



# RAPORT

---

Analiza ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś w ramach realizacji działania pilotażowego projektu GreenerSites Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe CE394

Lipiec  
2019

Rezultat projektu D.T. 3.9.5

**Zamawiający:**

Miasto Bydgoszcz  
Wydział Zintegrowanego Rozwoju  
ul. Grudziądzka 9-15, 85-130 Bydgoszcz

**Wykonawca:**

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych  
ul. Kossutha 6  
40-844 Katowice





**Nazwa raportu : Raport „Analiza ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś w ramach realizacji działania pilotażowego projektu GreenerSites Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe CE394”**

**Data raportu: 26.07.2019 r.**

**Zleceniodawca: Miasto Bydgoszcz, ul Jezuicka 1, Bydgoszcz**

**Numer i data zlecenia/umowy: WZR-V.271.2.19.2019, 19 czerwca 2019 r.**

**Zespół autorski**

Lp.	Stopień i tytuł naukowy	Imię i nazwisko
1	dr hab. inż.	Eleonora Wcisło
2	dr	Joachim Bronder
3	dr	Ewa Błaszczuk

Kierownik projektu / opracowania  
dr hab. inż. Eleonora Wcisło, prof. IETU  
stopień, tytuł naukowy, imię i nazwisko

  
.....  
podpis


**Charakter pracy: (zaznaczyć x)**

Naukowo-badawczy	Inny <input checked="" type="checkbox"/>
------------------	---

**Sposób udostępnienia pracy: (zaznaczyć x)**

Za zgodą Zleceniodawcy <input checked="" type="checkbox"/>	Za zgodą Dyrektora <input checked="" type="checkbox"/>	Ogólnodostępna
---	---	----------------

**DYREKTOR IETU**  
Zatwierdzam

  
.....  
Dyrektor IETU *dr hab. inż. Jan Skowronek*

**Rozdzielnik:**

Zleceniodawca – 3 egz.

Autor opracowania/Kierownik projektu -

Biblioteka Naukowa IETU (elektroniczne repozytorium prac) – plik pdf

Archiwum (wersja elektroniczna) plik pdf



## SPIS TREŚCI

<b>1</b>	<b>WSTĘP .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CEL I ZAKRES PRACY .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DANE WEJŚCIOWE DO OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO I OCENY ZANIECZYSZCZENIA GLEB .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB NA TERENIE OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ .....</b>	<b>11</b>
	4.1 OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB SEKCJI BADAWCZYCH .....	12
	4.2 OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW.....	13
<b>5</b>	<b>CAŁOŚCIOWA OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>PORÓWNANIE ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW Z ZANIECZYSZCZENIEM GLEB SEKCJI BADAWCZYCH.....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>ROZKŁAD PRZESTRZENNY ZAWARTOŚCI WWA W GLEBACH OBSZARU BADAŃ .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>PRÓBA OKREŚLENIA ŹRÓDEŁ ZANIECZYSZCZENIA GLEB WIELOPIERŚCIENIOWYMI WĘGLOWODORAMI AROMATYCZNYMI .....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>OCENA RYZYKA ZDROWOTNEGO .....</b>	<b>24</b>
	9.1 METODA OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO .....	24
	9.1.1 Podstawowa ocena ryzyka zdrowotnego .....	24
	9.1.2 Wyznaczanie lokalnych, bezpiecznych dla zdrowia zawartości substancji zanieczyszczających (RBRL.....	31
	9.2 WYNIKI OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO W SEKCJACH BADAWCZYCH .....	32
	9.3 WYNIKI OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO W WYBRANYCH GOSPODARSTWACH .....	34
	9.4 LOKALNE, BEZPIECZNE DLA ZDROWIA ZAWARTOŚCI SUBSTANCJI ZANIECZYSZCZAJĄCYCH - LOKALNE KRYTERIA REMEDIACYJNE .	35
<b>10</b>	<b>PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>41</b>
	<b>STRESZCZENIE .....</b>	<b>43</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>44</b>
	<b>OPIS W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM .....</b>	<b>45</b>
	<b>NON-TECHNICAL DESCRIPTION SUMMARY .....</b>	<b>47</b>

## SPIS TABEL

TABELA 1. ZESTAWIENIE RODZAJÓW SUBSTANCJI OZNACZANYCH W PRÓBKACH GLEBY POBRANYCH Z WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ SEKCJI BADAWCZYCH I WARSTW GŁĘBSZYCH .....	6
TABELA 2. ZESTAWIENIE RODZAJÓW SUBSTANCJI OZNACZANYCH W PRÓBKACH GLEBY POBRANYCH Z WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ WYBRANYCH GOSPODARSTW .....	7
TABELA 3. ZAWARTOŚCI METALI I ARSENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH I WYBRANYCH GOSPODARSTW [MG/KG] .....	9
TABELA 4. ZAWARTOŚCI WWA, FENOLU I 3,5 - DICHLOROFENOLU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH I WYBRANYCH GOSPODARSTW [MG/KG].....	10
TABELA 5. DOPUSZCZALNE ZAWARTOŚCI SUBSTANCJI ZANIECZYSZCZAJĄCYCH W GLEBACH DLA GRUPY GRUNTÓW I [MG/KG].....	11
TABELA 6. WYNIKI OCENY ZANIECZYSZCZENIA GLEB SEKCJI BADAWCZYCH.....	12
TABELA 7. WYNIKI OCENY ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW .....	14
TABELA 8. STATYSTYKI OPISOWE ZAWARTOŚCI WWA W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH I PARAMETRY OCENY ZANIECZYSZCZENIA TYCH GLEB .....	15
TABELA 9. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI NAFTALENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU .....	17
TABELA 10. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI ANTRACENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU .....	17
TABELA 11. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI CHRYZENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU .....	17
TABELA 12. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI BENZO(A)ANTRACENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU.....	18
TABELA 13. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI DIBENZO(A,H)ANTRACENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU .....	18
TABELA 14. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI BENZO(A)PIRENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU .....	18
TABELA 15. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI BENZO(B)FLUORANTENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU.....	18
TABELA 16. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI BENZO(K)FLUORANTENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU.....	18
TABELA 17. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI BENZO(GHI)PERYLENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU.....	19
TABELA 18. WYNIK TESTU NIEPARAMETRYCZNEGO DLA ZAWARTOŚCI INDENO(1,2,3-CD)PIRENU WEDŁUG RODZAJU OBSZARU.....	19
TABELA 19. WYNIKI ANALIZY KORELACJI ZAWARTOŚCI POJEDYNCZYCH WWA W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	20
TABELA 20. WYNIKI OBLICZEŃ WSPÓŁCZYNNIKA MORANA I, STATYSTYKI Z ORAZ POZIOMU ISTOTNOŚCI P .....	20
TABELA 21. DOMYŚLNE WARTOŚCI PARAMETRÓW NARAŻENIA W SCENARIUSZU MIESZKANIOWYM (NARAŻENIE NA ZANIECZYSZCZONĄ GLEBĘ) .....	26
TABELA 22. MIARY TOKSYCZNOŚCI OCENIANYCH SUBSTANCJI.....	28
TABELA 23. CAŁKOWITE RYZYKO NIERAKOTWÓRCZE (HI) W SEKCJACH BADAWCZYCH.....	33
TABELA 24. CAŁKOWITE RYZYKO RAKOTWÓRCZE (CR) W SEKCJACH BADAWCZYCH .....	34
TABELA 25. CAŁKOWITE RYZYKO NIERAKOTWÓRCZE (HI) W WYBRANYCH GOSPODARSTWACH .....	35
TABELA 26. CAŁKOWITE RYZYKO RAKOTWÓRCZE (CR) W WYBRANYCH GOSPODARSTWACH.....	35
TABELA 27. LOKALNE, BEZPIECZNE DLA ZDROWIA ZAWARTOŚCI W GLEBIE OCENIANYCH SUBSTANCJI (RBRL) .....	36

## SPIS ILUSTRACJI

RYS. 1. MAKSYMALNY WSKAŹNIK PRZEKROCZEŃ ( $IP_{MAX}$ ) W SEKCJACH BADAWCZYCH .....	13
RYS. 2. MAKSYMALNY WSKAŹNIK PRZEKROCZEŃ ( $IP_{MAX}$ ) W WYBRANYCH GOSPODARSTWACH .....	14
RYS. 3. PODZIAŁ SEKCJI BADAWCZYCH NA GRUPY ZE WZGLĘDU NA PODOBIENSTWO W ZAWARTOŚCI WWA .....	21
RYS. 4. PODZIAŁ BUDYNKÓW MIESZKALNYCH ZE WZGLĘDU NA RODZAJ PALIWA STOSOWANEGO DO ICH OGRZEWANIA.....	21

## SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

ZAŁĄCZNIK NR 1. WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (WWA)	
ZAŁĄCZNIK NR 2. KOMPOZYCJE MAPOWE	
ZAŁĄCZNIK NR 3. TABELY WYNIKÓW OBLICZEŃ RYZYKA	

# 1 WSTĘP

Miasto Bydgoszcz uczestniczy w projekcie GreenerSites - Rehabilitacja terenów przemysłowych w Europie Środkowej, nr CE394, który jest projektem partnerskim współfinansowanym ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Interreg Europa Środkowa 2014-2010. Głównym celem projektu jest poprawa zarządzania niewykorzystanymi terenami przemysłowymi (brownfields) poprzez definicję strategii, narzędzi i działań bazujących na zrównoważonych i zintegrowanych rozwiązaniach. Partnerzy GreenerSites współpracują, aby poprawić stan tych terenów zlokalizowanych w 9 Miejskich Obszarach Funkcjonalnych (MOF) poprzez wzrost potencjału zarządzania środowiskiem instytucji odpowiedzialnych za tereny przemysłowe, definiowanie średnio i długookresowych Strategicznych Planów Działań oraz testowanie rozwiązań, które następnie będą rozpowszechniane i transferowane na inne tereny MOF i poza nimi.

Działania pilotażowe projektu obejmują badanie wpływu terenu zdegradowanego (dawnych Zakładów Chemicznych „ZACHEM” w Bydgoszczy) na tereny sąsiadujące (osiedle Łęgnowo-Wieś), w tym ocenę ryzyka zdrowotnego dla ich mieszkańców.

W ramach projektu GreenerSites przeprowadzono szereg badań wód podziemnych w granicach osiedla Łęgnowo-Wieś i w jego sąsiedztwie, które obejmowały inwentaryzację piezometrów, studni indywidualnych i ujęciowych, wykonanie nowych piezometrów oraz analiz fizykochemicznych pobranych próbek wody (ARCADIS 2018a,b). Z przeprowadzonych badań wynika, że wody pierwszego poziomu wodonośnego są zanieczyszczone przez toksyczne związki organiczne i nieorganiczne pochodzące z terenu dawnych Zakładów Chemicznych „ZACHEM”.

W maju 2019 r. ww. badania uzupełniono o badania gleby w celu uzyskania kompletu danych wejściowych do analizy ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś. Badania przeprowadziła firma DEKONTA Polska Sp. z o.o. na zlecenie Urzędu Miasta Bydgoszczy według operatu opracowanego przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych [IETU 2019].

Uzyskane wyniki dotyczące rodzaju i stopnia zanieczyszczenia gleb umożliwiły wykonanie oceny ryzyka, która jest przedmiotem niniejszego raportu. Została ona wykonana na podstawie umowy z dnia 19 czerwca 2019 r., nr WZR-V.271.2.19.2019, zawartej pomiędzy Miastem Bydgoszcz a Instytutem Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach.

## 2 CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było wykonanie analizy ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś.

Zakres pracy obejmował:

- Ocenę zanieczyszczenia gleb substancjami chemicznymi na podstawie ich dopuszczalnych zawartości w glebie, określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. *w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi* (Dz.U.2016.1395);
- Wykonanie podstawowej oceny ryzyka zdrowotnego polegającej na opracowaniu zestawu danych wejściowych, ocenie narażenia, ocenie toksyczności oraz charakterystyce ryzyka zdrowotnego;
- W przypadku przekroczenia dopuszczalnego poziomu ryzyka, wyznaczenie lokalnych, bezpiecznych dla zdrowia zawartości substancji zanieczyszczających, czyli lokalnych kryteriów remediacyjnych.



### 3 DANE WEJŚCIOWE DO OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO I OCENY ZANIECZYSZCZENIA GLEB

Do analizy ryzyka zdrowotnego i oceny zanieczyszczenia gleb osiedla Łęgnowo-Wieś wykorzystano wyniki badań gleb przeprowadzonych w maju 2019 r. przez firmę DEKONTA Polska Sp. z o.o. [DEKONTA 2019] według operatu opróbowania opracowanego przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych [IETU 2019]. Powierzchnia badanego terenu wynosiła 31,1 ha. Stanowiły go 164 użytki, w obrębie których znajdowały się budynki mieszkalne. Teren ten podzielono na 20 sekcji badawczych, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395), [IETU 2019] biorąc pod uwagę położenie chmur zanieczyszczeń wód podziemnych, określonych we wcześniejszych badaniach Akademii Górniczo-Hutniczej [AGH 2016; 2018]. Lokalizację tych sekcji przedstawiono na mapie 1 w załączniku kartograficznym.

W każdej sekcji z warstwy powierzchniowej (0-0,25 m p.p.t.) pobrano minimum 15 próbek pojedynczych, które zmieszano i uzyskano 1 próbkę zbiorczą dla każdej sekcji [DEKONTA 2019].

Dla potrzeb oceny ryzyka zdrowotnego w odniesieniu do substancji nielotnych i półlotnych wymagane były dane o ich zawartości w glebie warstwy powierzchniowej, a w odniesieniu do substancji lotnych także z warstw głębszych. W tym drugim przypadku związane to było z możliwością przedostawania się par substancji z warstw głębszych nad powierzchnię terenu, stanowiąc zagrożenie dla zdrowia ludzi. Skutkowało to koniecznością wykonania otworów badawczych do spodziewanej głębokości występowania zanieczyszczenia lub poziomu wód gruntowych [IETU 2019].

W celu zidentyfikowania potencjalnego występowania i określenia zawartości substancji lotnych w gruncie w wybranych punktach wykonano 9 otworów badawczych, z których pobrano próbki z warstw poniżej 0,25 m p.p.t. [DEKONTA 2019]. Lokalizację tych otworów przedstawiono na mapie 2 w załączniku kartograficznym.

Dodatkowo w 6 wybranych gospodarstwach (tereny przydomowe) pobrano po jednej próbce zbiorczej gleby z warstwy powierzchniowej (do głębokości 0,25 m p.p.t.), [DEKONTA 2019]. Do badań zostały wytypowane gospodarstwa posiadające studnie, z których woda używana była do podlewania upraw [ARCADIS 2018a]. Lokalizację tych gospodarstw z oznaczonymi studniami (numery K02, K11, K26, K30, K31, K33) przedstawiono na mapie 3 w załączniku kartograficznym.

W tabeli 1 zestawiono substancje, których zawartości oznaczano w próbkach pobranych z powierzchniowej warstwy gleby sekcji badawczych i z warstw głębszych, a w tabeli 2 – z powierzchniowej warstwy gleby 6 wybranych gospodarstw. Substancje przeznaczone do oznaczeń wybrano w wyniku przyporządkowania każdej chmurze zanieczyszczeń wód podziemnych odpowiednich ognisk i rodzajów zanieczyszczeń, wykorzystując informacje zawarte w raportach Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (AGH) [2016, 2018] i firmy ARCADIS [2018a,b]. Łącznie oznaczano 80 substancji chemicznych, organicznych i nieorganicznych.

Tabela 1. Zestawienie rodzajów substancji oznaczanych w próbkach gleby pobranych z warstwy powierzchniowej sekcji badawczych i warstw głębszych

Numer sekcji	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Numer chmury	Ogniska zanieczyszczeń	Substancje - warstwa powierzchniowa (0-0,25 m)	Liczba otworów badawczych (warstwy gruntu poniżej 0,25 m)	Substancje lotne - otwory badawcze
11	16669	1	plac spalań w Żółwinie ze zdeponowanymi odpadami z elektrociepłowni	WWA (16 wg USEPA)*, fenol, metale i metaloid**	1	WWA (antracen, acenaften, fluoren, piren, naftalen, benzo(a)antracen)
12	20672	1				
21	7400	2	składowisko Zielona	WWA (16 wg USEPA)*, metale i metaloid**, fenol, chlorofenole (2-chlorofenol), BTEX, anilina, chloroanilina, toluidyna, 2-fenylfenol, glikol etylenowy, difenylosulfon, trichloroetylen (TCE), tetrachloroetylen (PCE), oktylofenole i estry oktylofenolooksyetylenowe	2	WWA (antracen, acenaften, fluoren, piren, naftalen, benzo(a)antracen), 2-chlorofenol, toluen
22	15726	2				
23	13557	2				
24	19670	2				
25	18549	2				
31	5320	3	soczewka nitrobenzenu lub instalacja dinitrotolenu	WWA (16 wg USEPA)*, fenol, nitrobenzen, dinitrotoluen (mieszanina 2,4/2,6-), o-nitrotoluen	2	WWA (antracen, acenaften, fluoren, piren, naftalen, benzo(a)antracen), nitrobenzen, o-nitrotoluen
32	17503	3				
33	17314	3				
34	13277	3				
35	17811	3				
41	12494	4	centralna część d. Zakładów Chemicznych „ZACHEM”, w tym obszar depozycji szlamu poanilinowego, składowisko Lisia, składowisko odpadów z produkcji epichlorohydryny (EPI)	anilina, chloroanilina, epichlorohydryna, toluenodiamina (TDA), toluenodiiizocyjanian (TDI), fenol, WWA (16 wg USEPA)*, nitrobenzen, toluidyna, o-nitrotoluen, dinitrotoluen (mieszanina 2,4/2,6-), BTEX	3	epichlorohydryna, toluenodiiizocyjanian (TDI), WWA (antracen, acenaften, fluoren, piren, naftalen, benzo(a)antracen), nitrobenzen, o-nitrotoluen, toluen
42	14752	4				
43	16802	4				
44	18907	4				
45	16507	4				
46	13698	4				
47	18290	4				
51	16121	5			1	epichlorohydryna, toluenodiiizocyjanian (TDI), WWA (antracen, acenaften, fluoren, piren, naftalen, benzo(a)antracen), nitrobenzen, o-nitrotoluen
Właściwości fizyczne gleby				skład granulometryczny		ogólny węgiel organiczny (OWO), porowatość powietrzna gleby, porowatość wodna gleby (lub wilgotność), gęstość objętościowa gleby

\* 16 WWA: naftalen, acenaften, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-cd)piren

\*\* arsen, bar, chrom, cyna, cynk, kadm, kobalt, miedź, molibden, nikiel, ołów, rtęć - wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 roku w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395)

Źródło: Opracowanie własne IETU [2019] na podstawie raportów AGH [2016, 2018] i ARCADIS [2018a,b]

Tabela 2. Zestawienie rodzajów substancji oznaczanych w próbkach gleby pobranych z warstwy powierzchniowej wybranych gospodarstw

Wybrane gospodarstwo – numer studni	Numer sekcji	Powierzchnia terenu [m <sup>2</sup> ]	Numer chmury	Substancje – warstwa powierzchniowa
K02	51	522,2	5	anilina, chloroanilina, epichlorohydryna, toluenodiamina (TDA), toluendiizocyjanian (TDI), fenol, WWA (16 wg USEPA)*, nitrobenzen, toluidyna, o-nitrotoluen, dinitrotoluen (mieszanina 2,4/2,6-)
K11	44	2568,0	4	anilina, chloroanilina, epichlorohydryna, toluenodiamina (TDA), toluendiizocyjanian (TDI), fenol, WWA (16 wg USEPA)*, nitrobenzen, toluidyna, o-nitrotoluen, dinitrotoluen (mieszanina 2,4/2,6-), BTEX
K26	46	2080,0	4	anilina, chloroanilina, epichlorohydryna, toluenodiamina (TDA), toluendiizocyjanian (TDI), fenol, WWA (16 wg USEPA)*, nitrobenzen, toluidyna, o-nitrotoluen, dinitrotoluen (mieszanina 2,4/2,6-), BTEX
K30	25	856,6	2	WWA (16 wg USEPA)*, metale i metaloid**, fenol, chlorofenole (2-chlorofenol), BTEX, anilina, chloroanilina, toluidyna, 2-fenylofenol, glikol etylenowy, difenylosulfon; trichloroetylen (TCE), tetrachloroetylen (PCE), oktylofenole i estry oktylofenolooksyetylenowe
K31	23	1896,0	2	WWA (16 wg USEPA)*, metale i metaloid**, fenol, chlorofenole (2-chlorofenol), BTEX, anilina, chloroanilina, toluidyna, 2-fenylofenol, glikol etylenowy, difenylosulfon; trichloroetylen (TCE), tetrachloroetylen (PCE), oktylofenole i estry oktylofenolooksyetylenowe
K33	21	984,7	2	WWA (16 wg USEPA)*, metale i metaloid**, fenol, chlorofenole (2-chlorofenol), BTEX, anilina, chloroanilina, toluidyna, 2-fenylofenol, glikol etylenowy, difenylosulfon; trichloroetylen (TCE), tetrachloroetylen (PCE), oktylofenole i estry oktylofenolooksyetylenowe

\* 16 WWA: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(ghi)perylen, indeno(1,2,3-cd)piren  
 \*\* arsen, bar, chrom, cyna, cynk, kadm, kobalt, miedź, molibden, nikiel, ołów, rtęć - wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 roku w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [Dz.U.2016.1395]

Źródło: Opracowanie własne IETU [2019] na podstawie raportów AGH [2016, 2018] i ARCADIS [2018a,b]

łącznie pobrano i przeanalizowano 43 próbki gleby i gruntu, w tym 26 próbek pobranych z warstwy powierzchniowej (0-0,25 m p.p.t.) i 17 próbek pobranych z warstw głębszych (0,7-3 m p.p.t. lub do poziomu wody gruntowej). Wykonano 1429 analiz laboratoryjnych gleb, w tym 1298 oznaczeń zawartości substancji zanieczyszczających. W 389 (30%) przypadkach zawartości te były wyższe niż granice oznaczalności. Spośród przebadanych substancji zanieczyszczających zawartości 28 substancji (35%) były równe lub wyższe od granicy oznaczalności. Dotyczyło to 16 substancji z grupy WWA, 10 z grupy metali i metaloidu oraz fenolu i 3,5-dichlorofenolu oznaczonych w próbkach gleby pobranych z warstwy powierzchniowej. W warstwach głębszych tylko zawartość benzo(a)antracenu w 1 próbce (otwór 51) i zawartości pirenu w 2 próbkach (otwory 25 i 51) były wyższe od ich granic oznaczalności. Próbkę te pobrane zostały na głębokości 0,9 m.

