

ZANIECZYSZCZENIE GLEB LOTNISKA W DĘBLINIE SUBSTANCJAMI ROPOPOCHODNYMI

STANISŁAW BARAN, PATRYK OLESZCZUK

Akademia Rolnicza w Lublinie, Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin

Keywords: soil contamination, polycyclic aromatic hydrocarbons, oil contamination, airfield contamination.

SOIL CONTAMINATION WITH FUEL-OIL HYDROCARBONS IN THE VICINITY OF DĘBLIN AIRFIELD

Soil contamination with petroleum hydrocarbons is a serious problem. In the soil in the location of highways, fuel pumping station and airfields high pollutant concentrations are found. The contents of total hydrocarbons (THC) and 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were analysed in the surface (0–20 cm) soil samples from airfields in Dęblin. Marked differences in the pollution level of the above areas were noted. The PAH contents ranged from 113 to 5638 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and THC contents range from 40 to 430 mg/kg . The analysis was carried out by reverse phase HPLC (PAHs) and SOXTEC apparatus according to Polish norm PN-86/C-04573/01.

Streszczenie

Zanieczyszczenie gleb przez substancje ropopochodne stanowi poważny problem wymagający intensywnych badań. Do miejsc, szczególnie narażonych na tego typu zjawiska można zaliczyć: okolice tras komunikacyjnych, stacji benzynowych i lotnisk. W pracy oznaczano całkowitą zawartość węglowodorów, jak również 16 WWA w glebach lotniska w Dęblinie. Zaobserwowano wyraźne różnice w zanieczyszczeniu badanych obszarów. Oznaczone stężenia wahały się od 113 do 5638 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 16 WWA oraz od 40 do 430 mg/kg całkowitej zawartości węglowodorów (CZW). Analizę przeprowadzono za pomocą wysokosprawną chromatografię cieczową o odwróconych fazach (WWA) oraz na aparacie SOXTEC wg normy PN-86/C-04573/01 (CZW).

WPROWADZENIE

Zanieczyszczenia ropopochodne środowiska glebowego należą do jednych z najbardziej uciążliwych, trudnych i kosztownych w likwidacji. Rosnące zapotrzebowanie na produkty przemysłu naftowego i wynikająca z tego konieczność ich transportu i magazynowania stwarza niebezpieczeństwo wnikania ich do gleb.

Silne skażenie gleb ropą naftową i produktami pochodnymi prowadzi do drastycznych i długotrwałych zmian w środowisku glebowym. Skażenie gleb substancjami ropopochodnymi powoduje wyłączenie gruntów uprawnych z produkcji rolniczej na wiele

lat. W Polsce w latach 1970–1990 miało miejsce 255 awarii w wyniku których zostały zanieczyszczone grunty i wody gruntowe [6]. Przeważająca część z tych awarii (34%) spowodowana była niewłaściwą obsługą i eksploatacją urządzeń magazynowania dystrybucji i transportu [6]. Szczególnie wysokie poziomy zanieczyszczeń ropopochodnych notuje się na terenach baz wojskowych oraz lotnisk [7, 8].

Składnikiem wielu substancji ropopochodnych są węglowodory aromatyczne [5]. Ich udział w zależności od rodzaju substancji może wahać się od 4 do 22% [2, 15]. Najbardziej szkodliwą grupą węglodorów aromatycznych są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Należą one do grupy tzw. trwałych zanieczyszczeń organicznych [10], których właściwości mutagenne i kancerogenne wykazane zostały w wielu pracach [3, 16].

W pracy analizowano zawartość wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych oraz całkowitą zawartość węglodorów w glebach lotniska w Dęblinie, narażonych zarówno na bezpośrednie – punktowe zanieczyszczenia ropopochodne jak również rozproszone wzdłuż pasa startowego.

METODYKA BADAŃ

Wysuszone i zmielone próbki gleb (20 g) ekstrahowano w wannie ultradźwiękowej dwoma porcjami ($2 \times 40 \text{ cm}^3$) dichlorometanu. Ekstrakt odwirowano, odparowano do sucha, a następnie rozpuszczono w 4 cm^3 acetonitrylu.

Ekstrakt oczyszczano techniką SPE (Solid Phase Extraction) przy zastosowaniu kolumnienek C_{18} firmy J.T. Baker-Mallinckrodt (Octadecyl C_{18} – 500 mg, 3 cm^3). Kolumnienkę kondycjonowano jedną porcją metanolu ($1 \times 3 \text{ cm}^3$), następnie dwoma porcjami ($2 \times 3 \text{ cm}^3$) mieszaniny 2-propanol : woda (1 : 9). Nie dopuszczając do wysuszenia podawano na kolumnienkę 4 cm^3 roztworu otrzymanego z ekstrakcji. Po wysuszeniu kolumnienkę przemywano jedną porcją ($1 \times 3 \text{ cm}^3$) mieszaniny metanol : woda (1 : 1), suszono po czym oznaczane związki eluowano 3 cm^3 acetonitrylu.

