy aparatuwni), wywiezienia części wierzchnich warstw gruntów i nawiezienia w ich miejsce kilkudziesięciocentymetrowej warstwy nie zanieczyszczonej gleby.

Przeprowadzone badania wykazały, że gleby na terenie starych gazowni, które nie zostały zrehabilitowane, charakteryzują się bardzo wysoką zawartością wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, wielokrotnie przekraczającą wartość 10 ppm. Zwraca uwagę bardzo wysoka zawartość benzo(a)pirenu prawie we wszystkich zbadanych próbkach gleb, znacznie wyższa (nawet kilkadziesiąt razy) od dopuszczalnej zawartości tego związku w glebach terenów przemysłowych. Niepokojąca jest również bardzo wysoka zawartość benzo(a)pirenu w glebach terenów, które są obecnie użytkowane jako ogródki działkowe. Tereny starych gazowni, na których nie przeprowadzono całkowitej rekultywacji, poprzedzonej prawidłowym rozpoznaniem zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych, ze względu na znajdujące się w podłożu zanieczyszczenia mogą w wielu przypadkach być przyczyną narażenia pracowników, jak również użytkowników terenów rekreacyjnych lub mieszkańców na ekspozycję zanieczyszczeń, poprzez zjadanie roślin wyprodukowanych w ogródkach przydomowych, wdychanie ulatniających się z gleb i podłoża skalnego lotnych związków organicznych, zwłaszcza benzenu, picie zanieczyszczonej wody. Pomimo, że powierzchnia terenu została uporządkowana, to jednak w podłożu nadal pozostały zanieczyszczenia, które mogą wpływać na jakość wód podziemnych oraz powietrza gruntowego migrującego do zabudowań.

Zaobserwowano zróżnicowanie w składzie WWA w próbkach gleb pobranych przy różnych obiektach gazowni: zbiornikach gazu, piecowni, aparatuwni lub dołach smołowych, przy czym w sąsiedztwie piecowni i dołów smołowych odnotowano względne podwyższenie zawartości związków pięcio- i sześciopierścieniowych

Prace nad rozpoznaniem stopnia zanieczyszczenia terenów starych gazowni należałoby rozpocząć jak najszybciej ze względu na fakt, że osoby, które mogą udzielić informacji, odnośnie lokalizacji poszczególne obiekty na terenie danej gazowni, są już w wieku przedemerytalnym lub emerytalnym i w związku z powyższym uzyskanie tych informacji będzie coraz trudniejsze.

Literatura

- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1998 — Tło geochemiczne wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach leśnych. *Prz. Geol.*, 46: 1083–1085.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 2001 — Polycyclic hydrocarbons in hard coals from Poland. *Geol. Quart.*, 45: 87–92.
- CCME (Council of Ministers of the 1999) — Canadian Environmental Quality Guidelines.
- FILIPOWSKI E. 1946 — Gazownictwo w Polsce Odrodzonej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 20: 155–161.
- HOPPE I. & PERLIŃSKA A. 2000 — 140 lat Gazowni Bydgoskiej. *Od światła płomyka. Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A.* Bydgoszcz.
- IRMIŃSKI W. 1996 — Rozpoznanie i klasyfikacja starych składowisk odpadów w aspekcie zagrożeń geosfery — etap I. CAG PIG 163/97.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., MOTOWICKA-TERELAK T., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., FILIPIAK K., KRAKOWIAK A. & PIETRUCH CZ. 1995 — Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska. PIOŚ Warszawa.
- MALISZEWSKA-KORDYBACH B. & TERELAK H. 1996 — Evaluation of the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from rural region of Poland (Lublin Province). II Inter. Sym. Exhb. Environmental Contamination in Central and Eastern Europe. Warsaw, 1996: 81–83.