Zawartości pozostałych substancji oznaczanych w warstwie powierzchniowej gleby były niższe od ich granic oznaczalności. Do substancji tych należą: difenylosulfon, 2-toluidyna, 3-toluidyna, 4-toluidyna, 2-chloroanilina, 3-chloroanilina, 4-chloroanilina, anilina, glikol etylenowy, 2,3,4,5-tetrachlorofenol, 2,3,4,6 / 2,3,5,6-tetrachlorofenol, tetrachlorofenole (suma), 2,3,4-trichlorofenol, 2,3,5-trichlorofenol, 2,3,6-trichlorofenol, 2,4,5-trichlorofenol, 3,4,5-trichlorofenol, 2,4,6-trichlorofenol,

trichlorofenole (suma), 2-chlorofenol, m-chlorofenol, p-chlorofenol, 2,3-dichlorofenol, 2,4-dichlorofenol + 2,5-dichlorofenol, 2,6-dichlorofenol, 3,4-dichlorofenol, dichlorofenole (suma), monochlorofenole (suma), 4-chloro-3-metylofenol, pentachlorofenol, tetrachloroetylen (PCE), trichloroetylen (TCE), oktylofenole, estry oktylofenooksyetylenowe, benzen, toluen, etylobenzen, (m+p)-ksylen, o-ksylen, styren, 2-fenylofenol, 2,3-toluenodiamina, 2,4-toluenodiamina, 2,6-toluenodiamina, 2,4-dinitrotoluen, 2,6-dinitrotoluen, o-nitrotoluen, nitrobenzen, epichlorohydryna, toluenodiizocyanian (TDI), kadm (Cd) i molibden (Mo), (DEKONTA 2019).

Tabela 3 zawiera wyniki oznaczeń zawartości metali i arsenu, a Tabela 4 - zawartości WWA, fenolu i 3,5-dichlorofenolu w próbkach zbiorczych gleby sekcji badawczych i wybranych gospodarstw.

Tabela 3. Zawartości metali i arsenu w warstwie powierzchniowej gleby sekcji badawczych i wybranych gospodarstw [mg/kg]

Numer sekcji/studni	Arsen	Bar	Chrom	Cyna	Cynk	Kadm	Kobalt	Miedź	Molibden	Nikiel	Ołów	Rtęć
11	2,23	127,00	6,900	0,50	95,50	0,25	1,96	10,70	0,50	5,02	19,50	0,05
12	4,37	94,60	8,960	1,00	94,70	0,25	2,64	11,80	0,50	7,88	25,70	0,05
21	1,64	40,20	4,810	0,50	54,70	0,25	1,28	7,52	0,50	3,22	12,00	0,05
22	1,87	68,40	5,750	0,50	128,00	0,25	1,93	8,32	0,50	4,90	17,20	0,05
23	2,55	64,10	10,800	1,49	68,30	0,25	2,47	9,93	0,50	6,46	12,50	0,05
24	3,12	91,40	14,600	1,40	122,00	0,25	3,95	14,20	0,50	15,00	20,10	0,05
25	3,28	85,20	8,540	0,50	156,00	0,25	3,12	10,60	0,50	8,89	14,20	0,05
K30	3,94	125,00	11,300	1,39	162,00	0,25	3,30	16,20	0,50	10,40	20,00	0,124
K31	3,31	75,20	7,450	0,50	58,70	0,25	2,30	9,40	0,50	6,87	14,50	0,05
K33	2,53	46,20	5,260	1,44	73,30	0,25	1,85	18,10	0,50	4,60	31,00	0,05

0,0125 – liczby oznaczone kursywą oznaczają ½ granicy oznaczalności; n.o. – nie oznaczano

Źródło: Zestawienie własne IETU na podstawie raportu DEKONTA [2019]

Tabela 4. Zawartości WWA, fenolu i 3,5-dichlorofenolu w warstwie powierzchniowej gleby sekcji badawczych i wybranych gospodarstw [mg/kg]

Numer sekcji / studni	NAF	ANT	CHR	B(a)A	D(ah)A	B(a)P	B(b)F	B(k)F	B(ghi)P	I(1,2,3-cd)P	ACTE	ACTY	FLU	FEN	FLUA	PIR	Fenol	3,5 - Dichloro fenol	
11	0,0125	0,0500	0,2670	0,2450	0,0125	0,2450	0,3400	0,1310	0,1680	0,1970	0,0125	0,0125	0,0125	0,265	0,539	0,439	0,005	n.o.	
12	0,0125	0,1360	0,5530	0,5050	0,0125	0,5380	0,7290	0,2950	0,3850	0,4350	0,046	0,04	0,054	0,659	1,14	0,936	0,005	n.o.	
21	0,0125	0,0440	0,1800	0,1740	0,0125	0,2640	0,3890	0,1480	0,1950	0,2250	0,0125	0,0125	0,0125	0,218	0,497	0,418	0,005	0,0005	
22	0,0125	0,0550	0,2360	0,2390	0,0125	0,2330	0,3250	0,1270	0,1660	0,1850	0,0125	0,0125	0,028	0,257	0,505	0,424	0,005	0,0005	
23	0,0125	0,0410	0,1980	0,2090	0,0125	0,2130	0,2860	0,1080	0,1530	0,1760	0,0125	0,0125	0,0125	0,165	0,375	0,325	0,01	0,0005	
24	0,0125	0,0880	0,5190	0,4760	0,0125	0,5440	0,7590	0,2690	0,3960	0,4640	0,0125	0,03	0,032	0,415	0,929	0,789	0,005	0,0005	
25	0,0125	0,0740	0,5740	0,5240	0,0125	0,6080	0,8360	0,3060	0,4810	0,5280	0,0125	0,032	0,0125	0,362	0,995	0,876	0,005	0,0005	
31	0,0125	0,0720	0,2980	0,3290	0,0125	0,4720	0,6360	0,2440	0,3270	0,3870	0,0125	0,036	0,0125	0,33	0,877	0,745	0,005	n.o.	
32	0,4910	1,8600	6,7200	6,3800	0,8780	5,0980	7,5100	2,5900	2,8800	3,6600	0,739	0,038	0,972	11,4	14	10,3	0,005	n.o.	
33	0,0125	0,0750	0,7610	0,7170	0,0950	0,6320	1,1300	0,4050	0,5230	0,5370	0,0125	0,031	0,0125	0,225	1,08	1,05	0,005	n.o.	
34	0,0125	0,2870	2,2300	1,3200	0,3690	2,3200	3,3700	1,1990	1,7900	1,8800	0,053	0,076	0,063	1,11	3,97	3,39	0,005	n.o.	
35	0,3270	2,9500	3,5100	4,2500	0,4070	3,1200	3,8400	1,4020	1,4500	1,4700	0,0125	0,036	0,0125	0,33	0,877	0,745	0,005	n.o.	
41	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,005	n.o.	
42	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,005	n.o.	
43	0,0125	0,0510	0,0720	0,0730	0,0125	0,0650	0,0820	0,0280	0,0360	0,0430	0,025	0,0125	0,031	0,174	0,164	0,128	0,005	n.o.	
44	0,0125	0,0900	0,5430	0,4890	0,0890	0,5750	0,8150	0,2890	0,4690	0,5010	0,034	0,036	0,032	0,389	0,941	0,805	0,005	n.o.	
45	0,0125	0,0410	0,3120	0,2800	0,0540	0,3160	0,4460	0,1650	0,2280	0,2580	0,0125	0,0125	0,0125	0,201	0,559	0,466	0,005	n.o.	
46	0,0125	0,0540	0,2150	0,2090	0,0260	0,2080	0,2930	0,1050	0,1410	0,1640	0,0125	0,0125	0,0125	0,218	0,462	0,366	0,005	n.o.	
47	0,0125	0,0960	0,6470	0,5630	0,1060	0,6390	0,9460	0,3210	0,4850	0,5330	0,0125	0,04	0,031	0,456	1,17	0,99	0,005	n.o.	
51	0,0125	0,0620	0,3910	0,3320	0,0620	0,3470	0,5080	0,1850	0,2410	0,2720	0,035	0,0125	0,031	0,392	0,777	0,636	0,005	n.o.	
K02	0,0125	0,0340	0,2470	0,2410	0,0125	0,2590	0,3840	0,1460	0,2150	0,2410	0,0125	0,0125	0,0125	0,15	0,464	0,395	0,005	n.o.	
K11	0,0125	0,0270	0,2050	0,1970	0,0125	0,2580	0,3580	0,1390	0,2190	0,2370	0,0125	0,0125	0,0125	0,1	0,306	0,267	0,005	n.o.	
K26	0,0125	0,0125	0,0730	0,0680	0,0125	0,0820	0,1360	0,0380	0,0610	0,0720	0,0125	0,0125	0,0125	0,05	0,121	0,104	0,005	n.o.	
K30	0,0125	0,1970	1,1500	0,7230	0,0125	1,3400	1,8700	0,6070	0,9660	1,1200	0,043	0,046	0,039	0,517	1,796	1,64	0,005	0,001	
K31	0,0125	0,0510	0,1550	0,2570	0,0125	0,2690	0,3740	0,1390	0,2010	0,2330	0,0125	0,0125	0,0125	0,209	0,476	0,415	0,005	0,0005	
K33	0,0125	0,0380	0,1680	0,1800	0,0125	0,1960	0,2570	0,0950	0,1400	0,1650	0,0125	0,0125	0,0125	0,156	0,332	0,283	0,005	0,0005	
NAF	Naftalen				D(ah)A	Dibenzo(a,h)antracen				B(ghi)P	Benzo(ghi)perylene				FLU	Fluoren			
ANT	Antracen				B(a)P	Benzo(a)piren				I(1,2,3-cd)P	Indeno(1,2,3-cd)piren				FEN	Fenantren			
CHR	Chryzen				B(b)F	Benzo(b)fluoranten				ACTE	Acenaften				FLUA	Fluoranten			
B(a)A	Benzo(a)antracen				B(k)F	Benzo(k)fluoranten				ACTY	Acenaftylen				PIR	Piren			

Źródło: Zestawienie własne IETU na podstawie raportu DEKONTA [2019]

## 4 OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB NA TERENIE OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ

Ocena zanieczyszczenia gleb polegała na porównaniu oznaczonych zawartości substancji z ich zawartościami dopuszczalnymi, określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395) dla gleb grupy gruntów I obejmującej tereny mieszkaniowe, inne tereny zabudowane, zurbanizowane tereny niezabudowane lub w trakcie zabudowy i grunty rolne zabudowane. Grunty te reprezentują klasoużytki, na których znajdują się budynki mieszkalne. Spośród 80 oznaczanych substancji oceną tą objęto te substancje (23), dla których zostały określone zawartości dopuszczalne w glebach tej grupy gruntów, a ich zawartości oznaczone były równe lub wyższe od granic oznaczalności (Tabela 5).

Tabela 5. Dopuszczalne zawartości substancji zanieczyszczających w glebach dla grupy gruntów I [mg/kg]

L.p.	Parametr	Warstwa 0-0,25m p.p.t	Warstwa poniżej 0,25m p.p.t., K $\geq$ 10-7 m/s	Warstwa poniżej 0,25m p.p.t., K<10-7 m/s
1	As	25	20	50
2	Ba	400	300	600
3	Cr	200	300	500
4	Sn	20	30	50
5	Zn	500	300	500
6	Cd	2	3	5
7	Co	50	30	60
8	Cu	200	150	300
9	Mo	50	25	50
10	Ni	150	100	200
11	Pb	200	100	300
12	Hg	5	3	5
13	Naftalen	0,1	5	20
14	Antracen	0,2	5	20
15	Chryzen	0,2	5	20
16	Benzo(a)antracen	0,1	5	20
17	Dibenzo(a,h)antracen	0,1	5	20
18	Benzo(a)piren	0,1	5	20
19	Benzo(b)fluoranten	0,1	5	20
20	Benzo(k)fluoranten	0,1	5	20
21	Benzo(ghi)perylene	0,2	5	20
22	Indeno(1,2,3-cd)piren	0,2	5	20
23	Fenol	0,1	0,1	1

K – współczynnik filtracji

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395)

Odnosnie warstwy powierzchniowej gleby przekroczenia zawartości dopuszczalnych stwierdzono w 171 przypadkach, które objęły 10 WWA w 23 próbkach zbiorczych (17 reprezentujących gleby sekcji badawczych i 6 reprezentujących gleby wybranych gospodarstw). Zawartości dopuszczalne metali i arsenu oraz fenolu nie zostały przekroczone w żadnej próbce, wobec czego zostały pominięte w dalszej ocenie. Ocena zanieczyszczenia warstwy powierzchniowej gleby została przeprowadzona zatem tylko w odniesieniu do WWA, oddzielnie dla sekcji badawczych i wybranych gospodarstw.

Odnosnie warstw głębszych, z wartościami dopuszczalnymi porównano zawartości tylko dwóch substancji: benzo(a)antracenu w 1 próbce (otwór 51) i pirenu w 2 próbkach (otwory 25 i 51), które były wyższe od granic oznaczalności. Nie stwierdzono jednak przekroczeń odpowiednich wartości dopuszczalnych.

#### 4.1 OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB SEKCJI BADAWCZYCH

W celu przeprowadzenia oceny zanieczyszczenia gleb sekcji badawczych dla każdej zbiorczej próbki gleby reprezentującej daną sekcję obliczono maksymalny wskaźnik przekroczeń ( $IP_{MAX}$ ), który stanowi maksymalny iloraz oznaczonej zawartości substancji do zawartości dopuszczalnej. Oblicza się go według poniższego wzoru:

$$IP_{MAX} = \max \left\{ \frac{P_1}{N_1} \dots \frac{P_n}{N_n} \right\} \quad (1)$$

gdzie

$P_{1..n}$  – oznaczona zawartość danej substancji zanieczyszczającej w próbce gleby [mg/kg],

$N_{1..n}$  – dopuszczalna zawartość danej substancji zanieczyszczającej [mg/kg].

Jednocześnie wskazano substancję ( $SIP_{MAX}$ ) osiągającą maksymalny wskaźnik przekroczeń ( $IP_{MAX}$ ). Tabela 6 zawiera wyniki tej oceny.

Wyniki te wskazują, że w glebach 17 na 20 sekcji badawczych występują przekroczenia zawartości dopuszczalnych. Najwyższe wartości maksymalnego wskaźnika przekroczeń występują w sekcji 32 ( $IP_{MAX} = 75,1$ ), 35 ( $IP_{MAX} = 42,5$ ) i 34 ( $IP_{MAX} = 33,7$ ). W sekcjach 32 i 35 zawartości w glebie wszystkich poddanych ocenie WWA przekraczają zawartości dopuszczalne.

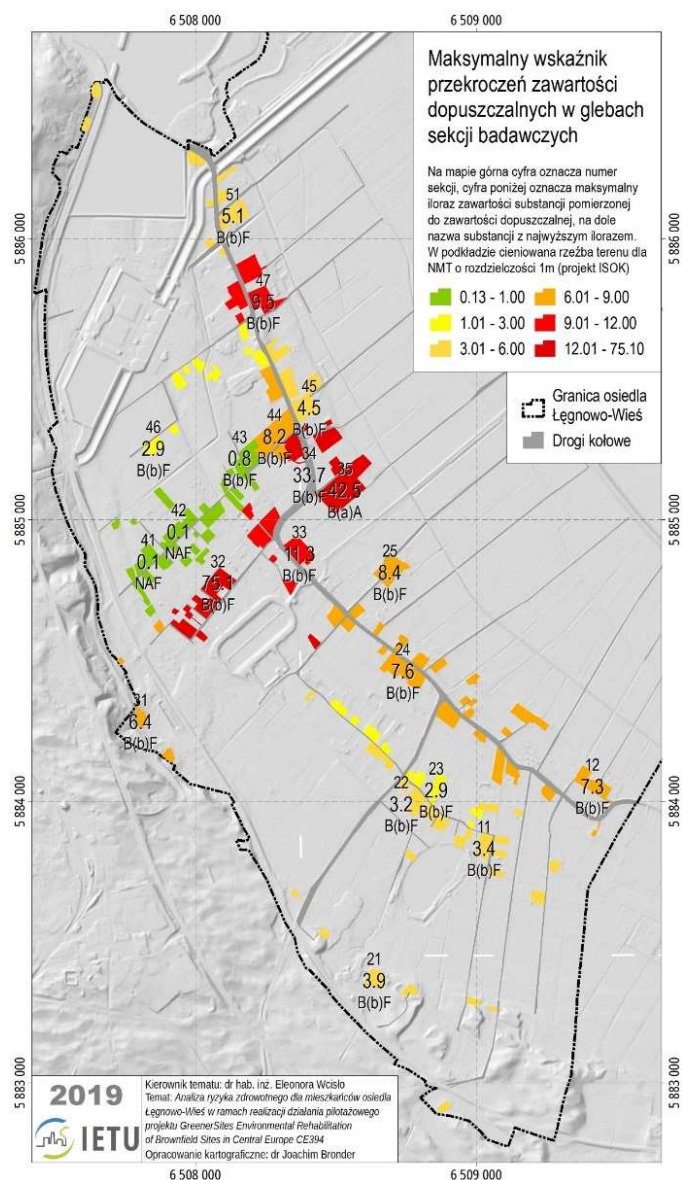
Tabela 6. Wyniki oceny zanieczyszczenia gleb sekcji badawczych

Numer próbki	Nr sekcji	$IP_{MAX}$	Liczba przekroczeń	Ocena gleb sekcji	$SIP_{MAX}$
599-2019-00003150	11	3,40	5	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003151	12	7,29	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003152	21	3,89	5	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003153	22	3,25	5	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003154	23	2,86	4	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003155	24	7,59	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003156	25	8,36	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003157	31	6,36	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003033	32	75,10	10	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003032	33	11,30	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003029	34	33,70	9	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003028	35	42,50	10	zanieczyszczona	benzo(a)antracenu
599-2019-00003027	41	0,13	0	niezanieczyszczona	naftalen



Numer próbki	Nr sekcji	IP <sub>MAX</sub>	Liczba przekroczeń	Ocena gleb sekcji	SIP <sub>MAX</sub>
599-2019-00003025	42	0,13	0	niezanieczyszczona	naftalen
599-2019-00003022	43	0,82	0	niezanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003019	44	8,15	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003018	45	4,46	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003017	46	2,93	5	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003016	47	9,46	8	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003013	51	5,08	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten

Źródło: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu DEKONTA [2019]



Rys. 1. Maksymalny wskaźnik przekroczeń ( $IP_{MAX}$ ) w sekcjach badawczych

## 4.2 OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW

Ocenę zanieczyszczenia gleb 6 wybranych gospodarstw przeprowadzono podobnie, jak w przypadku gleb sekcji badawczych. Dla każdej zbiorczej próbki gleby reprezentującej dane gospodarstwo obliczono maksymalny wskaźnik przekroczeń ( $IP_{MAX}$ ), który stanowi maksymalny iloraz

Jedynie gleby sekcji badawczych 41, 42 i 43 spełniają kryteria jakościowe dla gleb grupy gruntów I. Maksymalny wskaźnik przekroczeń dla tych sekcji wynosi odpowiednio: 0,13, 0,13 i 0,82.

Średnia wartość maksymalnego wskaźnika przekroczeń dla wszystkich sekcji wynosi 11,83 (mediana 5,72).

Biorąc pod uwagę sekcje badawcze, w których występują przekroczenia dopuszczalnych zawartości substancji w glebie (17 sekcji) można zaobserwować, że w 16 sekcjach substancją, która osiągnęła maksymalny wskaźnik przekroczeń jest benzo(b)fluoranten, a tylko w 1 sekcji tą substancją jest benzo(a)antracen.

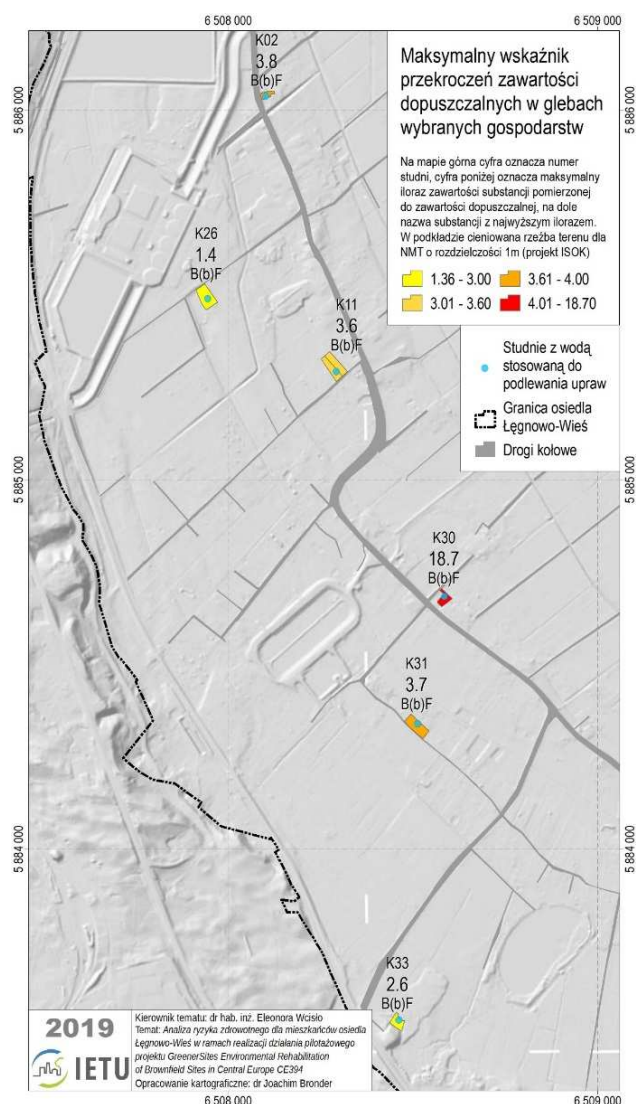
Analizując rozkład przestrzenny maksymalnego wskaźnika przekroczeń w sekcjach badawczych można zauważyć, że sekcje (41, 42 i 43), w których spełnione są kryteria dopuszczalnych zawartości dla grupy gruntów I położone są w bliskim sąsiedztwie sekcji 32 cechującej się najwyższą wartością  $IP_{MAX}$ , (Rys. 1; mapa 4 w załączniku kartograficznym).

oznaczonej zawartości substancji do zawartości dopuszczalnej (Równanie 1). Tabela 7 zawiera wyniki tej oceny.