Analizę ilościową i jakościową wykonano na chromatografie cieczowym (Thermo-Separation Product). Jako fazę ruchomą stosowano mieszaninę acetonitryl : woda (80 : 20, v/v). Do rozdzielania 16 WWA wykorzystano kolumnę Spherisorb-PAH (Schambeck SFD GmbH, Niemcy). Przepływ fazy ruchomej ustalono na $1 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Całkowitą zawartość węglodorów (CZW) ekstrahujących się eterem naftowym oznaczano metodą wagową według polskiej normy PN-86 /C-04573/01 na aparacie SOXTEC firmy Tecator.

Analizę statystyczną wykonano w oparciu o programy Arstat (AR Lublin) oraz MS Excel 2000.

WYNIKI I DYSKUSJA

ZAWARTOŚĆ WĘGLOWODORÓW W BADANYCH GLEBACH LOTNISKA

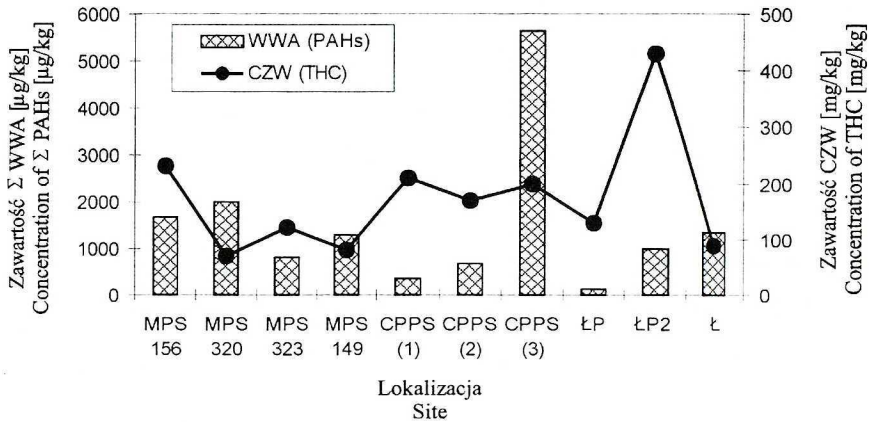
Zakres stężeń wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych oraz średnią arytmetyczną i medianę przedstawiono w tabelach 1 i 2. Oceniano zawartość WWA i sumy węglodorów ropopochodnych na dwóch obszarach:

- a) obszar lotniska narażony na punktowe źródła zanieczyszczeń (Tab. 1, Rys. 1);

Tabela 1. Zakres, średnia arytmetyczna i mediana zawartości WWA w glebach na obszarze lotniska

Range of concentrations, arithmetic mean and median of PAHs in airfield soils

WWA PAH	Głębokość 0–20 [cm] Depth 0–20 [cm]		
	Zakres Range of concentra- tions [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Śred. art. Arithmetic mean [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Mediana Median [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
Na	5,7-417,5	137,9	95,8
Ac	n.o. ^a -54,5	24,0	24,5
Ace	n.o. ^a -370,9	90,0	38,3
F	n.o. ^a -26,7	6,0	2,7
Ph	7,5-449	124,6	84,0
A	0,5-164,5	24,8	8,8
Fl	4,2-775,9	179,9	98,6
P	1,7-654,7	119,6	62,2
BaA+Ch	15,3-794,1	171,4	97,4
BbF	n.o. ^a -645,2	131,3	51,0
BkF	n.o. ^a -201,7	42,2	20,9
BaP	9,9-464,5	96,9	31,7
DahA	n.o. ^a -849,1	272,1	236,5
BghiP	n.o. ^a -493,2	68,1	22,4
IP	n.o. ^a -19,1	5,2	3,4

^a – nie stwierdzono; not detected

Rys. 1. Zawartość sumy 16 WWA i całkowita zawartość węglowodorów (CZW) w glebach na obszarze lotniska (0–20 cm)

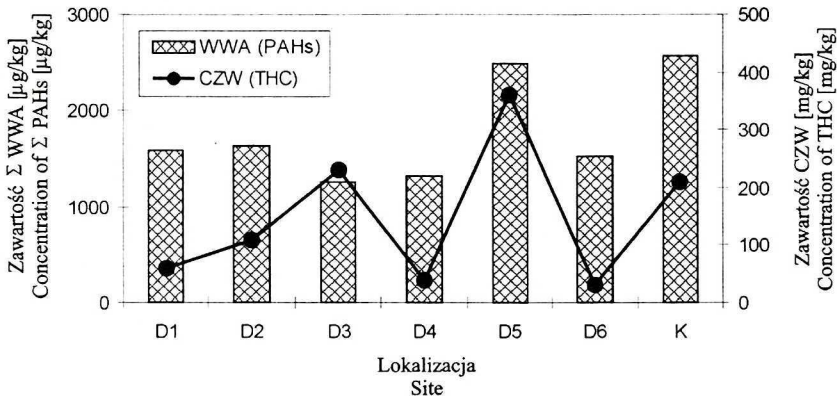
Concentration of 16 PAHs and total hydrocarbons contents (THC) in airfield soils

- b) na płycie lotniska w otoczeniu pasa startowego samolotów narażonej na zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi rozpraszonymi przez silniki samolotowe (Tab. 2, Rys. 2 i 3).

Tabela 2. Zakres, średnia arytmetyczna i mediana zawartości WWA w glebach wzdłuż pasa startowego
Range of concentrations, arithmetic mean and median of PAHs in the soil in the location of runway

WWA PAH	Głębokość 0–20 [cm] Depth 0–20 [cm]			Głębokość 20–40 [cm] Depth 20–40 [cm]		
	Zakres Range of concentrations [µg/kg]	Śred. art. Arithmetic mean [µg/kg]	Mediana Median [µg/kg]	Zakres Range of con- centrations [µg/kg]	Śred. art. Arithmetic mean [µg/kg]	Mediana Median [µg/kg]
Na	n.o. ^a -288,2	125,3	90,4	79,3-149,7	106,8	108,7
Ac	315,8-737,8	501,4	495,5	n.o. ^a -401,0	149,6	0,0
Ace	158-328,8	241,5	225,6	158,0-224,7	184,4	180,3
F	n.o. ^a -114,6	55,1	73,9	9,7-71,7	38,4	26,9
Ph	6,6-50,2	21,2	12,7	3,6-14,4	7,5	6,9
A	1,9-11,2	5,2	3,3	0,9-4,8	2,3	1,8
Fl	62,8-135,5	94,8	82,4	58,4-70,5	62,5	60,3
P	69,4-227,7	108,3	77,5	58,5-98,4	79,7	72,1
BaA	59,4-114,7	79,8	75,1	58,2-75,9	65,4	62,2
Ch	57,2-95,5	72,1	71,3	54,2-63,1	58,5	57,6
BbF	81,5-131,5	104,2	96,2	59,8-110,4	75,7	70,3
BkF	n.o. ^a -141,3	75,4	64,3	57,4-92,3	68,9	62,2
BaP	48,6-75,6	60,3	61,9	47,5-64,5	54,7	53,8
DahA	n.o. ^a -158,9	64,9	82,5	n.o. ^a -165,2	23,6	0,0
BghiP	n.o. ^a -66,2	21,0	25,3	n.o. ^a -43,8	15,1	0,0
IP	n.o. ^a -134,5	105,7	121,9	n.o. ^a -123,1	17,6	0,0

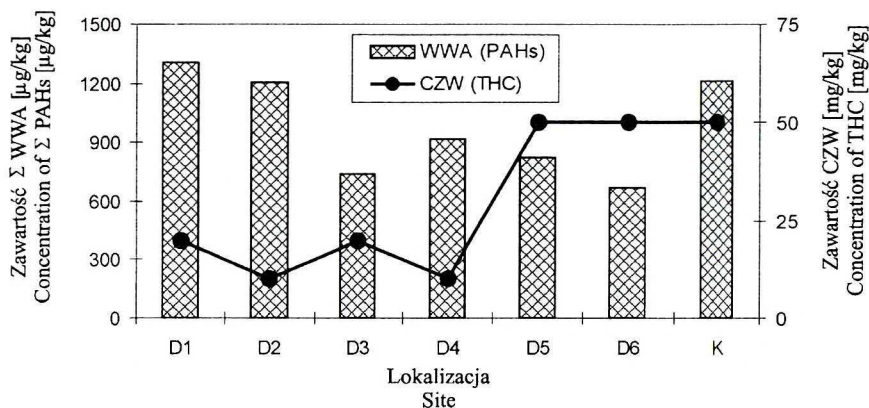
^a – nie stwierdzono; not detected



Rys. 2. Zawartość sumy 16 WWA i całkowita zawartość węglowodorów (CZW) w glebach wzdłuż pasa startowego lotniska (0–20 cm)
Concentration of 16 PAHs and total hydrocarbons contents (THC) in the soil in the location of runway (0–20 cm)

Zarówno w pierwszym jak i w drugim obszarze stężenie sumy 16 WWA (poza nielicznymi próbkami) wahało się na poziomie 1000–2000 µg/kg (Rys. 1 i 2).

W przypadku obszaru lotniska uwagę zwraca punkt CPPS3 charakteryzujący się najwyższym poziomem zanieczyszczenia (5657,3 µg/kg). Mimo jednakowego przeznaczenia, co obszary CPPS1 i CPPS2 zawartość WWA w glebach CPPS3 jest kilkakrotnie wyższa. Obszar CPPS jest miejscem postoju samolotów i zaopatrywania ich w paliwo,



Rys. 3. Zawartość sumy 16 WWA i całkowita zawartość węglowodorów (CZW) w glebach wzdłuż pasa startowego lotniska (20–40 cm)

Concentration of 16 PAHs and total hydrocarbons contents (THC) in the soil in the location of runway (20–40 cm)

co może sprzyjać punktowemu zanieczyszczeniu gleb. Wysoki poziom WWA w CPSP3 jest najprawdopodobniej wynikiem takiego właśnie zanieczyszczenia. Fakt ten potwierdza także analiza organoleptyczna, wykazująca intensywny benzynowy zapach próbki CPSP3.