Tabela 7. Wyniki oceny zanieczyszczenia gleb wybranych gospodarstw

Numer próbki	Nr studni	Nr sekcji	IP <sub>MAX</sub>	Liczba przekroczeń	Ocena gleb sekcji	SIP <sub>MAX</sub>
599-2019-00003178	K02	51	3,84	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003179	K11	44	3,58	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003180	K26	46	1,36	1	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003181	K30	25	18,70	7	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003182	K31	23	3,74	6	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten
599-2019-00003183	K33	21	2,57	3	zanieczyszczona	benzo(b)fluoranten

Źródło: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu [DEKONTA 2019]



Rys. 2. Maksymalny wskaźnik przekroczeń (IP<sub>MAX</sub>) w wybranych gospodarstwach

Analiza wyników wykazała, że w glebach wszystkich 6 gospodarstw występują przekroczenia zawartości dopuszczalnych WWA. Oznacza to, że gleby ocenianych gospodarstw są glebami zanieczyszczonymi. Najwyższa wartość maksymalnego wskaźnika przekroczeń występuje w gospodarstwie ze studnią K30 (IP<sub>MAX</sub>= 18,7), a najniższa w gospodarstwie ze studnią K26 (IP<sub>MAX</sub>= 1,36).

We wszystkich gospodarstwach substancją, która osiągnęła maksymalny wskaźnik przekroczeń jest benzo(b)fluoranten.

Rozkład przestrzenny maksymalnego wskaźnika przekroczeń w wybranych gospodarstwach przedstawiono na rysunku 2 i mapie 5 w załączniku kartograficznym.

## 5 CAŁOŚCIOWA OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEB OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ

Celem oceny całościowej było uzyskanie obrazu stanu zanieczyszczenia gleby warstwy powierzchniowej całego badanego obszaru osiedla Łęgnowo-Wieś. Ocenę tę wykonano stosując statystyczne miary położenia (średnią arytmetyczną lub medianę) oraz miary rozproszenia (górną przedział ufności średniej lub górną przedział ufności mediany). Jeżeli dane pomiarowe można było dopasować do rozkładu normalnego zastosowano średnią arytmetyczną i górną przedział ufności średniej. W przeciwnym przypadku zastosowano medianę i górną przedział ufności mediany. W ocenie uwzględniono tylko te substancje zanieczyszczające, których zawartość w co najmniej jednej próbce przekroczyła zawartość dopuszczalną. Analizę statystyczną wykonano stosując poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

W tabeli 8 przedstawiono zestawienie statystyk opisowych zawartości poszczególnych WWA w glebach sekcji badawczych i parametrów oceny zanieczyszczenia tych gleb.

Tabela 8. Statystyki opisowe zawartości WWA w glebach sekcji badawczych i parametry oceny zanieczyszczenia tych gleb

Parametr / Zmienna	NAF	ANT	CHR	B(a)A	D(ah)A	B(a)P	B(b)F	B(k)F	B(ghi)P	I(1,2,3-cd)P
Parametry statystyczne										
Liczba obserwacji	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Minimum [mg/kg]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maksimum [mg/kg]	0,49	2,95	6,72	6,38	0,88	5,10	7,51	2,59	2,88	3,66
Średnia arytmetyczna [mg/kg]	0,05	0,31	0,91	0,87	0,11	0,82	1,16	0,42	0,53	0,60
Średnia geometryczna [mg/kg]	0,02	0,08	0,34	0,32	0,04	0,34	0,47	0,19	0,25	0,28
Mediana [mg/kg]	0,01	0,07	0,35	0,33	0,01	0,41	0,57	0,21	0,28	0,33
Odchylenie standardowe [mg/kg]	0,12	0,74	1,60	1,59	0,21	1,26	1,80	0,63	0,71	0,86
Błąd standardowy średniej	0,03	0,17	0,36	0,35	0,05	0,28	0,40	0,14	0,16	0,19
Współczynnik skośności	3,13	3,15	3,02	2,96	2,92	2,62	2,79	2,71	2,44	2,84
Współczynnik kurtozy	9,18	9,55	9,60	8,51	9,03	6,89	8,22	7,65	6,01	8,78
Współczynnik zmienności	2,40	2,41	1,75	1,83	1,92	1,54	1,55	1,50	1,35	1,43
Parametry oceny										
Rozkład normalny	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE
Dolny przedział ufności [mg/kg]	0,013	0,044	0,198	0,209	0,013	0,213	0,293	0,108	0,153	0,176
Górny przedział ufności [mg/kg]	0,013	0,090	0,574	0,524	0,089	0,608	0,836	0,306	0,481	0,528
Miara centralna [mg/kg]	0,013	0,067	0,352	0,331	0,013	0,410	0,572	0,215	0,284	0,330
Górny przedział ufności [mg/kg]	0,013	0,090	0,574	0,524	0,089	0,608	0,836	0,306	0,481	0,528
Zawartość dopuszczalna w glebie grupy gruntów I [mg/kg]	0,10	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20
Ocena wg miary centralnej	0,125	0,335	1,758	3,305	0,125	4,095	5,720	2,145	1,420	1,648
Ocena wg górnego przedziału ufności	0,125	0,450	2,870	5,240	0,890	6,080	8,360	3,060	2,405	2,640

Źródło: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu [DEKONTA 2019]

Wyniki analizy statystycznej wskazały, że:

- Gleby sekcji badawczych pod względem zawartości wszystkich WWA są niejednorodne (rozkład inny niż normalny);
- Miary centralne (mediany) i górne przedziały ufności mediany zawartości 7 na 10 analizowanych WWA są wyższe od zawartości dopuszczalnych; przekroczenia zawartości dopuszczalnych dotyczą następujących WWA: chryzenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(ghi)perylenu i indeno(1,2,3-cd)pirenu. Rozkład zawartości tych WWA w glebach sekcji badawczych przedstawiono na mapach 6-12 w załączniku kartograficznym. Najwyższe przekroczenia zawartości dopuszczalnych występują dla benzo(b)fluorantenu (średnio 5,7-krotne) i benzo(a)pirenu (4,1-krotne).

Pod względem zawartości 7 ww. WWA gleby wszystkich sekcji łącznie nie spełniają zatem kryteriów jakościowych określonych dla grupy gruntów I (Dz.U.2016.1395). Można więc je uznać za zanieczyszczone.

## 6 PORÓWNANIE ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW Z ZANIECZYSZCZENIEM GLEB SEKCJI BADAWCZYCH

Porównanie poziomu zanieczyszczenia gleb wybranych gospodarstw z glebami sekcji badawczych przeprowadzono w odniesieniu do 10 WWA, wyszczególnionych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395). Ze względu na fakt, że zawartości WWA w glebach wybranych gospodarstw oraz sekcji badawczych nie dopasowują się do rozkładu normalnego zastosowano statystyczny test nieparametryczny bazujący na porównaniu median (test Kruskalla-Wallisa). Wyniki tego testu zamieszczono w tabelach 9-18.

Tabela 9. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości naftalenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,0125	13,8	0,365
Gospodarstwo	6	0,0125	12,5	-0,365
łącznie	26	0,0125	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
0,133	1	0,715		
0,624	1	0,430	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 10. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości antracenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,067	14,98	1,795
Gospodarstwo	6	0,036	8,583	-1,795
łącznie	26	0,0545	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
3,223	1	0,0726		
3,23	1	0,0723	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 11. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości chryzenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,352	14,6	1,339
Gospodarstwo	6	0,187	9,833	-1,339
łącznie	26	0,283	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
1,793	1	0,181		
1,793	1	0,181	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 12. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości benzo(a)antracenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,331	14,4	1,095
Gospodarstwo	6	0,219	10,5	-1,095
łącznie	26	0,269	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
1,2	1	0,273		
1,201	1	0,273	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 13. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości dibenzo(a,h)antracenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,0125	14,85	1,643
Gospodarstwo	6	0,0125	9	-1,643
łącznie	26	0,0125	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
2,7	1	0,1		
3,745	1	0,053	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 14. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości benzo(a)pirenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,41	14,25	0,913
Gospodarstwo	6	0,259	11	-0,913
łącznie	26	0,293	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
0,833	1	0,361		
0,834	1	0,361	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 15. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości benzo(b)fluorantenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,572	14,3	0,974
Gospodarstwo	6	0,366	10,83	-0,974
łącznie	26	0,418	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
0,948	1	0,33		
0,948	1	0,33	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 16. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości benzo(k)fluorantenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,215	14,3	0,974
Gospodarstwo	6	0,139	10,83	-0,974
łącznie	26	0,157	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
13,00	1	0,33		
13,00	1	0,33	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 17. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości benzo(ghi)peryleny według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,284	14,15	0,791
Gospodarstwo	6	0,208	11,33	-0,791
łącznie	26	0,224	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
0,626	1	0,429		
0,626	1	0,429	Korekta na wartości powiązane	

Tabela 18. Wynik testu nieparametrycznego dla zawartości indeno(1,2,3-cd)pirenu według rodzaju obszaru

Obszar	Liczba próbek	Mediana	Średnia ranga	Z
Sekcja	20	0,33	14,1	0,73
Gospodarstwo	6	0,235	11,5	-0,73
łącznie	26	0,25	13,5	
K-W (H-Stat)	St. swobody	Wartość P	(Test Chi kwadrat)	
0,533	1	0,465		
0,534	1	0,465	Korekta na wartości powiązane	

Źródło tabel 9 do 19: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu [DEKONTA 2019]

Wartość  $p < 0,05$  sugeruje, że istnieją znaczące różnice w medianach różnych obszarów przy poziomie istotności 0,05. Wartość  $p > 0,05$  sugeruje, że mediany różnych obszarów są porównywalne. Wobec tego, że wszystkie uzyskane wartości  $p$  są większe niż 0,05, można stwierdzić brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy zawartościami wszystkich porównywanych WWA w glebach zarówno sekcji badawczych, jak i wybranych gospodarstw.

Porównanie przeciętnych zawartości WWA w glebach wybranych sześciu gospodarstw z przeciętnymi zawartościami WWA w glebach sześciu sekcji badawczych, w obrębie których położone są te gospodarstwa, dostarczyło podobnego wyniku. Stwierdzono brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy obu grupami gleb.

Można zatem uważać, że stan zanieczyszczenia gleb sekcji badawczych odzwierciedla stan zanieczyszczenia gleb gospodarstw.

## 7 ROZKŁAD PRZESTRZENNY ZAWARTOŚCI WWA W GLEBACH OBSZARU BADAŃ

Analizę rozkładu przestrzennego zawartości poszczególnych WWA w glebach całego obszaru badań rozpoczęto od analizy korelacji pomiędzy zawartościami poszczególnych WWA w glebach sekcji badawczych. Uzyskane współczynniki korelacji zamieszczono w tabeli 19. Stwierdzono wysoką, istotną statystycznie korelację pomiędzy zawartościami pojedynczych WWA.

Tabela 19. Wyniki analizy korelacji zawartości pojedynczych WWA w glebach sekcji badawczych (współczynniki korelacji)

Zmienna	NAF	ANT	CHR	B(a)A	D(a,h)A	B(a)P	B(b)F	B(k)F	B(ghi)P	I(1,2,3-cd)P
NAF	1,00									
ANT	0,89	1,00								
CHR	0,95	0,81	1,00							
B(a)A	0,98	0,89	0,98	1,00						
D(a,h)A	0,91	0,77	0,99	0,96	1,00					
B(a)P	0,92	0,83	0,99	0,97	0,98	1,00				
B(b)F	0,91	0,78	0,99	0,96	0,99	1,00	1,00			
B(k)F	0,91	0,79	0,99	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00		
B(ghi)P	0,84	0,72	0,97	0,92	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	
I(1,2,3-cd)P	0,86	0,70	0,97	0,92	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00

Źródło: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu [DEKONTA 2019]

Wysokie współczynniki korelacji dla wszystkich WWA mogą wskazywać, że rozkłady przestrzenne poszczególnych WWA będą do siebie podobne.

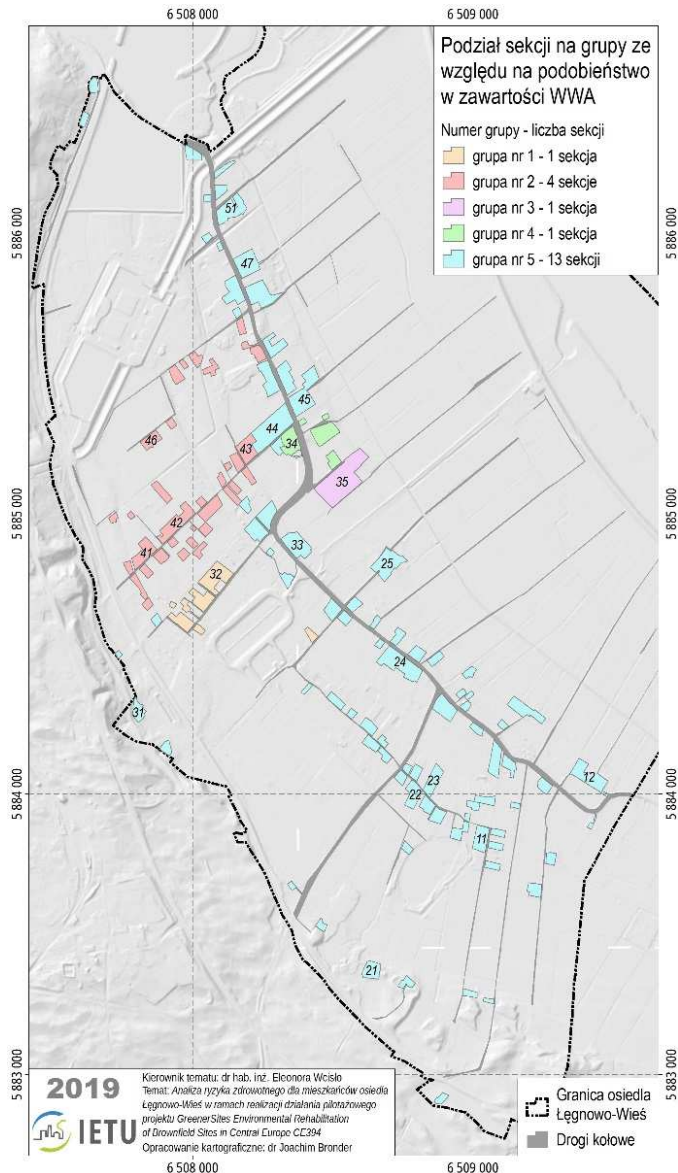
Kolejnym krokiem było określenie autokorelacji przestrzennej zawartości WWA przy pomocy współczynnika Morana I (Tabela 20).

Tabela 20. Wyniki obliczeń współczynnika Morana I, statystyki Z oraz poziomu istotności p

Zanieczyszczenie	Moran I	wartość Z	Poziom istotności p	Rozkład przestrzenny
naftalen	-0,133	-0,734	0,463	losowy
antracen	-0,111	-0,542	0,588	losowy
chryzen	-0,106	-0,493	0,622	losowy
benzo(a)antracen	-0,114	-0,544	0,587	losowy
dibenzo(a,h)antracen	-0,060	-0,063	0,950	losowy
benzo(a)piren	-0,089	-0,311	0,756	losowy
benzo(b)fluoranten	-0,092	-0,346	0,729	losowy
benzo(k)fluoranten	-0,088	-0,303	0,762	losowy
benzo(ghi)perylene	-0,087	-0,287	0,774	losowy
indeno(1,2,3-cd)piren	-0,119	-0,595	0,552	losowy

Źródło: Obliczenia własne IETU na podstawie raportu [DEKONTA 2019]





Rys. 3. Podział sekcji badawczych na grupy ze względu na podobieństwo w zawartości WWA

Wyodrębniono 5 grup sekcji: grupa 1 – 1 sekcja, grupa 2 – 4 sekcje, grupa 3 – 1 sekcja, grupa 4 – 1 sekcja i grupa 5 – 13 sekcji (rysunek 3, mapa 13 w załączniku kartograficznym).

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż najbardziej liczną grupą jest grupa 5, do której należy 13 sekcji (65%). Wartości wskaźnika  $IP_{MAX}$  dla tej grupy sekcji znajdują się w przedziale od 2,9 do 11,3, średnio 6,3 (rozdz. 4.1). Sekcje tej grupy położone są wzdłuż ulic Toruńskiej i Otorowskiej. Drugą pod względem liczebności grupą jest grupa 2, do której należą sekcje 41, 42, 43 i 46. Wartości wskaźnika  $IP_{MAX}$  tej grupy sekcji znajdują się w przedziale od 0,1 do 2,9, średnio 1,0. Sekcje tej grupy położone są wzdłuż ulic Przyłubskiej i Wypaleniska. Pozostałe grupy (1, 3 i 4) zawierają po jednej sekcji i cechują się następującymi najwyższymi wartościami wskaźnika  $IP_{MAX}$ : grupa 1 obejmująca sekcję 32 ( $IP_{MAX} = 75,1$ ), grupa 3 - sekcję 35 ( $IP_{MAX} = 42,5$ ), a grupa 4 – sekcję 34 ( $IP_{MAX} = 33,7$ ), (zob. rozdz. 4.1). Sekcje te położone są przy ul. Toruńskiej i jej odgałęzieniu.

Uzyskane wyniki nie wskazują na powiązanie poziomu zawartości WWA w badanych glebach ze źródłami zanieczyszczenia zlokalizowanymi na terenie dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM.

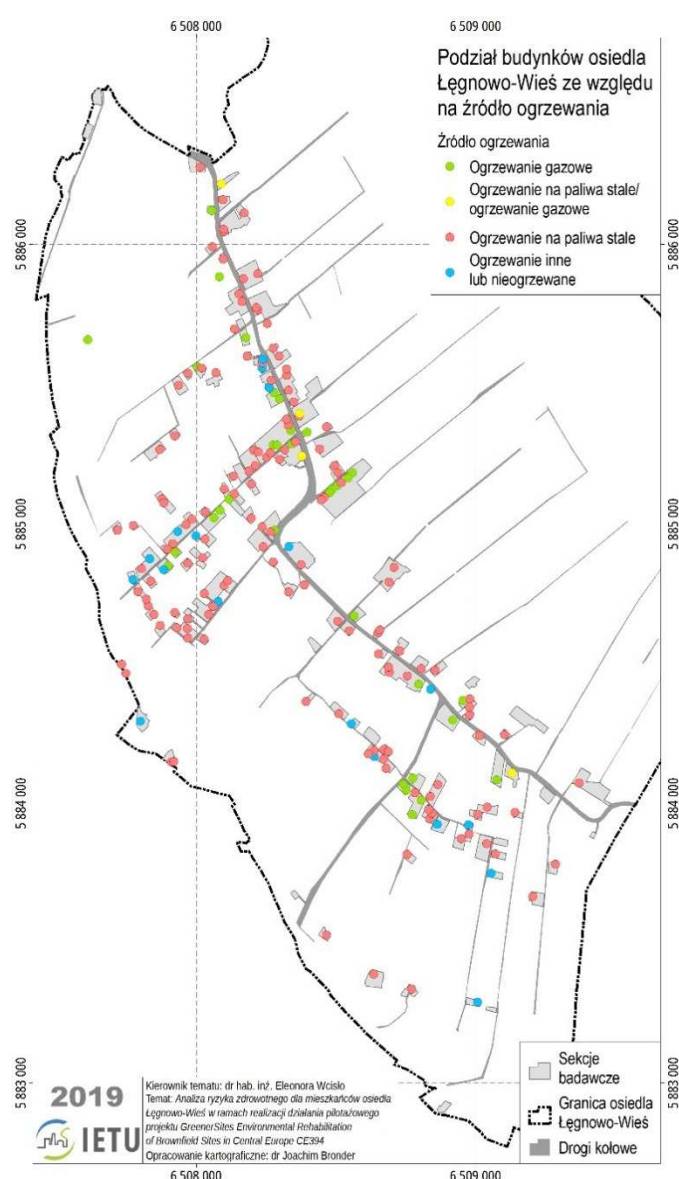
Współczynnik ten przyjmuje wartości od -1 (ujemna autokorelacja przestrzenna) poprzez wartość 0 (brak autokorelacji), do +1 (dodatnia autokorelacja przestrzenna). Im wartość współczynnika bliższa 1 lub -1 tym silniejsza tendencja do podobieństwa lub zróżnicowania sąsiadujących ze sobą obszarów. Statystyki Z wskaźnika Morana I pozwalają określić charakter rozkładu przestrzennego. W tabeli 20 przedstawiono wyniki tej analizy.