Drugim punktem, który istotnie różni się od pozostałych jest ŁP. Wykazuje on bardzo niską zawartość analizowanych WWA (113,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$), porównywalną z rolniczymi obszarami o ograniczonej antropopresji [14]. Próbka ŁP pochodzi z sąsiedztwa łapacza paliwa, co sugerowałoby raczej zwiększony poziom zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

W przypadku próbek glebowych pobranych w otoczeniu pasa startowego nie obserwuje się tak wyraźnego zróżnicowania jak miało to miejsce w przypadku punktowych źródeł zanieczyszczeń z terenu lotniska. Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wahała się w granicach od 1264 do 2482 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Rys. 2).

Całkowita zawartość węglowodorów (CZW) ekstrahujących się eterem naftowym na obszarze lotniska i wzdłuż pasa startowego wykazywała pewne zróżnicowanie. Średnia ich zawartość na obszarze lotniska (173 mg/kg) była nieco wyższa niż wzdłuż pasa startowego (136 mg/kg) (Rys. 1 i 2). Szczególnie wysokie stężenie CZW (430 mg/kg) oznaczono w punkcie ŁP2 (Łapacz paliwa) oraz D5 (1600 m od początku pasa startowego). W przypadku pozostałych próbek stężenia CZW nie przekraczały 230 mg/kg .

Zawartość WWA w glebach na terenie lotniska, jest porównywalna z ich zawartością w glebach rolniczych terenów uprzemysłowionych [20]. Oznaczone przez Wodeckiego i wsp. [19] zawartości WWA w glebach uprawnych znajdujących się w pobliżu autostrad były rzędu 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Z kolei zawartość WWA w glebach Tarnowskich Gór oznaczona przez Maliszewską-Kordybach [11] wahała się do 62 do 12 760 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ze średnią wartością 1852 $\mu\text{g}/\text{kg}$, a więc zbliżona była do danych uzyskanych w niniejszych badaniach.

W celu oceny stopnia zanieczyszczenia gleb przez wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne opracowano liczne kryteria. Do najbardziej znanych i najczęściej sto-

sowanych należą zalecenia Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA) [17], lista holenderska [18], lista berlińska [4] oraz propozycje krajowe [4, 9].

W tabeli 3 przedstawiono ocenę stopnia zanieczyszczenia gleb lotniska w Dęblinie uwzględniając klasyfikację proponowaną przez IUNG [4]. Rzeczywistą sumę WWA otrzymano, korzystając ze wzoru, uwzględniającego zawartość substancji organicznych [4]:

$$\text{Suma WWA } [\mu\text{g/kg}] = 2\% \cdot \frac{\text{oznaczona suma zawartości WWA } [\mu\text{g/kg}]}{\text{zawartość próchnicy w glebie } [\%]}$$

Tabela 3. Stopień zanieczyszczenia przez WWA gleb lotniska w Dęblinie
Degree of contamination by PAHs Dęblin's airfield soils

Suma zawartości WWA* Sum of concentration PAH	Stopień zanieczyszczenia Degree of contamination	Ocena gleby Soil evaluation	Udział w sumie prób [%]** Percent of soil samples
< 200	0	Nie zanieczyszczona (zawartość naturalna)	5,9
200-600	I	Nie zanieczyszczona (zawartość podwyższona)	5,9
600-1000	II	Mało zanieczyszczona	17,7
1000-5000	III	Zanieczyszczona	70,5
5000-10 000	IV	Silnie zanieczyszczona	0
>10 000	V	Bardzo silnie zanieczyszczona	0

* - dla 16 WWA wg US EPA; for 16 PAHs according to US EPA.

** - n = 17

Rozpatrując cały badany obszar lotniska należy stwierdzić, że około 2/3 gleb należy do grupy III (Tab. 3), czyli są to gleby zanieczyszczone. Natomiast nie stwierdzono zawartości WWA, który klasyfikował by gleby badanego obszaru do silnie i bardzo silnie zanieczyszczonych. W przypadku pozostałych próbek gleby mało zanieczyszczone stanowiły 17,7%, a nie zanieczyszczone 11,8%.

ZMIANA ZAWARTOŚCI WWA W PROFILU BADANYCH GLEB

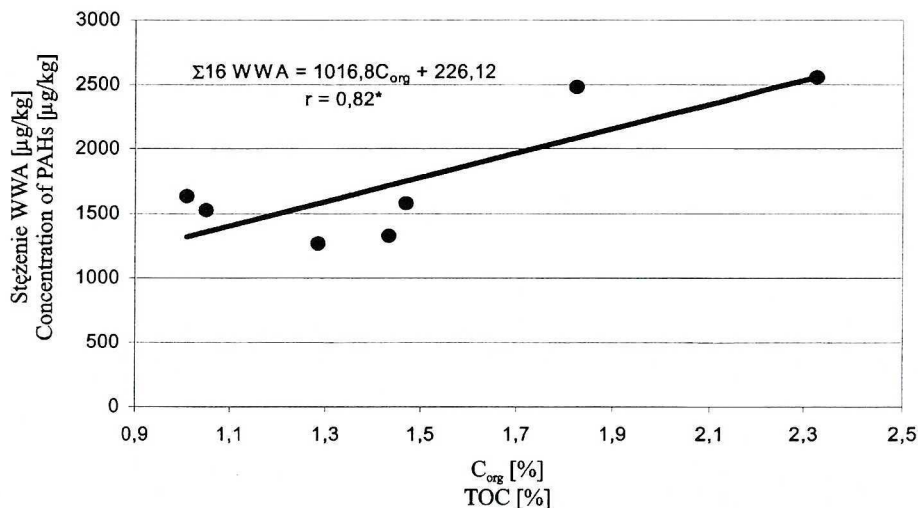
Przemieszczanie WWA w środowisku glebowym zależy od wielu czynników, a przede wszystkim właściwości gleb i właściwości fizyko-chemicznych WWA [11, 14]. Zatrzymywanie WWA i innych zanieczyszczeń organicznych w istotnym stopniu warunkowane jest zawartością materii organicznej [13].

Zwartość procentowa C_{org} w badanych glebach wahała się od 1,05 do 1,82 w warstwie 0–20 cm i od 0,23 do 0,56 w warstwie 20–40 cm. Obliczone współczynniki korelacji Pearsona zależności poszczególnych WWA od zawartości C_{org} wahały się w szerokich granicach (dla głębokości 0–20 cm $r = 0,226-0,869$; dla głębokości 20–40 cm $r = -0,328-0,853$). Wysokie współczynniki korelacji (przy $\alpha < 0,01$) zaobserwowano dla acenaftalenu ($r = 0,698$), antracenu ($r = 0,760$), pirenu ($r = 0,869$), benzo[k]fluorantenu

($r = 0,714$) oraz benzo[ghi]peryleny ($r = 0,727$) w przypadku głębokości 0–20 cm, a także fluorantenu ($r = 0,913$) dla głębokości 20–40 cm.

We wszystkich przypadkach współczynniki korelacji przyjmowały większe wartości dla głębokości 0–20 cm niż 20–40 cm, co uwarunkowane jest zawartością substancji organicznej.

Wykazano również wysoką zależność pomiędzy zawartością C_{org} a sumą 16 oznaczanych WWA (przy $\alpha = 0,01$), której nie zaobserwowano w przypadku głębokości 20–40 cm (Rys. 4).



Rys. 4. Zależność pomiędzy zawartością węgla organicznego (C_{org}), a stężeniem WWA w badanych glebach (dla gleb wzdłuż pasa startowego 0–20 cm)

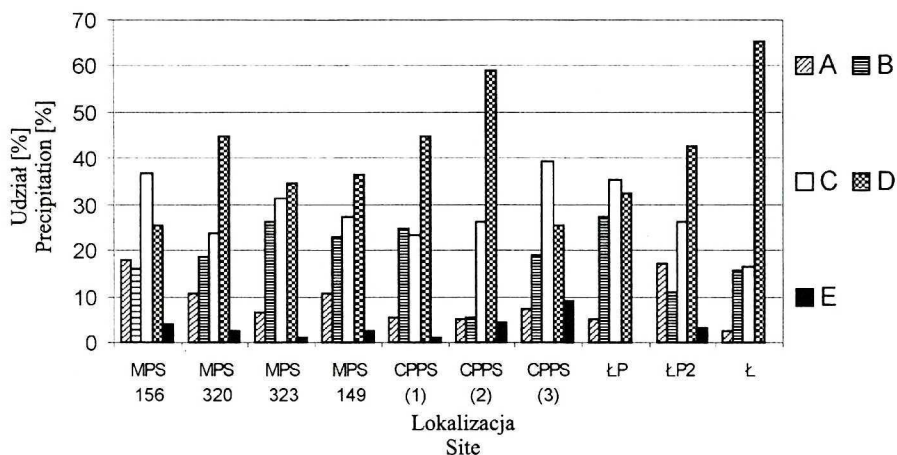
Relationship between organic carbon contents and PAHs concentrations in investigated sites (in the soil in the location of runway 0–20 cm)

Zawartość WWA w badanych warstwach gleb różniła się istotnie (Rys. 2 i 3). Jedyne próbki D1 charakteryzowała się w obydwu warstwach zbliżoną zawartością WWA, w przypadku pozostałych różnice pomiędzy warstwami były wyraźniejsze na korzyść warstwy powierzchniowej, np. w próbce D5, 75% WWA znajdowało się w warstwie 0–20 cm. Także prace innych autorów [1] wskazują na istotne zmniejszanie się zawartości WWA wraz z głębokością. Zmiany te jednakże są wyraźniejsze w odróżnieniu od naszych badań, co wynika przede wszystkim z różnic w zawartości C_{org} pomiędzy próbkami.