Uzyskane wartości współczynnika Morana I są bliskie 0, co wskazuje na brak autokorelacji przestrzennej zawartości wszystkich WWA w glebie obszaru badań. Biorąc pod uwagę wyniki statystyki Z i poziomu istotności p można stwierdzić, że rozkład przestrzenny zawartości wszystkich analizowanych WWA nie różni się znacząco od rozkładu losowego.

Stosując dostępne w pakiecie ArcGIS firmy ESRI narzędzia analizy geostatystycznej dokonano podziału sekcji badawczych na grupy ze względu na sąsiedztwo i podobieństwo w zawartości WWA w glebach.

## 8 PRÓBA OKREŚLENIA ŹRÓDEŁ ZANIECZYSZCZENIA GLEB WIELOPIERŚCIENIOWYMI WĘGLOWODORAMI AROMATYCZNYMI

W badanych glebach nie wykazano przekroczeń dopuszczalnych zawartości substancji najbardziej specyficznych dla działalności dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM, a jedynie przekroczenia dopuszczalnych zawartości WWA, powszechnie występujących w środowisku. Powszechność ich występowania związana jest z ich powstawaniem w procesach pirolizy i niecałkowitego spalania materii organicznej, pochodzenia zarówno naturalnego, jak i antropogenicznego. WWA mogą dostawać się do gleb wraz z zanieczyszczeniami atmosferycznymi, osadami ściekowymi stosowanymi w rolnictwie i spływem z dróg asfaltowych oraz uwalnianiem z mas bitumicznych. Obecność WWA w glebie może być również wynikiem przemian zachodzących w trakcie kompostowania materiału roślinnego i zwierzęcego (zob. załącznik nr 1).



Rys. 4. Podział budynków mieszkalnych ze względu na rodzaj paliwa stosowanego do ich ogrzewania; opracowano na podstawie danych UM Bydgoszczy

W związku z tym, podjęto próbę określenia źródeł zanieczyszczenia badanych gleb tymi związkami, biorąc głównie pod uwagę źródła lokalne, takie jak spalanie paliw w paleniskach domowych. Do tego celu wykorzystano dane, pozyskane z Urzędu Miasta Bydgoszczy, dotyczące rodzajów paliw wykorzystywanych do ogrzewania budynków położonych na osiedlu Łęgnowo-Wieś. Z danych tych wynika, że na 200 budynków w 142 do ogrzewania wykorzystuje się paliwo stałe, w 4 - paliwo mieszane – stałe i gazowe, a w pozostałych gazowe lub inne. Na rysunku 4 i na mapie 16 w załączniku kartograficznym przedstawiono podział budynków mieszkalnych ze względu na rodzaj paliwa stosowanego do ich ogrzewania.

Przeprowadzono analizę korelacji pomiędzy zawartościami poszczególnych WWA i ilością budynków mieszkalnych ogrzewanych danym rodzajem paliwa (paliwo stałe, gazowe, mieszane).

Analiza ta wykazała brak korelacji (korelacja niska, nieistotna statystycznie) pomiędzy zawartościami WWA a danymi na temat sposobu ogrzewania tych budynków. Nie określono zatem czynnika różnicującego poziom zawartości poszczególnych WWA w glebach terenów zabudowy mieszkaniowej.

Analiza rozkładu przestrzennego maksymalnego wskaźnika przekroczeń w sekcjach badawczych wykazała, że sekcje 41, 42 i 43, w których spełnione są kryteria dopuszczalnych zawartości WWA w glebach dla grupy gruntów I, położone są w bliskim sąsiedztwie sekcji 32, cechującej się najwyższą wartością maksymalnego wskaźnika przekroczeń. Przyczyna bardzo znaczącego zanieczyszczenia gleby sekcji 32 została ujawniona na spotkaniu z mieszkańcami osiedla. Z uzyskanej informacji wynika, że zanieczyszczenie to mogło być spowodowane nawiezieniem na teren działek położonych w obrębie tej sekcji popiołu i żużlu z elektrociepłowni podczas prowadzenia robót budowlanych. Natomiast nie została poznana przyczyna występowania bardzo niskich zawartości WWA w glebach sekcji 41, 42 i 43. Można tylko przypuszczać, że przyczyną tą mogło być usunięcie zanieczyszczonej powierzchniowo warstwy gleby i pokrycie tego miejsca glebą niezanieczyszczoną.

Wyniki przeprowadzonych analiz nie wykluczają spalania paliw jako przyczyny zanieczyszczenia gleb WWA. W celu potwierdzenia lub wykluczenia tej hipotezy należałoby zbadać inne czynniki mogące wpływać na zanieczyszczenie gleb tymi związkami, takie, jak: wielkość emisji pyłów z kominów budynków ogrzewanych paliwami stałymi, w tym zawartość WWA w tych pyłach, jakość stosowanych kotłów grzewczych czy transport samochodowy.

## 9 OCENA RYZYKA ZDROWOTNEGO

### 9.1 METODA OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO

Do oceny ryzyka zdrowotnego na obszarze dzielnicy Łęgnowo-Wieś zastosowano program komputerowy do szacowania ryzyka zdrowotnego na terenach zdegradowanych chemicznie – HRA2. Program ten to własne rozwiązanie informatyczne IETU do wspomagania procesów decyzyjnych na poziomie lokalnym związanych z remediacją i podejmowaniem innych działań naprawczych na tych terenach.

W aplikacji wykorzystano podstawy metodologiczne oceny ryzyka zdrowotnego Agencji Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych [USEPA 1989; 1991a, 1991b; 1996a,b; 2001; 2002; 2004, 2014].

Ocena ta składa się z dwóch głównych etapów :

- podstawowej oceny ryzyka zdrowotnego;
- wyznaczania lokalnych, bezpiecznych dla zdrowia zawartości substancji zanieczyszczających w glebie, czyli lokalnych kryteriów remediacyjnych (RBRL).

#### 9.1.1 PODSTAWOWA OCENA RYZYKA ZDROWOTNEGO

Podstawowa ocena ryzyka zdrowotnego jest analizą potencjalnych negatywnych skutków zdrowotnych, które mogą wystąpić w wyniku narażenia na szkodliwe substancje obecne w mediach środowiskowych na danym terenie, w sytuacji gdy nie są podejmowane żadne działania kontrolne lub ograniczające narażenie (tzn. w przypadku braku działań naprawczych), [USEPA 1989].

Proces podstawowej oceny ryzyka zdrowotnego składa się z następujących faz:

- opracowania zestawu potrzebnych danych;
- oceny narażenia;
- oceny toksyczności substancji;
- charakterystyki ryzyka.

#### **Opracowania zestawu potrzebnych danych**

Przedmiotem oceny były te substancje zanieczyszczające, których zawartości oznaczone w glebie warstwy powierzchniowej (0,0-0,25 m p.p.t.) były równe lub wyższe od ich granic oznaczalności (zob. tabele 1 i 2). Substancje te należą do jednej z trzech grup:

- metale i metaloid: arsen, bar, chrom<sup>1</sup>, cyna, cynk, kadm, kobalt, miedź, molibden, nikiel, ołów<sup>2</sup> i rtęć<sup>3</sup>;

---

<sup>1</sup> W próbkach gleby oznaczano całkowite zawartości chromu. Jednak ze względu na zróżnicowaną toksyczność Cr (III) i rakotwórczego Cr (VI) ocenę ryzyka zdrowotnego przeprowadzono oddzielnie dla tych dwóch form chromu. Przyjęto, że zawartość Cr (VI) stanowi 1/7 jego całkowitej zawartości [IRIS 2019].

<sup>2</sup> Standardowa metoda oceny ryzyka zdrowotnego nie znajduje zastosowania dla ołowiu, ze względu na brak odpowiednich miar toksykologicznych dla tego metalu [USEPA 2016]. W związku z tym, do oceny ryzyka zdrowotnego wynikającego z narażenia na ten metal zastosowano jego zawartość przesiewową wynoszącą 400 mg/kg, ustanowioną przez USEPA dla gleb terenów mieszkaniowych [USEPA 1994, 1998].

<sup>3</sup> Ocena dotyczyła rtęci w postaci chlorku rtęci (II) - HgCl<sub>2</sub> i innych nieorganicznych związków rtęci.

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA): naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)piren;
- inne: fenol i 3,5-dichlorofenol.

W ocenie nie uwzględniono wyników zawartości substancji lotnych oznaczanych w warstwach głębszych, gdyż tylko w 1 próbce (otwór 51) zawartości benzo(a)antracenu i 2 próbkach zawartości pirenu (otwory 25 i 51) były wyższe od ich granic oznaczalności, ale mniejsze niż w warstwie powierzchniowej.

Wyniki zawartości w glebie metali, arsenu, WWA oraz fenolu i 3,5-dichlorofenolu (zob. tabele 1 i 2) stanowiły zatem dane wejściowe do oceny ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś.

### Ocena narażenia

Podstawą do ilościowego oszacowania narażenia są scenariusze narażenia, które opracowuje się w zależności od obecnego lub/i przyszłego sposobu użytkowania terenu. Scenariusze te uwzględniają odpowiedni rodzaj receptora (np. dzieci, osoby dorosłe) i sposób narażenia (szlaki narażenia).

Do oceny narażenia mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś zastosowano **scenariusz mieszkaniowy**, który uwzględnia dwa rodzaje receptorów: dzieci i osoby dorosłe.

Analizowano cztery szlaki narażenia mieszkańców na zanieczyszczenia zawarte lub uwalniające się z gleby:

- przypadkowe spożycie,
- kontakt dermalny,
- wdychanie cząstek gleby,
- wdychanie par substancji lotnych.

Równania służące do obliczania dawek substancji chemicznych pobranych z poszczególnych szlaków narażenia zostały zaadaptowane do programu HRA2 z dokumentów USEPA i przedstawione poniżej [USEPA 2001; 2002; 2004; 2014].

Przypadkowe spożycie zanieczyszczonej gleby

$$CI = \frac{CS \times EF \times ED \times IR_o \times CF_1 \times RBA}{BW \times AT} \quad (2)$$

Kontakt dermalny z zanieczyszczoną glebą

$$AD = \frac{CS \times EF \times ED \times SA \times AF \times ABS_d \times CF_1}{BW \times AT} \quad (3)$$

Wdychanie cząstek zanieczyszczonej gleby

$$PE_p = \frac{CS \times EF \times ED \times ET \times \frac{1}{PEF}}{AT} \quad (4)$$

### Wdychanie par substancji lotnych uwalniających się z gleby

$$PE_V = \frac{CS \times EF \times ED \times ET \times \frac{1}{VF}}{AT} \quad (5)$$

gdzie:

CI ( <i>contaminant ingestion intake</i> )	dawka substancji chemicznej pobrana drogą pokarmową (mg/kg/dzień)
AD ( <i>absorbed dose</i> )	dawka substancji chemicznej wchłonięta przez skórę (mg/kg/dzień)
PE <sub>P</sub> ( <i>pulmonary exposure – fugitive soil particles</i> )	pobranie substancji chemicznej drogą oddechową poprzez wdychanie cząstek zanieczyszczonej gleby (mg/m <sup>3</sup> )
PE <sub>V</sub> ( <i>pulmonary exposure - volatiles</i> )	pobranie substancji lotnej drogą oddechową poprzez wdychanie jej par uwalniających się z gleby (mg/m <sup>3</sup> )
CS ( <i>concentration of contaminant in soil</i> )	stężenie substancji w glebie (mg/kg)
EF ( <i>exposure frequency</i> )	częstotliwość narażenia (dni/rok)
ED ( <i>exposure duration</i> )	czas trwania narażenia (lata)
IR <sub>o</sub> ( <i>ingestion rate</i> )	wskaźnik dobowego przypadkowego spożycia gleby (mg/dzień)
BW ( <i>body weight</i> )	masa ciała (kg)
RBA ( <i>relative bioavailability factor</i> )	względny współczynnik biodostępności (bez jednostki);(uwzględniony tylko dla arsenu - RBA=0,6 [USEPA 2019])
AT ( <i>averaging time</i> )	czas uśredniania narażenia (dni) (AT <sub>N</sub> =ED•365dni/rok dla substancji nierakotwórczych, AT <sub>C</sub> =70 lat•365dni/rok dla substancji rakotwórczych)
CF <sub>1</sub> ( <i>conversion factor</i> )	współczynnik konwersji (10 <sup>-6</sup> kg/mg)
SA ( <i>skin surface area exposed</i> )	powierzchnia skóry w kontakcie z glebą (cm <sup>2</sup> )
AF ( <i>soil-to-skin adherence factor</i> )	współczynnik przyczepności gleby do skóry (mg/cm <sup>2</sup> /dzień)
ABS <sub>d</sub> ( <i>dermal absorption fraction</i> )	współczynnik wchłaniania dermalnego - specyficzny dla substancji (bez jednostki)
ET ( <i>exposure time</i> )	udział czasu narażenia w ciągu doby (bez jednostki); ET=t•(1dzień/24 godz.), gdzie t – czas narażenia w ciągu doby (godz./dzień), (zob. tabela 21)
PEF ( <i>particulate emission factor</i> )	współczynnik emisji cząstek gleby (m <sup>3</sup> /kg)
VF ( <i>volatilisation factor</i> )	współczynnik parowania gleba/powietrze (m <sup>3</sup> /kg).

W równaniach tych występują parametry narażenia, których wartości zależą od lokalnych warunków środowiskowych występujących na badanym terenie, rodzaju narażonej populacji i rodzajów aktywności narażonych osób. W ocenie zastosowano domyślne wartości parametrów narażenia proponowane dla scenariusza mieszkaniowego (Tabela 21).

Tabela 21. Domyślne wartości parametrów narażenia w scenariuszu mieszkaniowym (narażenie na zanieczyszczoną glebę)

Symbol	Parametr	Jednostka	Scenariusz mieszkaniowy	
			Dzieci	Osoby dorosłe
EF	częstotliwość narażenia	dni/rok	350	350
ED	czas trwania narażenia	lata	6	24
BW	masa ciała	kg	15	70
IR <sub>o</sub>	wskaźnik dobowego przypadkowego spożycia gleby	mg/dzień	200	100
SA	powierzchnia skóry w kontakcie z glebą	cm <sup>2</sup>	2 800	5 700
AF	współczynnik przyczepności gleby do skóry	mg/cm <sup>2</sup> /dzień	0,2	0,07
t	czas narażenia w ciągu doby	godz./dzień	24	24
AT <sub>N</sub>	czas uśredniania narażenia (substancje nierakotwórcze); AT <sub>N</sub> = ED*365dni/rok	dni	2 190	8 760
AT <sub>C</sub>	czas uśredniania narażenia (substancje rakotwórcze); AT <sub>C</sub> = 70 lat*365dni/rok	dni	25 550	25 550

Źródło: Zaadaptowano z [USEPA 1991a,b; 2002; 2004]

Zgodnie z wytycznymi USEPA, do obliczania dawek substancji rakotwórczych mutagennych pobranych wszystkimi ww. szlakami narażenia zastosowano specjalne współczynniki korygujące, które odnoszą się do czterech okresów życia człowieka (dziecko 0-2 lata, dziecko 2-6 lat, osoba dorosła 6 - 16 lat, osoba dorosła 16-30 lat), [USEPA 2004; 2005; 2014].

### **Ocena toksyczności**

Ocena toksyczności polega na zebraniu ilościowych i jakościowych danych dotyczących toksyczności substancji, w tym informacji o miarach toksyczności. Miarą toksyczności substancji rakotwórczych jest współczynnik nachylenia (*slope factor* – SF) przy narażeniu drogą pokarmową i dermalną oraz ryzyko jednostkowe (*unit risk* – UR) przy narażeniu drogą oddechową. Natomiast miarą toksyczności substancji nierakotwórczych jest dawka referencyjna (*reference dose* – RfD) przy narażeniu drogą pokarmową i dermalną oraz stężenie referencyjne (*reference concentration* – RfC) przy narażeniu drogą oddechową.

Miary toksyczności przy narażeniu dermalnym oblicza się poprzez ekstrapolację miar toksyczności określonych przy narażeniu drogą pokarmową, stosując odpowiedni dla danej substancji współczynnik absorpcji żołądkowo-jelitowej (*gastrointestinal absorption factor* -  $ABS_{gi}$ ), [USEPA 2002; 2004].

Miary toksyczności ocenianych substancji (metale, arsen, WWA, fenol, 3,5-dichlorofenol) zestawiono w tabeli 22. W załączniku 1 zamieszczono profil toksykologiczny analizowanych WWA.

Tabela 22. Miary toksyczności ocenianych substancji

Substancja	Numer CAS	RfD <sub>o</sub> [mg/kg/dzień]	RfC [mg/m <sup>3</sup> ]	SF <sub>o</sub> [mg/ kg/dzień] <sup>-1</sup>	UR [μg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	ABS <sub>gi</sub> [bez jednostki]	ABS <sub>d</sub> [bez jednostki]
<b>Metale i metaloid</b>							
Arsen	007440-38-2	3,0E-04	1,5E-05	1,50E+00	4,3E-03	1	0,03
Bar	007440-39-3	2,0E-01	5,0E-04	b.d.	b.d.	0,07	0,01
Chrom (III)	016065-83-1	1,5E+00	b.d.	b.d.	b.d.	0,013	0,01
Chrom (VI)	M 018540-29-9	3,0E-03	1,0E-04	5,00E-01	8,4E-02	0,025	0,01
Cyna	007440-31-5	6,0E-01	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,01
Cynk	007440-66-6	3,0E-01	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,01
Kadm	007440-43-9	1,0E-03	1,0E-05	b.d.	1,8E-03	0,025	0,001
Kobalt	007440-48-4	3,0E-04	6,0E-06	b.d.	9,0E-03	1	0,01
Miedź	007440-50-8	4,0E-02	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,01
Molibden	007439-98-7	5,0E-03	NA	NA	NA	1	0,01
Nikiel	007440-02-0	2,0E-02	9,0E-05	NA	2,6E-04	0,04	0,01
Rtęć	007487-94-7	3,0E-04	3,0E-04	NA	NA	0,07	0,01
<b>WWA</b>							
Acenaften	000083-32-9	6,0E-02	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Acenaftylen*	000208-96-8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Antracen	000120-12-7	3,0E-01	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Benzo(a)antracen	M 000056-55-3	b.d.	b.d.	1,00E-01	6,0E-05	1	0,13
Benzo(a)piren	M 000050-32-8	3,0E-04	2,0E-06	1,00E+00	6,0E-04	1	0,13
Benzo(b)fluoranten	M 000205-99-2	b.d.	b.d.	1,00E-01	6,0E-05	1	0,13
Benzo(ghi)perylene*	000191-24-2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Benzo(k)fluoranten	M 000207-08-9	b.d.	b.d.	1,00E-02	6,0E-06	1	0,13
Chryzen	M 000218-01-9	b.d.	b.d.	1,00E-03	6,0E-07	1	0,13
Dibenzo(a,h)antracen	M 000053-70-3	b.d.	b.d.	1,00E+00	6,0E-04	1	0,13
Fluoranten	000206-44-0	4,0E-02	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Fluoren	000086-73-7	4,0E-02	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Fenantren*	000085-01-8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
Indeno(1,2,3-cd)piren	M 000193-39-5	b.d.	b.d.	1,00E-01	6,0E-05	1	0,13
Naftalen	000091-20-3	2,0E-02	3,0E-03	b.d.	3,4E-05	1	0,13
Piren	000129-00-0	3,0E-02	b.d.	b.d.	b.d.	1	0,13
<b>Inne substancje organiczne</b>							
Fenol	000108-95-2	3,0E-01	2,0E-01	b.d.	b.d.	1	0,1
3,5-dichlorofenol*	000591-35-5	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

b.d. brak danych; M – substancja mutagenna; \* substancja pominięta w ocenie ryzyka zdrowotnego ze względu na brak danych dotyczących miar toksyczności

Źródło: [USEPA 2004; 2016; 2019]

## Charakterystyka ryzyka zdrowotnego

Charakterystyka ryzyka zdrowotnego występującego na danym terenie polega na integracji wyników oceny toksyczności i oceny narażenia.

Ryzyko jest charakteryzowane oddzielnie dla substancji o działaniu nierakotwórczym i rakotwórczym w ramach opracowanych scenariuszy narażenia. Substancje o działaniu zarówno rakotwórczym, jak i nierakotwórczym oceniane są pod względem obydwu rodzajów działania [USEPA 1989; 2002; 2014].



**Ryzyko nierakotwórcze** wyrażane jest w postaci ilorazu zagrożenia (*hazard quotient* - HQ), który oblicza się stosując wzory odpowiednie do występujących dróg narażenia [USEPA 1989, 2002, 2014]:

Narażenie drogą pokarmową

$$HQ_o = \frac{CI}{RfD_o} \quad (6)$$

Narażenie drogą dermalną

$$HQ_d = \frac{AD}{RfD_d} \quad (7)$$

Narażenie drogą oddechową

$$HQ_{inh} = \frac{PE}{RfC} \quad (8)$$

gdzie:

HQ <sub>o</sub>	iloraz zagrożenia dla narażenia drogą pokarmową (bez jednostki)
HQ <sub>d</sub>	iloraz zagrożenia dla narażenia drogą dermalną (bez jednostki)
HQ <sub>inh</sub>	iloraz zagrożenia dla narażenia drogą oddechową (bez jednostki)
CI	dawka substancji nierakotwórczej pobrana drogą pokarmową (mg/kg/dzień)
RfD <sub>o</sub>	dawka referencyjna przy narażeniu drogą pokarmową (mg/kg/dzień)
RfD <sub>d</sub>	dawka referencyjna przy narażeniu dermalnym (mg/kg/dzień)
AD	dawka substancji nierakotwórczej wchłonięta przez skórę (mg/kg/dzień)
PE	pobranie substancji nierakotwórczej drogą oddechową (mg/m <sup>3</sup> )
RfC	stężenie referencyjne (mg/m <sup>3</sup> )

W przypadku narażenia na daną substancję wszystkimi trzema drogami ryzyka nierakotwórcze (ilorazy zagrożenia) obliczone dla poszczególnych dróg sumuje się i wyraża w postaci indeksu zagrożenia (HI) dla substancji:

$$HI = HQ_o + HQ_d + HQ_{inh} \quad (9)$$

Jeżeli HI dla substancji przekracza wartość 1, oznacza to, że w wyniku narażenia na daną substancję mogą wystąpić szkodliwe efekty zdrowotne.