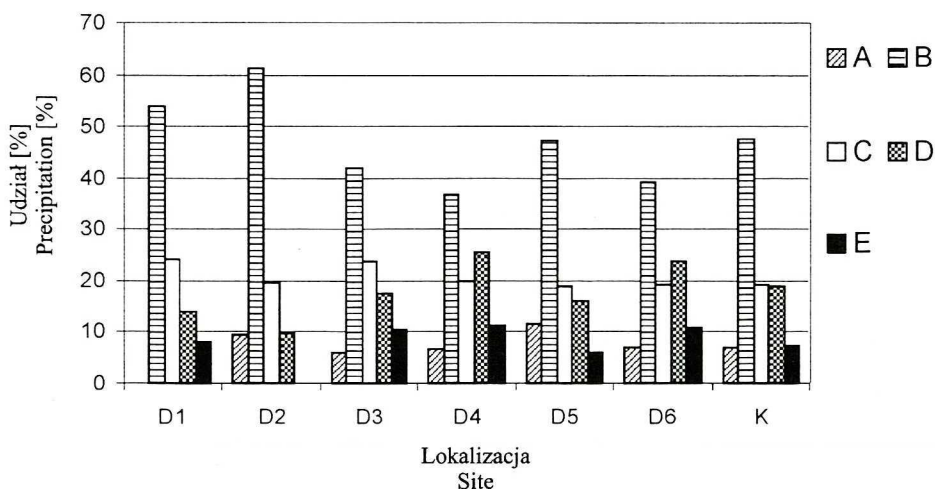
Oczywiście wynikłe różnice nie są jedynym powodem determinującym zawartość WWA w poszczególnych warstwach. Istnieje wiele czynników, które mogą wpływać na przemieszczanie się WWA w głąb profilu glebowego. W literaturze wykazany został istotny wpływ: rozpuszczalnej materii organicznej, cząstek koloidalnych i niektórych mikroorganizmów pełniących rolę nośników (ang. *carriers*) WWA w glebach [13]. W przypadku bardziej lotnych i rozpuszczalnych w wodzie WWA (2–3 pierścieniowe), pewną rolę odgrywać mogą również procesy parowania i wylukiwania [1].

ZAWARTOŚĆ WWA W ZALEŻNOŚCI OD LICZBY PIERŚCIENI

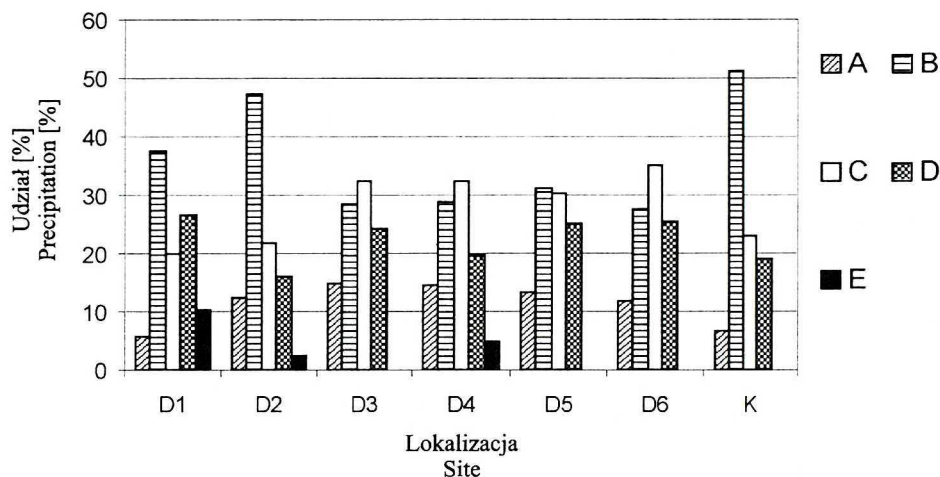
Na rysunkach 5–7 przedstawiono udział procentowy WWA w zależności od liczby pierścieni, co wskazuje na wyraźne różnice w ich składzie. W glebach obszaru lotniska



Rys. 5. Udział procentowy WWA w zależności od liczby pierścieni – na obszarze lotniska: A – 2-pierścieniowe; B – 3-pierścieniowe; C – 4-pierścieniowe; D – 5-pierścieniowe; E – 6-pierścieniowe
Precipitation [%] of PAHs depending on number of rings – in airfield area: A – 2-rings; B – 3-rings; C – 4-rings; D – 5-rings; E – 6-rings



Rys. 6. Udział procentowy WWA w zależności od liczby pierścieni – wzdłuż pasa startowego (0–20 cm): A – 2-pierścieniowe; B – 3-pierścieniowe; C – 4-pierścieniowe; D – 5-pierścieniowe; E – 6-pierścieniowe
Precipitation [%] of PAHs depending on number of rings – in the location of runway (0–20 cm): A – 2-rings; B – 3-rings; C – 4-rings; D – 5-rings; E – 6-rings



Rys. 7. Udział procentowy WWA w zależności od liczby pierścieni – wzdłuż pasa startowego lotniska w Dęblinie (20–40 cm): A – 2-pierścieniowe; B – 3-pierścieniowe; C – 4-pierścieniowe; D – 5-pierścieniowe; E – 6-pierścieniowe

Precipitation [%] of PAHs depending on number of rings – along runway (20–40 cm): A – 2-rings; B – 3-rings; C – 4-rings; D – 5-rings; E – 6-rings

dominują węglowodory pięciopierścieniowe. W większości próbek ich udział jest znaczny i przekracza 1/3 sumy badanych WWA. Udział węglodorów 3 i 4 pierścieniowych jest bardzo zbliżony i niemal we wszystkich próbkach stanowi odpowiednio 15–30% oraz 20–40%. Udział węglodorów 6 pierścieniowych jest nieznaczny, podobnie jak 2-pierścieniowego naftalenu.

Odmienne przedstawia się skład grupowy węglodorów w glebach wzdłuż pasa startowego. Dominującą grupę węglodorów w tym przypadku stanowią 3 pierścieniowe WWA (38–62%). Zauważa się wyraźną ich dominację we wszystkich analizowanych próbkach, szczególnie na początku pasa i w odległości 400 m od niego. W kolejnych próbkach (D3–D6), udział 3-pierścieniowych węglodorów jest mniejszy jednak nadal dominujący.

W przypadku głębokości 20–40 jedynie w dwóch próbkach (początek pasa startowego (D1) i 400 m od niego (D2) nadal utrzymuje się dominacja węglodorów trójpierścieniowych. W pozostałych próbkach (D3, D4, D5 i D6) zauważa się wyraźny wzrost udziału węglodorów cztero i pięciopierścieniowych. Węglowodory te mimo powinowactwa do materii organicznej i związanym z tym procesami sorpcyjnymi mogą jednak przemieszczać się, jak już wcześniej sugerowano na nośnikach. Dodatkowo badane gleby należą do gleb lekkich, podatnych na procesy infiltracyjne.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w poszczególnych grupach istnieje istotne różnicowanie ilości węglodorów – 2-pierścieniowe – jedynie naftalen, natomiast grupa węglodorów 3-pierścieniowych obejmuje aż pięć. Jednakże w pewnym stopniu ocena ta pozwala wnioskować o jednakowym/różnym pochodzeniu WWA na badanym obszarze. Wyraźnie to jest widoczne w przypadku gleb pochodzących z okolic pasa startowego (próbki D3–D6 i K dla głębokości 0–20 oraz próbki D3–D6 dla głębokości 20–40), gdzie udział poszczególnych grup węglodorów jest bardzo zbliżony.

Podobną sytuację zaobserwować można na obszarze lotniska w stosunku do trzech próbek: MPS 323, MPS 149, CPPS 1.

ZAWARTOŚĆ WWA A CAŁKOWITA ZAWARTOŚĆ WĘGLOWODORÓW

Na rysunkach 1–3, w celu porównania zestawiono zawartość CZW i WWA w badanych próbkach glebowych. Obliczone współczynniki korelacji Pearsona dla większości węglowodorów osiągały wartości $r > 0,505$. Przy czym dla naftalenu i benzo[*a*]antracenu osiągnęły wartości odpowiednio $r = 0,773$ i $r = 0,792$ na poziomie istotności równym $\alpha = 0,05$. Porównując zależność sumy 16 WWA od CZW nie zaobserwowano zależności.

Z informacji przedstawionych na rysunkach 1–3, w niektórych przypadkach zauważa się pewne podobieństwa (wzrost CZW – wzrost WWA), jednakże zasadniczo wzrost/spadek zawartość 16 WWA nie pokrywa się ze wzrostem/spadkiem zawartości CZW. Szczególnie wyraźne widać to w przypadku próbki CPPS3, w której wysoka zawartość WWA nie przekłada się na wysoką zawartość innych węglowodorów ropopochodnych (CZW), podobną sytuację obserwuje się dla próbek: MPS 320, MPS 149 i Ł, a także D1-D4.

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę zanieczyszczenia badanych gleb przez WWA w porównaniu do gleb pochodzących z obszarów o podobnym stopniu antropopresji należy stwierdzić, że nie odznaczają się one szczególnie wysokim poziomem WWA. Zawartość WWA i CZW w tych glebach kwalifikuje je do trzeciego stopnia zanieczyszczenia, co stwarza niebezpieczeństwo zanieczyszczenia pozostałych elementów środowiska. Zawartość tych związków w glebach badanego obszaru uzależniona jest od sposobu ich emisji, ich rodzaju, a także właściwości gleb i analizowanej ich głębokości.