W przypadku występowania narażenia na więcej niż jedną substancję nierakotwórczą i/lub drogę narażenia ilorazy zagrożenia (HQ) obliczone dla każdej substancji i drogi narażenia sumuje się i wyraża w postaci całkowitych indeksów zagrożenia (*hazard index* – HI) [USEPA 1989]. Całkowity HI oblicza się dla danego receptora w ramach danego scenariusza narażenia (w scenariuszu mieszkaniowym oddzielnie dla dziecka i osoby dorosłej). Całkowity HI przekraczający wartość 1 oznacza, że przy danej wielkości narażenia mogą powstać szkodliwe efekty zdrowotne.

Ocenę ryzyka nierakotwórczego (HI) występującego na przedmiotowym terenie przeprowadzono oddzielnie dla każdej sekcji badawczej i każdego wybranego gospodarstwa. Obliczone całkowite ryzyko nierakotwórcze porównano z poziomem dopuszczalnym równym 1.

**Ryzyko rakotwórcze** jest szacowane jako prawdopodobieństwo zachorowania na raka w okresie całego życia, wynikające z narażenia na daną substancję rakotwórczą daną drogą narażenia.

Ryzyko to oblicza się stosując wzory odpowiednie do występujących dróg narażenia [USEPA 1989; 2002; 2014]:

Narażenie drogą pokarmową

$$CR_o = CI \times SF_o \quad (10)$$

Narażenie drogą dermalną

$$CR_d = AD \times SF_d \quad (11)$$

Narażenie drogą oddechową

$$CR_{inh} = PE \times UR \quad (12)$$

gdzie:

$CR_o$	ryzyko rakotwórcze wynikające z narażenia na daną substancję drogą pokarmową (bez jednostki)
$CR_d$	ryzyko rakotwórcze wynikające z dermalnego narażenia na daną substancję (bez jednostki)
$CR_{inh}$	ryzyko rakotwórcze wynikające z narażenia na daną substancję drogą oddechową (bez jednostki)
CI	dawka substancji rakotwórczej pobrana drogą pokarmową (mg/kg/dzień)
$SF_o$	współczynnik nachylenia przy narażeniu drogą pokarmową (mg/kg/dzień) <sup>-1</sup>
$SF_d$	współczynnik nachylenia przy narażeniu dermalnym (mg/kg/dzień) <sup>-1</sup>
AD	dawka substancji chemicznej wchłonięta przez skórę (mg/kg/dzień)
PE	pobranie substancji chemicznej drogą oddechową (mg/m <sup>3</sup> )
UR	ryzyko jednostkowe (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>

W przypadku narażenia na daną substancję wszystkimi trzema drogami ryzyko rakotwórcze obliczone dla poszczególnych dróg narażenia sumuje się i wyraża w postaci ryzyka rakotwórczego (CR) dla substancji:

$$CR = CR_o + CR_d + CR_{inh} \quad (13)$$

Całkowite ryzyko rakotwórcze oblicza się sumując ryzyko obliczone dla poszczególnych kancerogenów w odniesieniu do danego receptora:

$$\text{Całkowite CR} = \sum_{i=1}^n CR_i \quad (14)$$

gdzie:

całkowite CR	całkowite ryzyko rakotwórcze dla danego receptora
$CR_i$	ryzyko rakotwórcze oszacowane dla i-tej substancji
n	liczba analizowanych substancji rakotwórczych.

Zgodnie z zaleceniami USEPA, w ramach scenariusza mieszkaniowego ryzyko rakotwórcze oblicza się dla receptora określanego jako mieszkaniec zagregowany (*aggregate resident*), [USEPA 2001; 2014]. Zagregowany mieszkaniec oznacza osobę narażoną na daną substancję zarówno w dzieciństwie, jak i w życiu dorosłym, a zagregowane ryzyko rakotwórcze oblicza się jako sumę ryzyka rakotwórczego obliczonego dla dziecka i osoby dorosłej [USEPA 2001].

Całkowite ryzyko rakotwórcze porównuje się następnie z poziomem akceptowalnym (dopuszczalnym). Jako poziom akceptowalny ryzyka rakotwórczego przyjmuje się najczęściej wartości z zakresu od  $1 \cdot 10^{-6}$  do  $1 \cdot 10^{-4}$  [Carlson (ed. 2007); Wcisło i in. 2003; USEPA 1991a,b; 2014]. Wartość ryzyka rakotwórczego  $CR=1 \cdot 10^{-6}$  oznacza jeden dodatkowy przypadek zachorowania na nowotwór

w narażonej jednomilionowej populacji. Ustalenie akceptowalnego poziomu ryzyka rakotwórczego dla pojedynczej substancji na poziomie  $1 \cdot 10^{-6}$  pozwala zazwyczaj osiągnąć całkowity poziom ryzyka w zakresie od  $1 \cdot 10^{-6}$  do  $1 \cdot 10^{-4}$ .

W ocenach terenów zdegradowanych chemicznie w kraju stosowano zazwyczaj wartość  $1 \cdot 10^{-6}$  jako akceptowalny poziom ryzyka rakotwórczego w odniesieniu do pojedynczej substancji, a wartości z zakresu od  $1 \cdot 10^{-6}$  do  $1 \cdot 10^{-4}$  – jako dopuszczalne całkowite ryzyko rakotwórcze na badanym terenie [Wcisło 2009].

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi za dopuszczalną wartość ryzyka rakotwórczego w odniesieniu do pojedynczej substancji uznaje się wartość  $CR < 1 \cdot 10^{-5}$  (§ 4 pkt 2 lit. b).

W związku z tym, **w przedmiotowej ocenie ryzyka zdrowotnego zastosowano wartość  $1 \cdot 10^{-5}$  jako dopuszczalny poziom ryzyka rakotwórczego w odniesieniu do pojedynczej substancji, a wartość  $1 \cdot 10^{-4}$  – jako dopuszczalne całkowite ryzyko rakotwórcze na badanym terenie.**

Ocenę ryzyka rakotwórczego przeprowadzono oddzielnie dla każdej sekcji badawczej i każdego wybranego gospodarstwa.

### 9.1.2 WYZNACZANIE LOKALNYCH, BEZPIECZNYCH DLA ZDROWIA ZAWARTOŚCI SUBSTANCJI ZANIECZYSZCZAJĄCYCH (RBRL)

Lokalna, bezpieczna dla zdrowia zawartość substancji zanieczyszczającej (RBRL) w glebie jest to zawartość obliczona w oparciu o ustaloną wartość ryzyka docelowego (TR), przy uwzględnieniu lokalnych warunków środowiskowych i warunków narażenia w ramach określonego scenariusza narażenia (lokalne kryterium remediacyjne).

TR dla substancji rakotwórczych wynosi na przykład  $CTR = 1 \cdot 10^{-5}$ , a dla substancji nierakotwórczych jest to iloraz zagrożenia lub indeks zagrożenia (np.  $NTR = HQ$  lub  $HI < \text{lub} = 1$ ).

RBRL wyznacza się dla receptorów, które zostały określone we wcześniej opracowanym scenariuszu narażenia (w scenariuszu mieszkaniowym – dziecko, osoba dorosła i zagregowany mieszkaniec).

RBRL oblicza się oddzielnie dla substancji rakotwórczych i nierakotwórczych, a dla substancji o działaniu zarówno systemowym, jak i rakotwórczym – oddzielnie dla obydwu efektów działania. Oblicza się je oddzielnie dla narażenia drogą pokarmową/dermalną i narażenia drogą oddechową ze względu na potencjalnie różne efekty szkodliwe (narządy/układy docelowe) powodowane tymi drogami narażenia. Do obliczania RBRL wykorzystuje się dane pochodzące z ocenianego terenu [USEPA 2000].

$$RBRL = C \times \frac{TR}{\text{Ryzyko obliczone}} \quad (15)$$

gdzie:

RBRL	lokalna, bezpieczna dla zdrowia zawartość substancji nierakotwórczej w glebie dla narażenia drogą pokarmową/ dermalną lub oddechową
C	zawartość substancji zanieczyszczającej w glebie (mg/kg)
TR	docelowe ryzyko nierakotwórcze lub rakotwórcze
Ryzyko obliczone	ryzyko nierakotwórcze (HQ) lub rakotwórcze (CR) obliczone dla danej substancji zanieczyszczającej w glebie dla narażenia drogą pokarmową/ dermalną lub inhalacyjną

Jeżeli dana substancja nierakotwórcza oddziałuje toksycznie na te same narządy/układy docelowe zarówno drogą pokarmową/dermalną i inhalacyjną oblicza się łączną lokalną, bezpieczną zawartość substancji nierakotwórczej w glebie (RBRL<sub>N</sub>) przy założeniu, że indeks zagrożenia (HI) dla substancji nie przekracza wartości docelowego ryzyka nierakotwórczego (NTR=HI) równej 1.

Łączną lokalną, bezpieczną zawartość substancji rakotwórczej (RBRL<sub>C</sub>) w glebie przy narażeniu wszystkimi trzema drogami oblicza się przy założeniu, że ryzyko rakotwórcze dla substancji nie przekracza wartości docelowego ryzyka rakotwórczego (np. CTR =  $1 \cdot 10^{-5}$ ).

W przypadku substancji lotnych występujących w glebie w fazie ciekłej w normalnej temperaturze gleby, obliczona wartość RBRL<sub>inh</sub> powinna zostać dodatkowo porównana ze stężeniem nasycenia gleby tą substancją (*soil saturation limit* –  $C_{sat}$ ), [USEPA 2002].

Wartości wszystkich rodzajów RBRL wyznaczone w powyżej przedstawiony sposób są następnie porównywane, a wartość najniższa jest proponowana jako lokalne kryterium remediacyjne (RBRL<sub>remed</sub>). RBRL<sub>remed</sub> odnosi się do danego scenariusza narażenia i danego receptora.

Lokalne kryteria remediacyjne dla gleb osiedla Łęgnowo-Wieś zostały wyznaczone z uwzględnieniem wszystkich 3 dróg narażenia (pokarmowej/dermalnej i inhalacyjnej), przyjmując wartość docelowego ryzyka nierakotwórczego NTR (HI)=1, a docelowego ryzyka rakotwórczego CTR= $1 \cdot 10^{-5}$ .

## 9.2 WYNIKI OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO W SEKCJACH BADAWCZYCH

Wyniki analizy ryzyka nierakotwórczego dla dziecka i osoby dorosłej oraz ryzyka rakotwórczego dla mieszkańca zagregowanego w odniesieniu do każdej sekcji badawczej zamieszczono w załączniku 3.

W tabeli 23 zamieszczono zbiorcze wyniki całkowitego ryzyka nierakotwórczego (indeks zagrożenia - HI) dla dziecka i osoby dorosłej dla wszystkich sekcji badawczych.

Tabela 23. Całkowite ryzyko nierakotwórcze (HI) w sekcjach badawczych

Numer sekcji	Powierzchnia sekcji [m <sup>2</sup> ]	Całkowite HI – dziecko	Całkowite HI – osoba dorosła
11	16669,4	2,1E-01	2,4E-02
12	20672,0	3,3E-01	3,8E-02
21	7399,7	1,5E-01	1,7E-02
22	15725,8	1,9E-01	2,2E-02
23	13556,7	2,4E-01	2,7E-02
24	19670,0	3,6E-01	4,1E-02
25	18548,7	3,2E-01	3,7E-02
31	5319,8	2,9E-02	3,7E-03
32	17503,4	3,2E-01	4,5E-02
33	17314,3	3,8E-02	5,0E-03
34	13277,4	1,4E-01	1,8E-02
35	17810,7	2,0E-01	2,8E-02
41	12494,4	1,0E-03	2,2E-04
42	14752,5	1,0E-03	2,3E-04
43	16802,1	4,2E-03	6,3E-04
44	18906,8	3,5E-02	4,5E-03
45	16507,4	2,0E-02	2,6E-03
46	13698,5	1,3E-02	1,7E-03
47	18290,2	3,8E-02	5,1E-03
51	16121,0	2,1E-02	2,8E-03

Całkowite ryzyko nierakotwórcze (HI) wynikające z narażenia dziecka na substancje zanieczyszczające zawarte w glebie warstwy powierzchniowej (0-0,25 m p.p.t.) wynosi od HI=0,001 w sekcjach 41 i 42 do HI=0,36 w sekcji 24 i we wszystkich sekcjach jest znacznie niższe niż poziom dopuszczalny równy 1. Całkowity indeks zagrożenia (HI) dla osoby dorosłej jest niższy niż dla dziecka we wszystkich sekcjach i wynosi od HI=0,00022 w sekcji 41 do HI=0,045 w sekcji 32.

W tabeli 24 zamieszczono zbiorcze wyniki całkowitego ryzyka rakotwórczego (CR) dla mieszkańca zagregowanego dla wszystkich sekcji badawczych. Wyniki te zobrazowano na mapie 14 zamieszczonej w załączniku kartograficznym.

Tabela 24. Całkowite ryzyko rakotwórcze (CR) w sekcjach badawczych

Numer sekcji	Powierzchnia sekcji [m <sup>2</sup> ]	Całkowite CR
11	16669,4	1,4E-05
12	20672,0	2,3E-05
21	7399,7	1,1E-05
22	15725,8	1,2E-05
23	13556,7	1,8E-05
24	19670,0	2,7E-05
25	18548,7	2,2E-05
31	5319,8	5,8E-06
32	17503,4	7,2E-05
33	17314,3	9,0E-06
34	13277,4	3,2E-05
35	17810,7	4,2E-05
41	12494,4	2,8E-07
42	14752,5	2,8E-07
43	16802,1	9,2E-07
44	18906,8	7,9E-06
45	16507,4	4,3E-06
46	13698,5	2,8E-06
47	18290,2	8,8E-06
51	16121,0	4,8E-06

Całkowite ryzyko rakotwórcze wynosi od  $CR=2,8 \cdot 10^{-7}$  w sekcjach 41 i 42 do  $CR=7,2 \cdot 10^{-5}$  w sekcji 32 i w żadnej z sekcji nie przekracza ryzyka dopuszczalnego równego  $1 \cdot 10^{-4}$ , powyżej którego najczęściej uzasadnione jest podjęcie działań naprawczych.

Biorąc pod uwagę pojedyncze substancje, ryzyko rakotwórcze tylko nieznacznie wyższe od  $1 \cdot 10^{-5}$  występuje w przypadku benzo(a)pirenu i chromu(VI) i dotyczy odpowiednio sekcji 32, 34 i 35 oraz sekcji 23 i 24 (zob. załącznik 3). Do wyniku ryzyka rakotwórczego dla chromu (VI) należy podejść jednak z dużą ostrożnością, gdyż do jego wyliczenia nie posłużyto się zawartościami pomierzonymi, ale przyjęto założenie, że zawartość chromu (VI) w glebie stanowi 1/7 jego całkowitej zawartości [IRIS 2019], co niekoniecznie ma odzwierciedlenie w warunkach okalnych.

### 9.3 WYNIKI OCENY RYZYKA ZDROWOTNEGO W WYBRANYCH GOSPODARSTWACH

Szczegółowe wyniki analizy ryzyka nierakotwórczego dla dziecka i osoby dorosłej oraz ryzyka rakotwórczego dla mieszkańca zagregowanego w odniesieniu do wybranych gospodarstw zamieszczono w załączniku 3.

Wyniki całkowitego ryzyka nierakotwórczego (HI) dla dziecka i osoby dorosłej w odniesieniu do wybranych gospodarstw zamieszczono w tabeli 25.

Tabela 25. Całkowite ryzyko nierakotwórcze (HI) w wybranych gospodarstwach

Wybrane gospodarstwo - numer studni	Sekcja	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Całkowite HI – dziecko	Całkowite HI – osoba dorosła
K02	51	522,2	1,6E-02	2,0E-03
K11	44	2568,0	1,6E-02	2,0E-03
K26	46	2080,0	5,1E-03	7,1E-04
K30	25	856,6	4,0E-01	4,7E-02
K31	23	1896,0	2,5E-01	2,9E-02
K33	21	984,7	2,0E-01	2,3E-02

Całkowite ryzyko nierakotwórcze (indeks zagrożenia HI), wynikające z narażenia dziecka na substancje zanieczyszczające zawarte w glebie warstwy powierzchniowej (0-0,25 m p.p.t.) wynosi od HI=0,0051 w gospodarstwie K26 do HI=0,40 w gospodarstwie K30 i we wszystkich gospodarstwach jest znacznie niższe niż poziom dopuszczalny równy 1. Całkowity indeks zagrożenia (HI) dla osoby dorosłej jest niższy niż dla dziecka we wszystkich gospodarstwach i wynosi od HI=0,00071 w gospodarstwie K26 do HI=0,047 w gospodarstwie K30.

Wyniki całkowitego ryzyka rakotwórczego (CR) dla mieszkańca zagregowanego w odniesieniu do wybranych gospodarstw zamieszczono w tabeli 26. Wyniki te zobrazowano na mapie 15 zamieszczonej w załączniku kartograficznym.

Tabela 26. Całkowite ryzyko rakotwórcze (CR) w wybranych gospodarstwach

Wybrane gospodarstwo – nr studni	Sekcja	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	CR
K02	51	522,2	3,4E-06
K11	44	2568,0	3,3E-06
K26	46	2080,0	1,2E-06
K30	25	856,6	3,4E-05
K31	23	1896,0	1,7E-05
K33	21	984,7	1,2E-05

Całkowite ryzyko rakotwórcze wynosi od CR=1,2\*10<sup>-6</sup> w gospodarstwie K26 do CR=3,4\*10<sup>-5</sup> w gospodarstwie K30 i w żadnym z gospodarstw nie przekracza dopuszczalnego poziomu ryzyka rakotwórczego równego 1\*10<sup>-4</sup>, powyżej którego najczęściej uzasadnione jest podjęcie działań naprawczych.

Biorąc pod uwagę pojedyncze substancje, ryzyko rakotwórcze tylko nieznacznie wyższe od 1\*10<sup>-5</sup> występuje w przypadku benzo(a)pirenu i chromu (VI) i wynosi w obydwu przypadkach CR=1,2\*10<sup>-5</sup> (gospodarstwo K30). Do ryzyka rakotwórczego dla chromu (VI) należy podejść jednak z dużą ostrożnością, gdyż do jego wyliczenia nie posłużyto zawartościami pomierzonymi, ale przyjęto założenie, że zawartość chromu (VI) w glebie stanowi 1/7 jego całkowitej zawartości [IRIS 2019], co niekoniecznie ma odzwierciedlenie w warunkach lokalnych.

## 9.4 LOKALNE, BEZPIECZNE DLA ZDROWIA ZAWARTOŚCI SUBSTANCJI ZANIECZYSZCZAJĄCYCH - LOKALNE KRYTERIA REMEDIACYJNE

W tabeli 27 zamieszczono wyznaczone lokalne, bezpieczne dla zdrowia zawartości ocenianych substancji w glebie (RBRL). Do ich wyznaczenia zastosowano docelowy poziom ryzyka nierakotwórczego (HI=1) i ryzyka rakotwórczego (CR=1\*10<sup>-5</sup>). Przy każdej wartości RBRL zaznaczono,

który efekt (rakovotwórczy – C, rakotwórczy mutagenny – CM czy nierakovotwórczy – N) stanowił podstawę ich wyznaczenia.

Tabela 27. Lokalne, bezpieczne dla zdrowia zawartości ocenianych substancji w glebie (RBRL)

Substancja	RBRL [mg/kg]	
<b>Metale i metaloid</b>		
Arsen	6,10	C
Bar	11000	N
Chrom (III)	37000	N
Chrom (VI)	1,40	CM
Cyna	46000	N
Cynk	23000	N
Kadm	70	N
Kobalt	23	N
Miedź	3000	N
Molibden	380	N
Nikiel	920	N
Ołów	400	USEPA 1994; 1998
Rtęć	17	N
<b>WWA</b>		
Acenaften	3400	N
Antracen	17000	N
Benzo(a)antracen	11	CM
Benzo(a)piren	1,1	CM
Benzo(b)fluoranten	11	CM
Benzo(k)fluoranten	110	CM
Chryzen	1100	CM
Dibenzo(a,h)antracen	1,1	CM
Fluoranten	2300	N
Fluoren	2300	N
Indeno(1,2,3-cd)piren	11	CM
Naftalen	18	C
Piren	1700	N
<b>Inne substancje organiczne</b>		
Fenol	18000	N

Podstawa wyznaczenia RBRL: C – efekt rakotwórczy, CM – efekt rakotwórczy mutagenny, N – efekt nierakovotwórczy

Wyznaczone lokalne, bezpieczne dla zdrowia zawartości ocenianych substancji w glebie (RBRL), (tabela 27) porównano z ich zawartościami oznaczonymi (tabela 3). Z porównania tego wynika, że zawartości wszystkich ocenianych substancji, oprócz benzo(a)pirenu, są wyższe od ich zawartości oznaczonych, czyli warstwa powierzchniowa gleby zarówno sekcji, jak i wybranych gospodarstw jest bezpieczna dla zdrowia mieszkańców. Zawartości w glebie benzo(a)pirenu są tylko nieznacznie wyższe od wyznaczonej wartości RBRL (1,1 mg/kg) w trzech sekcjach (32, 34, 35) i jednym gospodarstwie (K30), co jest zbieżne z wynikami oceny ryzyka rakotwórczego (zob. rozdz. 9.2. i 9.3.).



## 10 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedmiotem niniejszego raportu jest ocena zanieczyszczenia gleb osiedla Łęgnowo-Wieś sąsiadującego z terenem dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM oraz ocena ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców.