W warunkach punktowych źródeł emisji związków ropopochodnych notuje się znaczne zwiększenie ich zawartości i brak zależności z właściwościami gleb. W warunkach rozproszonej emisji związków ropopochodnych, stwierdzono że ich zawartość związana jest z właściwościami gleb, a szczególnie z substancją organiczną, głębokością w profilu gleby oraz budową cząsteczki WWA (liczba pierścieni).

Przeprowadzone badania dotyczą jedynie obszaru lotniska. Interesująca byłaby również analiza gleb na terenach otaczających ten teren, w celu szerszej oceny badanego obiektu na otaczające środowisko. Szczególnie ważne jest to w przypadku obszarów rolniczych ze względu na możliwości związane z osiadaniem/akumulacją WWA w roślinach uprawnych.

LITERATURA

- [1] Cousins I. T., B. Gevao, K.C. Jones: *Measuring and modeling the vertical distribution of semi-volatile organic compounds in soils, I. PCB and PAH soil core data*, Chemosphere, **39**, 2507–2518 (1999).
- [2] Gieło-Klepacz H., J. Ciszewski: *Paliwa lotnicze, Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji*, **14**, 10–15 (1994).
- [3] IARC: *Monographs on the Evaluation of the carcinogenic Risk of Chemicals to Humans: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*, Vol. 32, WHO, Lyon, France, 1983.

- [4] Kabata-Pendias A., M. Piotrowska, T. Motowicka-Terelak, B. Maliszewska-Kordybach, K. Filipiak, A. Krakowiak, C. Pietruch: *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa 1995.
- [5] Kilbane J. J.: Extractability and subsequent biodegradation of PAHs from contaminated soil, *Water Air Soil Poll.*, **104**, 285–304 (1998).
- [6] Korzeniowska E.: *Zanieczyszczenie gruntów substancjami ropopochodnymi oraz wpływ zanieczyszczeń na zmianę pierwotnych własności gruntów* [w:] Międzynarodowe Sympozjum Szkoleniowe, Poznań 1994.
- [7] Kościelniak S.: *Aktualny stan zanieczyszczeń wybranych obiektów byłej Armii Radzieckiej* [w:] IV Sympozjum szkoleniowe "Rezultaty usuwania zanieczyszczeń naftowych - Poznań'96", Poznań 1996.
- [8] Leśkiewicz J.: *Skażenie gruntu i wód produktami ropopochodnymi*, *Aura*, **11**, (1995).
- [9] Maliszewska-Kordybach B., B. Smreczak: *Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach użytkowych rolniczo na terenie woj. lubelskiego*, *Roczn. Glebozn.*, **XLVII**, 95–110 (1997).
- [10] Maliszewska-Kordybach B., M. Mardarowicz: *Problemy zanieczyszczenia środowiska glebowego wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi oraz metody ich analizy* [w:] Związki organiczne w środowisku i metody ich oznaczania. Wydawnictwo Biblioteki Monitoringu Środowiska, Warszawa 1994.
- [11] Maliszewska-Kordybach B.: *Trwałość wielopierścieniowych węglowodorów w glebie*, IUNG Puławy 1993.
- [12] Maliszewska-Kordybach B.: *Zależność między właściwościami gleb i zawartością w nich WWA; na przykładzie gleb z terenu użytków rolnych w województwie lubelskim*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **24**, 79–91 (1998).
- [13] Murphy E. M., J. M. Zachara, S. C. Smith: *Influence of mineral-bound humic substances on the sorption of hydrophobic organic compounds*, *Environ. Sci. Technol.*, **24**, 1507–1516 (1990).
- [14] Reid B. J., K. C. Jones, K. T. Semple: *Bioavailability of persistent organic pollutants in soils and sediments - a perspective on mechanisms, consequences and assessment*, *Environ. Pollut.*, **108**, 103–112 (2000).
- [15] Surygała J., E. Śliwka, B. Kołwzan, H. Greinert: *Zanieczyszczenia naftowe w gruncie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [16] United States Environmental Protection Agency: *Evaluation and Estimation of Potential Carcinogenic Risks of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*, US Environmental Protection Agency, Washington DC 1985.
- [17] United States Environmental Protection Agency: *Method 610-PNAs. EPA-600/4-84-036*. Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati 1984.
- [18] VROM NL: Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Nederlande, 1988. Leidrad Bodemsanering Deel II. Technisch-Inhoudelijk Deel. Afl. 4, (1988).
- [19] Wodecki Z., A. Kołodziejczyk, M. Ślebioda: *Wpływ transportu na zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebie*, [w:] Konferencja Naukowa Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w elementach środowiska, Olsztyn 1994.
- [20] Weisło E.: *Soil contamination with Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Poland - a review*, *Pol. J. Environ. Stud.*, **7**, 267–272 (1998).