Do oceny zanieczyszczenia gleb i analizy ryzyka zdrowotnego wykorzystano wyniki badań gleb przeprowadzonych przez firmę DEKONTA Polska Sp. z o.o. według operatu opróbowania opracowanego przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych. Badania były prowadzone na terenie o powierzchni 31,1 ha, który został podzielony na 20 sekcji badawczych, biorąc pod uwagę położenie chmur zanieczyszczeń wód podziemnych, określonych we wcześniejszych badaniach Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Sekcje badawcze objęły łącznie 164 użytków, w obrębie których znajdowały się budynki mieszkalne. Dodatkowe badanie gleby przeprowadzono w 6 wybranych gospodarstwach (tereny przydomowe) posiadających studnie, z których woda używana była do podlewania upraw. W wybranych punktach wykonano ponadto 9 otworów badawczych, z których pobrano próbki gleb z warstw poniżej 0,25 m p.p.t.

### Ocena zanieczyszczenia gleb

Przedmiotem oceny zanieczyszczenia gleb były substancje, których oznaczone zawartości w glebie były równe lub wyższe od granic oznaczalności, a ich zawartości dopuszczalne zostały określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U.2016.1395). Spośród 80 oznaczanych substancji ocenie podlegały 23 substancje: 11 metali i arsen, 10 WWA i fenol. Ocena zanieczyszczenia gleby przeprowadzono na podstawie przekroczeń dopuszczalnych zawartości tych substancji w warstwie powierzchniowej gleby, określonych dla gleb grupy gruntów I (z zabudową mieszkaniową).

Ocena zanieczyszczenia gleb wykazała, że dopuszczalne zawartości metali i arsenu oraz fenolu nie zostały przekroczone w żadnej próbce. Natomiast dopuszczalne zawartości WWA zostały przekroczone w 17 na 20 sekcji badawczych oraz w 6 wybranych gospodarstwach.

Najwyższe wartości maksymalnego wskaźnika przekroczeń wystąpiły w sekcji 32 ( $IP_{MAX} = 75,1$ ) – odgałęzienie ul. Toruńskiej, sekcji 35 ( $IP_{MAX} = 42,5$ ) i sekcji 34 ( $IP_{MAX} = 33,7$ ). W sekcjach 32 i 35 zostały przekroczone zawartości dopuszczalne w glebie wszystkich 10 poddanych ocenie WWA. Gleby tylko 3 sekcji badawczych (41, 42 i 43) położonych przy ulicy Przytubskiej spełniały kryteria jakościowe dla gleb grupy gruntów I.

Spośród 6 gospodarstw najwyższa wartość maksymalnego wskaźnika przekroczeń wystąpiła w gospodarstwie ze studnią K30 ( $IP_{MAX} = 18,7$ ), a najniższa – w gospodarstwie ze studnią K26 ( $IP_{MAX} = 1,36$ ).

W 16 sekcjach i we wszystkich 6 wybranych gospodarstwach substancją, która osiągnęła maksymalny wskaźnik przekroczeń był benzo(b)fluoranten.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy zawartościami wszystkich porównywanych WWA w glebach zarówno sekcji badawczych, jak i wybranych gospodarstw. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic także pomiędzy zawartościami WWA w glebach 6 wybranych gospodarstw a zawartościami WWA w glebach 6 sekcji

badawczych, w obrębie których te gospodarstwa są położone. Można zatem uważać, że stan zanieczyszczenia WWA gleb sekcji badawczych odzwierciedla stan zanieczyszczenia WWA gleb gospodarstw.

Analiza statystyczna wskazała na brak autokorelacji przestrzennej zawartości 10 WWA w glebie obszaru badań. Stwierdzono, że rozkład przestrzenny zawartości tych WWA nie różni się znacząco od rozkładu losowego. Uzyskane wyniki nie wskazały na powiązanie poziomu zawartości WWA w badanych glebach ze źródłami zanieczyszczania zlokalizowanymi na terenie dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM.

W związku z tym, że w badanych glebach przekroczenia dopuszczalnych zawartości dotyczyły tylko WWA, które należą do substancji powszechnie występujących w środowisku, podjęto próbę określenia źródeł zanieczyszczenia gleb tymi związkami. Brano pod uwagę głównie źródła lokalne, takie jak spalanie paliw w paleniskach domowych. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak korelacji (korelacja niska, nieistotna statystycznie) pomiędzy zawartościami poszczególnych WWA i ilością budynków mieszkalnych ogrzewanych danym rodzajem paliwa (paliwo stałe, gazowe, mieszane). Nie określono czynnika różnicującego poziom zawartości poszczególnych WWA w glebach terenów zabudowy mieszkaniowej.

Analiza rozkładu przestrzennego maksymalnego wskaźnika przekroczeń w sekcjach badawczych wykazała, że sekcje 41, 42 i 43, w których spełnione są kryteria dopuszczalnych zawartości WWA w glebach dla grupy gruntów I, położone są w bliskim sąsiedztwie sekcji 32, cechującej się najwyższą wartością maksymalnego wskaźnika przekroczeń. Przyczyną bardzo znaczącego zanieczyszczenia gleby sekcji 32, ujawnioną na spotkaniu z mieszkańcami osiedla, mogło być nawiezenie popiołu i żużlu z elektrociepłowni podczas prowadzenia robót budowlanych. Natomiast nie została poznana przyczyna występowania bardzo niskich zawartości WWA w glebach sekcji 41, 42 i 43. Można tylko przypuszczać, że tą przyczyną mogło być usunięcie zanieczyszczonej powierzchniowej warstwy gleby i nawiezenie gleby niezanieczyszczonej.

Wyniki przeprowadzonych analiz nie wykluczają spalania paliw jako przyczyny zanieczyszczenia gleb WWA. W celu potwierdzenia lub wykluczenia tej hipotezy należałoby zbadać inne czynniki mogące wpływać na zanieczyszczenie gleb tymi związkami, takie, jak: wielkość emisji pyłów z kominów budynków ogrzewanych paliwami stałymi, w tym zawartość WWA w tych pyłach, jakość stosowanych kotłów grzewczych czy transport samochodowy.

### **Ocena ryzyka zdrowotnego**

Przedmiotem oceny ryzyka zdrowotnego były te substancje, których zawartości oznaczone w glebie warstwy powierzchniowej (0-0,25 m. p.p.t.) były równe lub wyższe od granicy oznaczalności, tzn. metale i arsen, 16 WWA, fenol i 3,5-dichlorofenol.

Analizowano cztery szlaki narażenia mieszkańców na zanieczyszczenia zawarte lub uwalniające się z gleby: przypadkowe spożycie, kontakt dermalny, wdychanie cząstek gleby i wdychanie par substancji lotnych. Ocena ryzyka zdrowotnego występującego na przedmiotowym terenie przeprowadzono oddzielnie dla każdej sekcji badawczej i każdego wybranego gospodarstwa.

Zgodnie z metodą USEPA ryzyko zdrowotne charakteryzowano oddzielnie dla substancji nierakotwórczych i rakotwórczych, z uwzględnieniem dwóch rodzajów receptorów - dzieci i osób dorosłych.

Ocena ryzyka nierakotwórczego polegała na porównaniu indeksu zagrożenia (HI) z wartością dopuszczalną  $HI=1$ . Wykazano, że we wszystkich sekcjach badawczych i wybranych gospodarstwach całkowity indeks zagrożenia jest niższy od poziomu dopuszczalnego zarówno dla dziecka, jak i osoby dorosłej.

W ocenie ryzyka rakotwórczego, jako wartość dopuszczalną w odniesieniu do pojedynczej substancji zastosowano wartość  $1 \cdot 10^{-5}$  zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi. Jako dopuszczalne całkowite ryzyko rakotwórcze na badanym terenie zastosowano wartość  $1 \cdot 10^{-4}$ , która oznacza 1 dodatkowy przypadek zachorowania na nowotwór w populacji 10 tys. ludzi narażonych.

Całkowite ryzyko rakotwórcze w sekcjach wynosiło od  $2,8 \cdot 10^{-7}$  do  $7,2 \cdot 10^{-5}$  i w żadnej z sekcji nie przekraczało dopuszczalnego poziomu równego  $1 \cdot 10^{-4}$ . Biorąc pod uwagę pojedyncze substancje, ryzyko rakotwórcze tylko nieznacznie wyższe od  $1 \cdot 10^{-5}$  występowało w trzech sekcjach (32, 34 i 35) i odnosiło się do benzo(a)pirenu.

Całkowite ryzyko rakotwórcze w gospodarstwach wynosiło od  $1,2 \cdot 10^{-6}$  do  $3,4 \cdot 10^{-5}$  i w żadnym z gospodarstw nie przekraczało poziomu dopuszczalnego równego  $1 \cdot 10^{-4}$ . Biorąc pod uwagę pojedyncze substancje, ryzyko rakotwórcze tylko nieznacznie wyższe od  $1 \cdot 10^{-5}$  występowało w jednym gospodarstwie (K30) i odnosiło się do benzo(a)pirenu.

Wyznaczone lokalne, bezpieczne dla zdrowia zawartości w glebie (RBRL) ocenianych substancji porównano z zawartościami oznaczonymi. Z porównania tego wynika, że zawartości wszystkich ocenianych substancji, oprócz benzo(a)pirenu, są wyższe od ich zawartości oznaczonych. Zawartości w glebie benzo(a)pirenu są tylko nieznacznie wyższe od wyznaczonej wartości RBRL (1,1 mg/kg) w trzech sekcjach (32, 34, 35) i jednym gospodarstwie (K30), co jest zbieżne z wynikami oceny ryzyka rakotwórczego. Można zatem uznać, że warstwa powierzchniowa gleby zarówno sekcji, jak i wybranych gospodarstw jest bezpieczna dla zdrowia mieszkańców.

Należy jednak podkreślić, że ocena ryzyka zdrowotnego dotyczyła tylko użytków gruntowych z zabudową mieszkaniową i nie obejmowała wszystkich możliwych warunków narażenia, na przykład związanych ze spożyciem roślin uprawianych na zanieczyszczonej glebie. Identyfikacja wszystkich możliwych szlaków narażenia powinna być przedmiotem dalszych badań.

Na podstawie przeprowadzonej oceny zanieczyszczenia gleb i oceny ryzyka zdrowotnego można sformułować następujące **wnioski** :

- nie stwierdzono zanieczyszczenia badanych gleb osiedla Łęgnowo-Wieś substancjami najbardziej specyficznymi dla działalności dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM, a jedynie wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), powszechnie występującymi w środowisku;
- powierzchniowa warstwa gleby 17 na 20 sekcji badawczych i wszystkich 6 wybranych gospodarstw jest zanieczyszczona WWA;

- pochodzenie oznaczonych w glebie WWA nie może być wiązane z prowadzoną w przeszłości działalnością produkcyjną zakładów Chemicznych ZACHEM;
- całkowite ryzyko nierakotwórcze (indeks zagrożenia - HI) we wszystkich sekcjach badawczych i wybranych gospodarstwach domowych jest znacznie niższe niż poziom dopuszczalny równy 1;
- dopuszczalny poziom ryzyka rakotwórczego w odniesieniu do pojedynczej substancji ( $1 \cdot 10^{-5}$ ) został nieznacznie przekroczony w przypadku benzo(a)pirenu i dotyczył trzech sekcji badawczych i jednego gospodarstwa;
- całkowite ryzyko rakotwórcze (CR) we wszystkich badanych sekcjach i wybranych gospodarstwach domowych jest niższe niż poziom dopuszczalny równy  $1 \cdot 10^{-4}$ ; z tego względu nie jest wymagane podjęcie działań naprawczych;
- występują znaczące różnice pomiędzy wynikami oceny zanieczyszczenia i oceny ryzyka zdrowotnego; jako przyczynę tych różnic można wskazać:
  - ✓ zastosowanie różnych kryteriów wyznaczania dopuszczalnych zawartości w glebie substancji wymienionych w rozporządzeniu MŚ z dnia 1 września 2016 [Dz.U.2916.1395] i lokalnych, bezpiecznych dla zdrowia zawartości substancji, przy czym w pierwszym przypadku kryteria te w ogóle nie zostały jasno określone, a na przykładzie WWA można wykazać, że nie zostały one wyznaczone na podstawie kryteriów zdrowotnych;
  - ✓ zapisy prawne wskazujące metodę oceny ryzyka zdrowotnego jako obowiązującą do wyznaczania dopuszczalnych zawartości substancji innych niż określone w rozporządzeniu MŚ z dnia 1 września 2016 [Dz.U.2916.1395], przy jednoczesnym niezastosowaniu tej metody do substancji wyszczególnionych w tym akcie prawnym.

Wobec powyższego **proponuje się ujednolicić krajowe podejście do oceny zanieczyszczenia gleb substancjami chemicznymi i stosować metodę oceny ryzyka zdrowotnego zarówno do wyznaczania dopuszczalnych zawartości w glebie wszystkich ocenianych substancji, jak i określania znaczących zagrożeń dla zdrowia spowodowanych tymi substancjami.**

## 11 BIBLIOGRAFIA

- Carlson C. (ed.) 2007. Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization, EUR 22805-EN. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italy
- IRIS 2019. Integrated Risk Information System. IRIS Assessments List A to Z [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris\\_drafts/atoz.cfm?list\\_type=alpha](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/atoz.cfm?list_type=alpha)
- USEPA 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final. EPA/540/1-89/002. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1991a. Risk Assessment Guidance for superfund, Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part B. Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals. Interim. EPA/540R-92/003. Publication 9285.7-01B. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1991b. Role of the Baseline Risk assessment in Superfund Remedy Selection Decisions. OSWER Directive 9355.0-30. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1994. Memorandum: OSWER Directive: Revised Interim Soil Lead Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities. EPA OSWER Directive 9355.4-12. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1996a. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. EPA/540/R-95/128. Publication 9355.4-17A. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1996b. Soil Screening Guidance: User's Guide. EPA/540/R-96/018. Publication 9355.4-23. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 1998. Memorandum: OSWER Directive: Clarification to the 1994 Revised Interim soil Lead (Pb) Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities. EPA/540/F-98/030. OSWER Directive #9200.4-27P. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA
- USEPA 2000. Superfund Supplemental Guidance to RAGS: Region 4 Bulletins, Human Health Risk Assessment Bulletins (USEPA Region 4, originally published November 1995)
- USEPA 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part D. Standardized Planning, Reporting, and Review of Superfund Risk Assessment. Final. Publication 9285.7-47. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA 2002. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites. OSWER 9355.4-24. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA
- USEPA 2004. Risk assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation Manual. Part E. Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment. Final. EPA/540/R/99/005. OSWER 9285.7-02EP. PB 99-963312 vol. I. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, DC, USA
- USEPA 2005. Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens. EPA/630/R-03/003F. Risk Assessment Forum, Washington, DC, USA
- USEPA 2014. Regional Screening Level (RSL) - User's Guide; <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>
- USEPA 2016. Assessing Dermal Exposure from Soil. Region 3 Technical Guidance Manual, Risk assessment; <https://www.epa.gov/risk/assessing-dermal-exposure-soil>

USEPA 2019. Regional Screening Level (RSL) – Generic Tables. May 2019; <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>

Wcisło E., Gzyl J., Krupanek J. 2003: NORISC - Network Oriented Risk-assessment by In-situ Screening of Contaminated sites. Report on critical view on human health risk assessment procedures used in Europe and the US. Deliverable 19. IETU, Katowice (*praca niepublikowana*)

Wcisło E. 2009. Ocena ryzyka zdrowotnego w procesie remediacji terenów zdegradowanych chemicznie – procedury i znaczenie. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok

## Wykorzystane opracowania

AGH 2016. Kompleksowa ocena stanu zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy wraz z określeniem wykazu działań koniecznych dla skutecznej remediacji. M. Czop, D. Pietrucin. AGH Kraków, czerwiec 2016.

AGH 2018. Syntetyczny raport z realizacji projektu naukowo-badawczego Woda+: „Ocena skali zanieczyszczenia wód powierzchniowych i płytkich wód podziemnych w rejonie miejscowości Łęgnowo i Płatnowo, w strefie niekorzystnego oddziaływania dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy”. M. Czop, E. Kret, D. Pierri, W. Knap. AGH Kraków, styczeń 2018.

ARCADIS 2018a. Raport z prac inwentaryzacyjnych studni indywidualnych i piezometrów zlokalizowanych na terenie osiedla Łęgnowo oraz na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy, opróbowania wód podziemnych i wyników badań wykonanych w celu oceny warunków środowiskowych - w ramach działań pilotażowych projektu GreenerSites CE394 polegającego na badaniu wpływu zanieczyszczeń gruntu i wód gruntowych dawnych Zakładów Chemicznych „ZACHEM” na tereny sąsiadujące. J. Kudłacik, R. Śliwka, I. Wyszowska, A. Otrębski, M. Urbaniak, J. Michalak. Arcadis Sp. z o.o., Warszawa, listopad 2018.

ARCADIS 2018b. Dokumentacja geologiczna z wykonania 15 otworów obserwacyjnych (piezometrów) w celu założenia monitoringu środowiska gruntowo – wodnego w ramach działań pilotażowych projektu GreenerSites CE394 polegającego na badaniu wpływu zanieczyszczeń gruntu i wód podziemnych dawnych Zakładów Chemicznych „ZACHEM” na tereny sąsiadujące. J. Kudłacik, R. Śliwka, I. Wyszowska, A. Otrębski, M. Urbaniak, J. Michalak. Arcadis Sp. z o.o., Warszawa, grudzień 2018.

DEKONTA 2019. Raport z przeprowadzonych badań gleby i gruntu na terenie osiedla Łęgnowo - Wieś w ramach realizacji działania pilotażowego projektu GreenerSites Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe CE394. M. Dziakiewicz, DEKONTA Polska Sp. z o.o., Kielce, czerwiec 2019.

IETU 2019. Raport „Opracowanie operatu opróbowania na terenie Łęgnowa Wsi w Bydgoszczy w celu zebrania danych wyjściowych do analizy ryzyka, w ramach realizacji działania pilotażowego projektu GreenerSites Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe CE394”. E. Wcisło, J. Bronder. IETU, Katowice, kwiecień 2019.

## STRESZCZENIE

W ramach projektu GreenerSites (Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe) project, no CE394 wykonano ocenę zanieczyszczenia gleb osiedla Łęgnowo-Wieś sąsiadującego z terenem dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM oraz ocenę ryzyka zdrowotnego dla jego mieszkańców. Przedmiotem oceny były gleby 20 sekcji badawczych obejmujących użytki z zabudową mieszkaniową, a także gleby 6 wybranych gospodarstw (tereny przydomowe), posiadających studnie, z których woda używana była do podlewania upraw.

Ocenę zanieczyszczenia gleb przeprowadzono na podstawie przekroczeń dopuszczalnych zawartości substancji w glebie grupy gruntów I (z zabudową mieszkaniową), określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [Dz.U.2016.1395]. Nie stwierdzono zanieczyszczenia badanych gleb osiedla Łęgnowo-Wieś substancjami najbardziej specyficznymi dla działalności dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM, a jedynie wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), powszechnie występującymi w środowisku. Wykazano, że gleby 17 na 20 sekcji badawczych i wszystkich 6 wybranych gospodarstw są zanieczyszczone tymi substancjami.

Do oceny ryzyka zdrowotnego została zaadaptowana metoda opracowana przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA). Ryzyko zdrowotne było charakteryzowane oddzielnie dla substancji rakotwórczych i nierakotwórczych. Analiza ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś wykazała, że we wszystkich sekcjach badawczych i wybranych gospodarstwach ryzyko nierakotwórcze (indeks zagrożenia – HI) jest niższe niż poziom dopuszczalny równy 1, a ryzyko rakotwórcze jest niższe niż poziom dopuszczalny równy  $1 \cdot 10^{-4}$ . Z tego względu nie jest wymagane podjęcie działań naprawczych.

Pochodzenie oznaczonych w glebie WWA nie może być związane z prowadzoną w przeszłości działalnością produkcyjną Zakładów Chemicznych ZACHEM.

## SUMMARY

Within the GreenerSites project (Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe) no CE394, soil contamination assessment, as well as health risk assessment of the inhabitants were conducted in Łęgnowo-Wieś, a settlement neighbouring the former ZACHEM Chemical Plant. The assessments focused on the soil of residential area, which was divided into 20 sampling sections and on 6 selected farmhouse backyards with wells from which water was used for watering crops.

Soil contamination was assessed based on exceeding the limit values for residential soils defined by the Regulation of the Minister of the Environment on the method of conducting the assessment of land surface contamination (Journal of Laws 2016, item 1395). Findings of the assessment show that the soil of Łęgnowo-Wieś is not contaminated by the most specific substances for the production profile of the former ZACHEM Chemical Plant, but by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are common environmental contaminants. 17 out of the 20 soil sampling sections and all the selected farmhouse backyards are contaminated with these substances.

To assess health risk, the method developed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) was adapted. The risks were characterized separately for non-carcinogenic and carcinogenic substances. The health risk assessment findings show that in all sampling sections and selected farmhouse backyards the total non-cancer risks (hazard index - HI) are lower than the acceptable level of 1 and the total cancer risks are lower than the acceptable level of  $1 \cdot 10^{-4}$ . Therefore, it is not necessary to undertake corrective actions.

Origins of PAHs in the tested soils is considered unrelated to the past production activity of the ZACHEM Chemical Plant.



## OPIS W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM

W ramach projektu GreenerSites (Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe) project, no CE394 wykonano ocenę zanieczyszczenia gleb osiedla Łęgnowo-Wieś sąsiadującego z terenem dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM oraz ocenę ryzyka zdrowotnego dla jego mieszkańców.

W ocenach tych wykorzystano wyniki badań gleb przeprowadzonych przez firmę DEKONTA Polska Sp. z o.o. według operatu opróbowania opracowanego przez Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych. Badania były prowadzone na terenie o powierzchni 31,1 ha, który został podzielony na 20 sekcji badawczych, biorąc pod uwagę położenie chmur zanieczyszczeń wód podziemnych, określonych we wcześniejszych badaniach Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Sekcje badawcze objęły użytki, w obrębie których znajdowały się budynki mieszkalne. Dodatkowe badanie gleby przeprowadzono w 6 wybranych gospodarstwach (tereny przydomowe) posiadających studnie, z których woda używana była do podlewania upraw. W wybranych punktach wykonano ponadto 9 otworów badawczych, z których pobrano próbki gleb z warstw poniżej 0,25 m p.p.t.

W pobranych próbkach gleby oznaczano łącznie 80 substancji chemicznych, specyficznych dla działalności produkcyjnej dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM, do których należą m. in. anilina, chloroanilina, dinitrotoluen, fenol, toluidyna, epichlorohydryna, toluenodiamina, nitrobenzen i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), w tym benzo(a)piren.

Ocenę zanieczyszczenia gleb przeprowadzono na podstawie przekroczeń dopuszczalnych zawartości substancji w glebie grupy gruntów I (z zabudową mieszkaniową), określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [Dz.U.2016.1395]. Nie stwierdzono zanieczyszczenia badanych gleb osiedla Łęgnowo-Wieś substancjami najbardziej specyficznymi dla działalności dawnych Zakładów Chemicznych ZACHEM, a jedynie wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), które powszechnie występują w środowisku. Wykazano, że powierzchniowa warstwa gleby 17 na 20 sekcji badawczych i wszystkich 6 wybranych gospodarstw jest zanieczyszczona tymi substancjami.

Uzyskane wyniki wskazały, że pochodzenie oznaczonych w glebie WWA nie może być związane z prowadzoną w przeszłości działalnością produkcyjną Zakładów Chemicznych ZACHEM.

Do oceny ryzyka zdrowotnego została zaadaptowana metoda opracowana przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA). Zgodnie z tą metodą ryzyko zdrowotne charakteryzowano oddzielnie dla substancji nierakotwórczych i rakotwórczych.

Analizowano cztery szlaki narażenia mieszkańców (dzieci i osób dorosłych) na zanieczyszczenia zawarte lub uwalniające się z gleby:

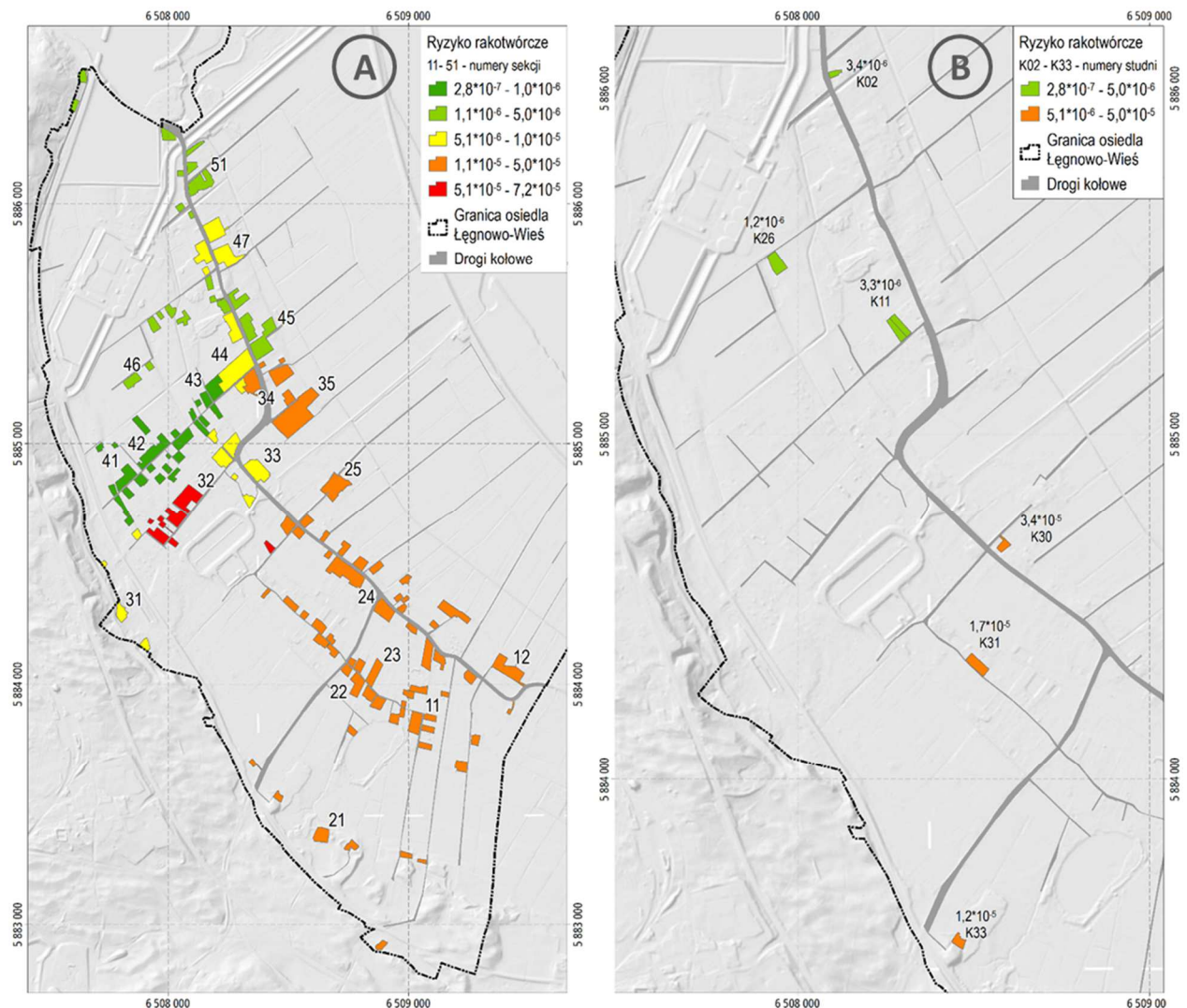
- przypadkowe spożycie,
- kontakt dermalny (przez skórę),
- wdychanie cząstek gleby,
- wdychanie par substancji lotnych.

Ocena ryzyka zdrowotnego dotyczyła tylko użytków gruntowych z zabudową mieszkaniową i nie obejmowała wszystkich możliwych warunków narażenia, na przykład wynikających ze spożycia roślin jadalnych uprawianych na terenie osiedla. Ocenę tę przeprowadzono oddzielnie dla każdej sekcji badawczej i każdego wybranego gospodarstwa.

Analiza ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców osiedla Łęgnowo-Wieś wykazała, że we wszystkich sekcjach badawczych i wybranych gospodarstwach całkowite ryzyko nierakotwórcze (indeks zagrożenia – HI) jest znacznie niższe niż poziom dopuszczalny równy 1.

Dopuszczalny poziom ryzyka rakotwórczego w odniesieniu do pojedynczej substancji ( $1 \cdot 10^{-5}$  – jeden dodatkowy przypadek zachorowania na nowotwór w populacji 100 tys. ludzi narażonych) został tylko nieznacznie przekroczony w przypadku benzo(a)pirenu i dotyczył trzech sekcji badawczych i jednego gospodarstwa.

Całkowite ryzyko rakotwórcze (CR) we wszystkich badanych sekcjach i wybranych gospodarstwach domowych jest niższe niż poziom dopuszczalny równy  $1 \cdot 10^{-4}$  (zob. rysunek 1). Z tego względu nie jest wymagane podjęcie działań naprawczych.



Rysunek 1. Całkowite ryzyko rakotwórcze wynikające z narażenia mieszkańców na substancje oznaczone w glebach sekcji badawczych (A) i glebach 6 gospodarstw (B) położonych na terenie osiedla Łęgnowo-Wieś

## NON-TECHNICAL DESCRIPTION SUMMARY

Within the GreenerSites project (Environmental Rehabilitation of Brownfield Sites in Central Europe) no CE394, soil contamination assessment, as well as health risk assessment of the inhabitants were conducted in Łęgnowo-Wieś, a settlement neighbouring the former ZACHEM Chemical Plant. The assessments focused on the surface soil of residential area, which was divided into 20 sampling sections and on 6 selected farmhouse backyards with wells from which water was used for watering crops. Moreover, 9 bore-holes were drilled in the selected points in order to assess contamination of deeper soil layers (below 0.25 m b.g.l.).

Soil contamination was assessed based on exceeding the limit values for residential soils defined by the Regulation of the Minister of the Environment on the method of conducting the assessment of land surface contamination (Journal of Laws 2016, item 1395). Findings of the assessment show that the soil surface layer of Łęgnowo-Wieś is not contaminated by the most specific substances for the production profile of the former ZACHEM Chemical Plant, but by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are common environmental contaminants. 17 out of the 20 soil sampling sections and all the selected farmhouse backyards are contaminated with these substances.

The origin of PAHs in the tested soils is considered unrelated to the past production activity of the ZACHEM Chemical Plant.

To assess health risk, the method developed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) was adapted. The risks were characterized separately for non-carcinogenic and carcinogenic substances.

In reference to inhabitants (children and adults), four exposure pathways were assessed:

- incidental soil and dust ingestion,
- dermal contact with soil,
- inhalation of fugitive soil particles, and
- inhalation of volatiles.

Health risk assessment related only to residential land use and did not include all possible exposure conditions, for example those resulted from the consumption of edible plants cultivated within Łęgnowo-Wieś area. Health risks were assessed separately for each sampling section and each selected farmhouse backyard.

The health risk assessment findings showed that in all sampling sections and selected farmhouse backyards the total non-cancer risks (hazard index - HI) were significantly lower than the acceptable level of 1. The acceptable cancer risk level for the single carcinogen of  $1 \cdot 10^{-5}$  was only insignificantly exceeded in case of benzo(a)pyrene in three sections and one farmhouse backyard. However, the total cancer risks were lower than the acceptable level of  $1 \cdot 10^{-4}$  in all sampling sections and all farmhouse backyards. Therefore, it is not necessary to undertake corrective actions.

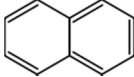
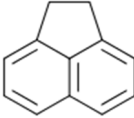
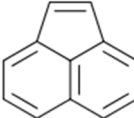
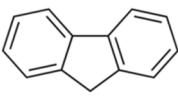
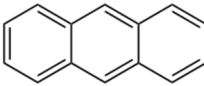
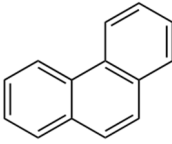
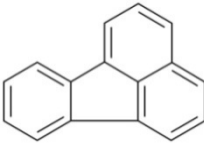
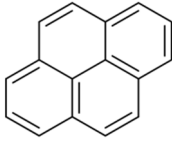
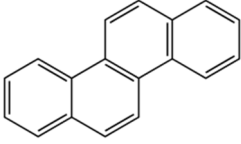
Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych

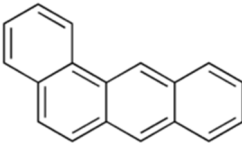
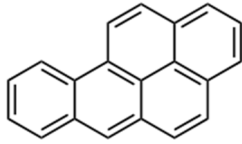
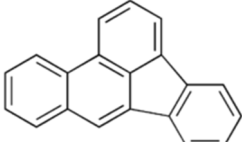
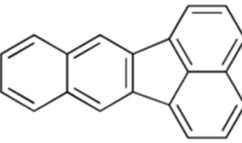
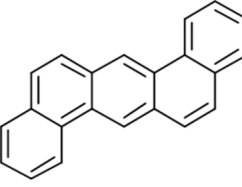
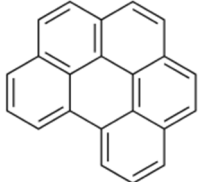
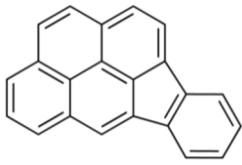
Załącznik nr 1  
Wielopierścieniowe  
węglowodory aromatyczne  
(WWA)

## WSTĘP

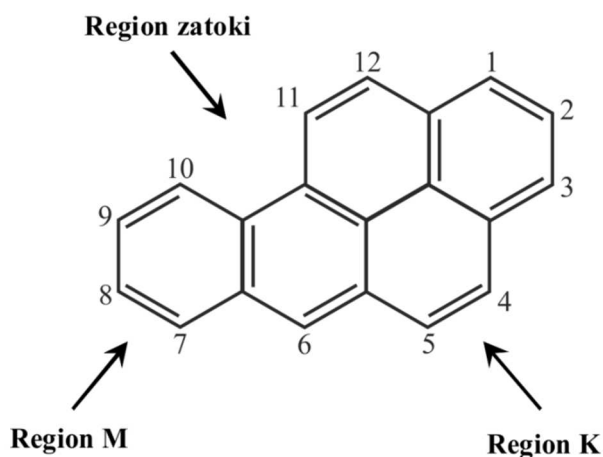
**Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne** są grupą związków o potwierdzonych właściwościach cytotoksycznych, mutagennych i rakotwórczych. W środowisku WWA nie występują w postaci pojedynczych związków – zawsze tworzą wieloskładnikowe mieszaniny. Skład ilościowy i jakościowy tych mieszanin zależy od rodzaju materiału spalanego oraz warunków, w jakich zachodzi proces spalania. Obecnie znanych jest ponad 100 związków z grupy WWA należących do 5 grup chemicznych – pochodnych antracenu, fenantrenu, chryzenu, pirenu oraz cholantrenu. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne zalecane do oznaczania w poszczególnych elementach środowiska przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (USEPA, ang. *United States Environmental Protection Agency*) zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane związki z grupy WWA według US EPA [Lerda 2011]

Nazwa związku	Wzór sumaryczny	Wzór strukturalny	Numer CAS
Naftalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>		91-20-3
Acenaften	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>		83-32-9
Acenaftylen	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>		208-96-8
Fluoren	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>		86-73-7
Antracen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		120-12-7
Fenantren	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		85-01-8
Fluoranten	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>		206-44-0
Piren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>		129-00-0
Chryzen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>		218-01-9

Nazwa związku	Wzór sumaryczny	Wzór strukturalny	Numer CAS
Benzo(a)antracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>		56-55-3
Benzo(a)piren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		50-32-8
Benzo(b)fluoranten	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		205-99-2
Benzo(k)fluoranten	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		207-08-9
Dibenzo(a,h)antracen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>		53-70-3
Benzo(g,h,i)perylene	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		191-24-2
Indeno(1,2,3-cd)piren	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		193-39-5

Ze względu na budowę wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne można podzielić na dwie kategorie. Do pierwszej z nich zaliczane są związki o niskiej masie molekularnej, czyli posiadające mniej niż cztery pierścienie aromatyczne. Natomiast, związki składające się z czterech lub więcej pierścieni zaliczane są do grupy węglodorów o wysokiej masie molekularnej. Przeprowadzone badania wykazały, iż wraz ze wzrostem masy molekularnej wzrasta rakotwórczość WWA, a maleje toksyczność ostra [Kim i inni, 2013]. Na aktywność biologiczną tych związków wpływa również wzajemne ułożenie pierścieni benzenowych w cząsteczce. W cząsteczkach niektórych WWA występują specyficzne obszary, tzw. region K (zewnętrzna krawędź pierścienia fenantrenu) oraz region M (przeciwstawne atomy struktury antracenu). Ważne jest także położenie regionu, zwanego regionem zatoki (ang. *bay-region*) o zwiększonej gęstości elektronowej, który przyczynia się do wzrostu reaktywności chemicznej i biologicznej [Verma i in. 2012]. Schemat budowy benzo(a)pirenu wraz z zaznaczonymi regionami przedstawia Rys. 1.



Rys. 1. Wzór strukturalny benzo(a)pirenu wraz z zaznaczonymi regionami [Verma i in. 2012]

## ŹRÓDŁA I WYSTĘPOWANIE WWA W ŚRODOWISKU

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) powstają w procesach pirolizy i niecałkowitego spalania materii organicznej, pochodzenia zarówno naturalnego, jak i antropogenicznego. Udział naturalnych źródeł (np. pożarów lasów i łąk, erupcji wulkanów, itd.) w emisji WWA do środowiska jest niewielki. Natomiast, głównymi źródłami tych substancji są procesy przemysłowe związane ze spalaniem ropy naftowej i węgla, a także spalanie w sektorze komunalnym oraz spaliny z różnego typu silników, zwłaszcza typu diesel [Klimaszewska 1999].

WWA występują w takich elementach środowiska jak powietrze, woda, gleba, osady dennie oraz żywności [IARC, 2010]. Większość WWA kumuluje się w glebie (ok. 89,9%), 0,3% zawarta jest w wodach powierzchniowych, 9,3% gromadzi się w osadach dennych, a 0,5% pozostaje w powietrzu atmosferycznym. Powszechność występowania tych związków wynika z ich powstawania prawie we wszystkich typach spalania materii organicznej. Procesy jakim podlegają WWA w atmosferze to przemiany fizyko-chemiczne, reakcje z innymi zanieczyszczeniami, zmiany fotochemiczne pod wpływem promieniowania UV, a także transport na dalekie odległości oraz sucha i mokra depozycja. W powietrzu WWA występują w fazie gazowej lub są adsorbowane na pyłach w zależności od ich właściwości i pochodzenia, a także warunków atmosferycznych, takich jak np. temperatura czy wilgotność. Zwykle związki o niskiej masie molekularnej (z dwoma, trzema lub czterema pierścieniami) występują w postaci gazowej. Natomiast, WWA z czterema lub więcej pierścieniami aromatycznymi zwykle znajdują się w aerozolu pyłowym, a ich osadzanie się na cząsteczkach stałych jest zależne od materiału nośnika, jakim może być sadza, kurz, popiół lotny, pirogeniczne tlenki metali, pyłki roślin, itp. [Zhang i Tao 2009; Kameda 2011; Kim i in. 2013].

WWA unoszone w powietrzu atmosferycznym opadają na znacznych przestrzeniach zanieczyszczając środowisko wodne i glebę na drodze suchej oraz mokrej depozycji. Obecność WWA w wodach jest również wynikiem zanieczyszczenia zbiorników wodnych ściekami przemysłowymi. W wodzie pitnej, WWA mogą być wymywane z bitumicznych, antykorozyjnych powłok ochronnych, stosowanych w przewodach wodociągowych. Z uwagi na słabą rozpuszczalność w wodzie, WWA tylko częściowo występują w postaci rozpuszczonej.

Natomiast, większość tych związków zaadsorbowane jest na cząsteczkach, tworzących zawiesiny i roztwory koloidalne, co przyczynia się do ich gromadzenia w mułach i osadach. Stopień akumulacji WWA w osadach zależy przede wszystkim od ich właściwości fizyko-chemicznych, takich jak wielkość ziaren i zawartość materii organicznej [Srogi 2007].

Gleba jest elementem środowiska naturalnego gromadzącym większość hydrofobowych zanieczyszczeń organicznych, do których również należą WWA. Z tego względu jest uważana za wskaźnik stanu zanieczyszczenia środowiska. WWA mogą dostawać się do gleb wraz z zanieczyszczeniami atmosferycznymi, osadami ściekowymi stosowanymi w rolnictwie i spływem z dróg asfaltowych oraz uwalnianiem z mas bitumicznych [Mueller i Shann 2006]. Obecność WWA w glebie jest również wynikiem przemian zachodzących w trakcie kompostowania materiału roślinnego i zwierzęcego. W środowisku glebowym mogą ulegać różnorodnym procesom tj.: sorpcji, ulatnianiu, wymywaniu, fotolizie, biodegradacji czy też pobieraniu przez rośliny, a ich szybkość i zakres zależą od czynników środowiskowych i mikrobiologicznych [Dąbrowska i in. 2002].

Zanieczyszczenie roślin przez WWA wynika przede wszystkim z osadzania się tych związków na ich powierzchni, która jest pokryta woskami lub kutyną, bądź pobieraniem WWA występujących w powietrzu w postaci gazowej przez aparaty szparkowe. Związki te mogą również być absorbowane z gleby przez systemy korzeniowe roślin i przemieszczane do części nadziemnych. WWA obecne w roślinach lub na ich powierzchniach mogą stanowić dodatkową drogę narażenia ludzi [Srogi 2007].

Żywność wydaje się być głównym źródłem narażenia środowiskowego ludzi na WWA. Największe ilości WWA występujące w żywności pochodzą z procesów przechowywania, konserwacji i przygotowywania posiłków. Związki te wykrywane są w grillowanych, smażonych lub wędzonych pokarmach, mące, pieczywie i warzywach. Procesami, które w istotny sposób zwiększają zawartość WWA w żywności to ich obróbka termiczna (smażenie, pieczenie, grillowanie, wędzenie). Natomiast, na zawartość węglowodorów w zbożach i warzywach głównie wpływają metody ich suszenia. WWA ze względu na swoje właściwości lipofilne, mogą kumulować się w tkance tłuszczowej zwierząt, w tym ryb i owoców morza, a także mleku. [Srogi 2007; IARC 2010].

## PROFIL TOKSYKOLOGICZNY WWA

W oparciu o wyniki badań epidemiologicznych, doświadczeń na zwierzętach oraz testów *in vitro* Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC, ang. *International Agency for Research on Cancer*) wyróżniła cztery grupy substancji:

- Grupa 1 - substancje rakotwórcze dla człowieka;
- Grupa 2A - substancje prawdopodobnie rakotwórcze dla człowieka;
- Grupa 2B - substancje możliwie rakotwórcze dla człowieka;
- Grupa 3 - substancje niemożliwe do zaklasyfikowania, jako rakotwórcze dla człowieka;
- Grupa 4 - substancje prawdopodobnie nierakotwórcze dla człowieka.

Według IARC do WWA rakotwórczych dla człowieka (grupa 1) zaliczony został benzo(a)piren oraz różne czynniki środowiskowe, w których jest on obecny. Inne związki z grupy WWA zakwalifikowano jako prawdopodobnie (grupa 2A) lub możliwie rakotwórcze dla człowieka (grupa 2B), a część z nich zaliczono do grupy 3 [IARC 2019].



Najlepiej poznanym przedstawicielem grupy WWA jest benzo(a)piren. Liczne badania na zwierzętach potwierdziły jego właściwości rakotwórcze [Diggs i in. 2012]. W badaniach populacyjnych z zakresu narażenia na mieszaniny zawierające B[a]P udowodniono związek pomiędzy narażeniem, a występowaniem nowotworów [IARC 2010; 2012]. Klasyfikację wybranych węglowodorów według IARC oraz względne współczynniki mutagenności (MEF) i rakotwórczości (TEF) przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Klasyfikacja wybranych węglowodorów według IARC oraz względne współczynniki mutagenności (MEF) i rakotwórczości (TEF)

Związek z grupy WWA	Symbol	Klasyfikacja według IARC*	Względny współczynnik mutagenności (MEF)**	Względny współczynnik rakotwórczości (TEF)***
Naftalen	NP	grupa 2B	-	0,001
Acenaften	ACE	grupa 3	-	0,001
Acenaftylen	ACY	-	-	0,001
Fluoren	FL	grupa 3	-	0,001
Fenantren	PHE	grupa 3	-	0,001
Antracen	ANT	grupa 3	-	0,01
Fluoranten	FLA	grupa 3	-	0,001
Piren	PYR	grupa 3	-	0,001
Benz(a)antracen	BaA	grupa 2B	0,082	0,1
Chryzen	CHR	grupa 2B	0,017	0,01
Benzo(b)fluoranten	B(b)F	grupa 2B	0,25	0,1
Benzo(k)fluoranten	B(k)F	grupa 2B	0,11	0,1
Benzo(a)piren	B(a)P	grupa 1	1,0	1,0
Benzo(g,h,i)perylene	B(ghi)P	grupa 3	0,19	0,01
Dibenzo(a,h)antracen	D(ah)A	grupa 2A	0,29	1,0
Indeno(1,2,3-c,d)piren	I(cd)P	grupa 2B	0,31	0,1

\* - IARC [2019]

\*\* - MEF na podstawie Durant i inni [1996]

\*\*\* - TEF na podstawie Nisbet i LaGoy [1992]

## BIBLIOGRAFIA

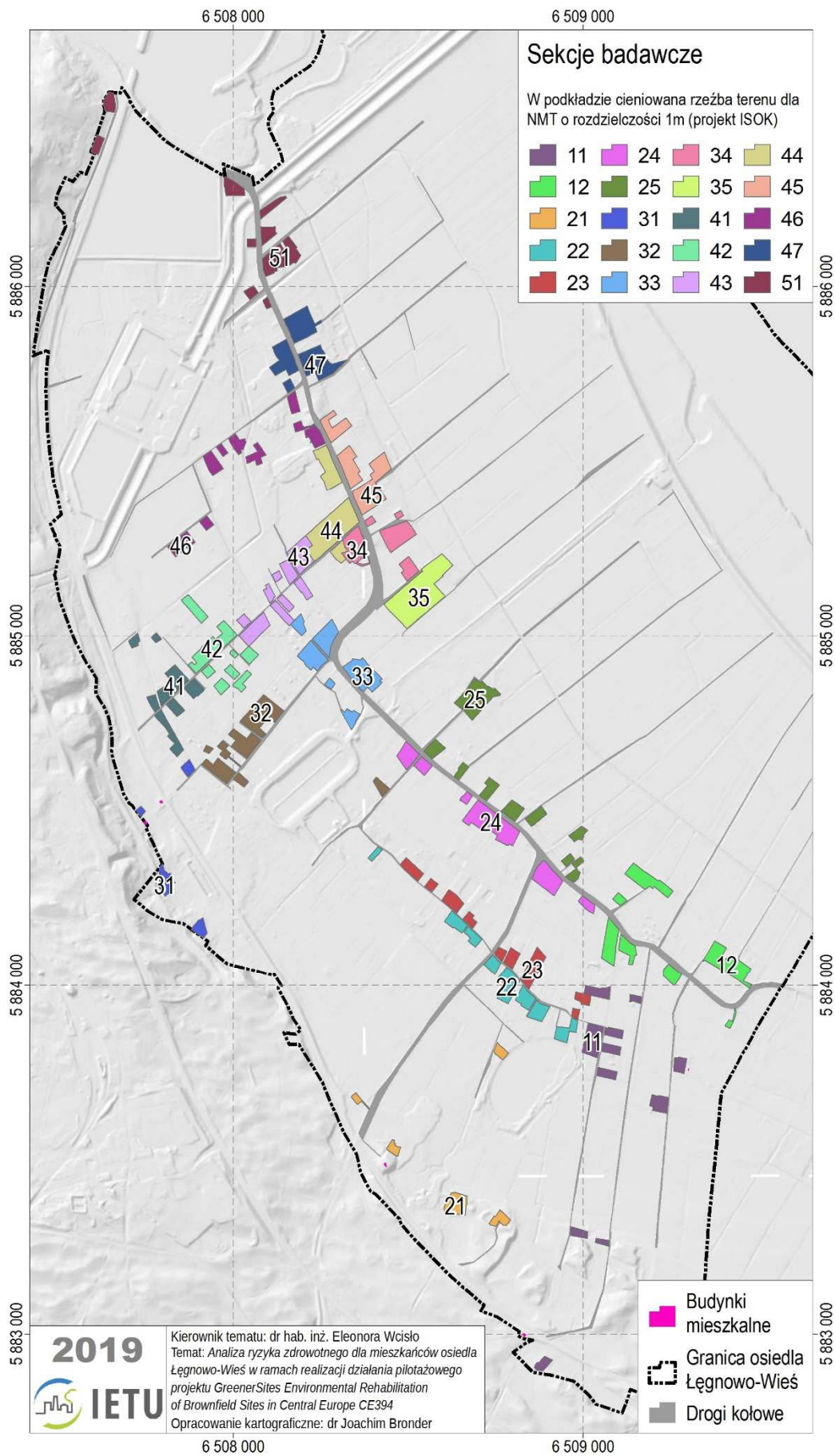
- Dąbrowska D, Kot-Wasik A, Namieśnik J (2002) Degradacja związków organicznych w środowisku. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 9(10): 1077-1096.
- Diggs DL, Harris KL, Rekhadevi PV, Ramesh A (2012) Tumor microsomal metabolism of the food toxicant, benzo[a]pyrene, in ApcMin mouse model of colon cancer. *Tumor Biology* 33(4): 1255–1260.
- Durant JL, Busby WF Jr, Lafleur AL, Penman BW, Crespi CL (1996) Human cell mutagenicity of oxygenated, nitrated and unsubstituted polycyclic aromatic hydrocarbons associated with urban aerosols. *Mutation Research* 371(3-4):123-57.
- IARC (2010) Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 92: 1-853.
- IARC (2012) A Review of Human Carcinogens: Chemical Agents and Related Occupations. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 100F: 111-44.
- IARC (2019) List of classifications in alphabetical order. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/ClassificationsAlphaOrder.pdf> [Dostęp: 24.07.2019].
- Kameda T (2011) Atmospheric chemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons and related compounds. *Journal of Health Science* 57(6): 504–511.
- Kim K-H, Jahan SA, Kabir E, Brown RJC (2013) A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment International* 60: 71-80.
- Klimaszewska K (1999) Właściwości, występowanie i przemiany wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w środowisku naturalnym. *Żywność, Żywnienie a Zdrowie* 4: 363-76.
- Lerda D (2011) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Fact Sheet (4rd ed.). JRC 66955, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium.
- Mueller KE, Shann JR (2006) PAH dissipation in spiked soil: Impacts of bioavailability, microbial activity, and trees. *Chemosphere* 64: 1006–1014.
- Nisbet C, LaGoy P (1992) Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16: 290-300.
- Srogi K (2007) Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environmental Chemical Letters* 5: 169-196.
- Verma N, Pink M, Rettenmeier AW, Schmitz-Spanke S (2012) Review on proteomic analyses of benzo[a]pyrene toxicity. *Proteomics* 12: 1731-1755.
- Zhang Y, Tao S (2009) Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. *Atmospheric Environment* 43: 812–819.

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych

## Załącznik kartograficzny nr 2

## SPIS KOMPOZYCJI MAPOWYCH

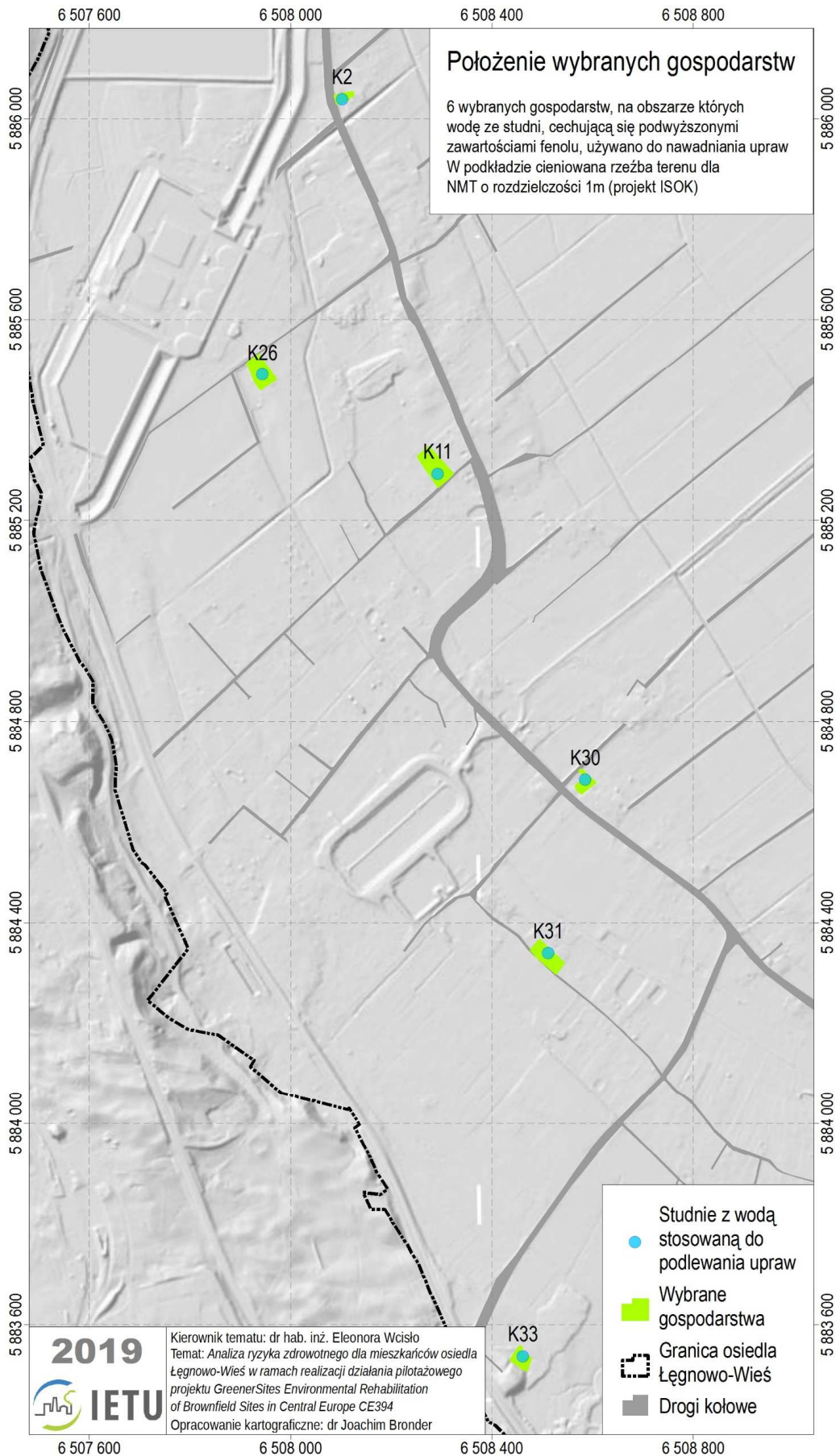
MAPA 1. LOKALIZACJA SEKCJI BADAWCZYCH W OBRĘBIE ZABUDOWY MIESZKANIOWEJ OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ .....	2
MAPA 2. LOKALIZACJA OTWORÓW BADAWCZYCH NA TERENIE OSIEDLA ŁĘGNOWO-WIEŚ .....	3
MAPA 3. LOKALIZACJA WYBRANYCH GOSPODARSTW POSIADAJĄCYCH STUDNIE, Z KTÓRYCH WODA UŻYWANA BYŁA DO PODLEWANIA UPRAW .....	4
MAPA 4. MAKSYMALNY WSKAŹNIK PRZEKROCZEŃ ZAWARTOŚCI DOPUSZCZALNYCH W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	5
MAPA 5. MAKSYMALNY WSKAŹNIK PRZEKROCZEŃ ZAWARTOŚCI DOPUSZCZALNYCH W GLEBACH WYBRANYCH GOSPODARSTW.....	6
MAPA 6. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI CHRYZENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH .....	7
MAPA 7. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BENZO(A)ANTRACENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH .....	8
MAPA 8. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BENZO(A)PIRENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH .....	9
MAPA 9. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BENZO(B)FLUORANTENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	10
MAPA 10. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BENZO(K)FLUORANTENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	11
MAPA 11. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BENZO(GHI)PERYLENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	12
MAPA 12. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI INDENO(1,2,3-CD)PIRENU W GLEBACH SEKCJI BADAWCZYCH.....	13
MAPA 13. PODZIAŁ SEKCJI BADAWCZYCH NA GRUPY ZE WZGLĘDU NA PODOBIEŃSTWO W ZAWARTOŚCI WWA W GLEBIE.....	14
MAPA 14. RYZYKO RAKOTWÓRCZE WYNIKAJĄCE Z ZANIECZYSZCZENIA GLEB SEKCJI BADAWCZYCH .....	15
MAPA 15. RYZYKO RAKOTWÓRCZE WYNIKAJĄCE Z ZANIECZYSZCZENIA GLEB WYBRANYCH GOSPODARSTW .....	16
MAPA 16. PODZIAŁ BUDYNKÓW MIESZKALNYCH ZE WZGLĘDU NA RODZAJ PALIWA STOSOWANEGO DO ICH OGRZEWANIA.....	17



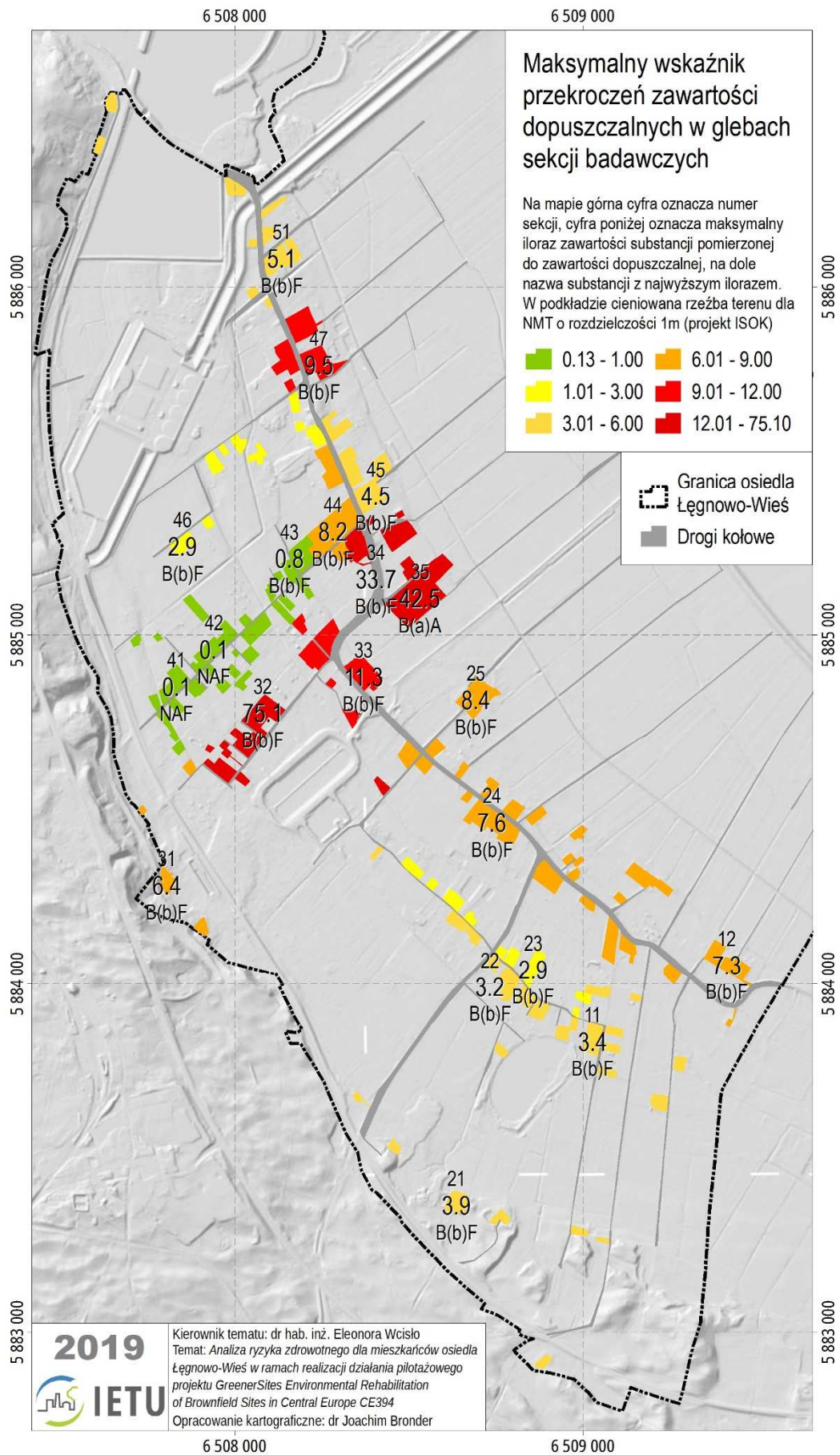
Mapa 1. Lokalizacja sekcji badawczych w obrębie zabudowy mieszkaniowej osiedla Łęgnowo-Wieś





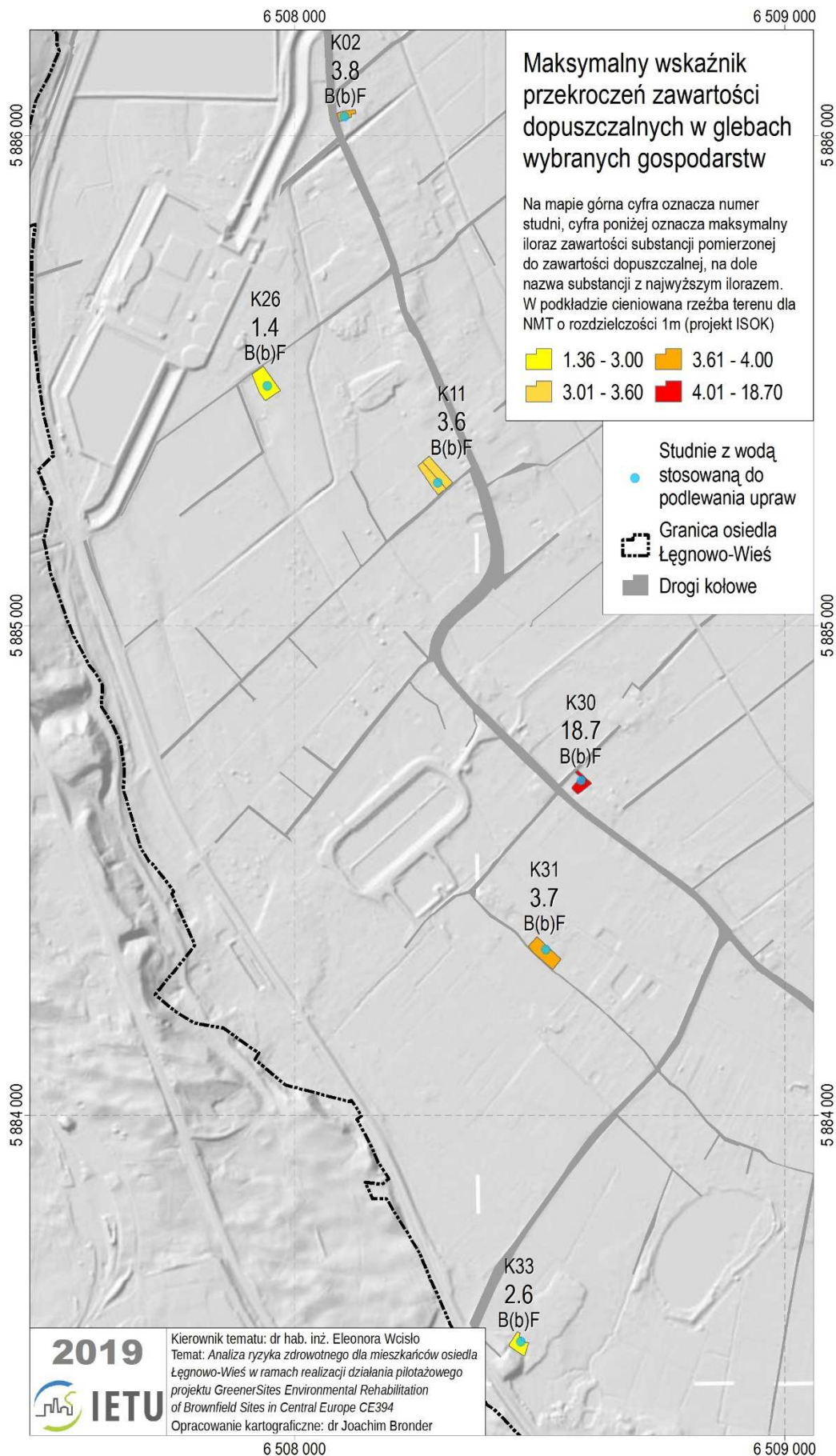


Mapa 3. Lokalizacja wybranych gospodarstw posiadających studnie, z których woda używana była do podlewania upraw

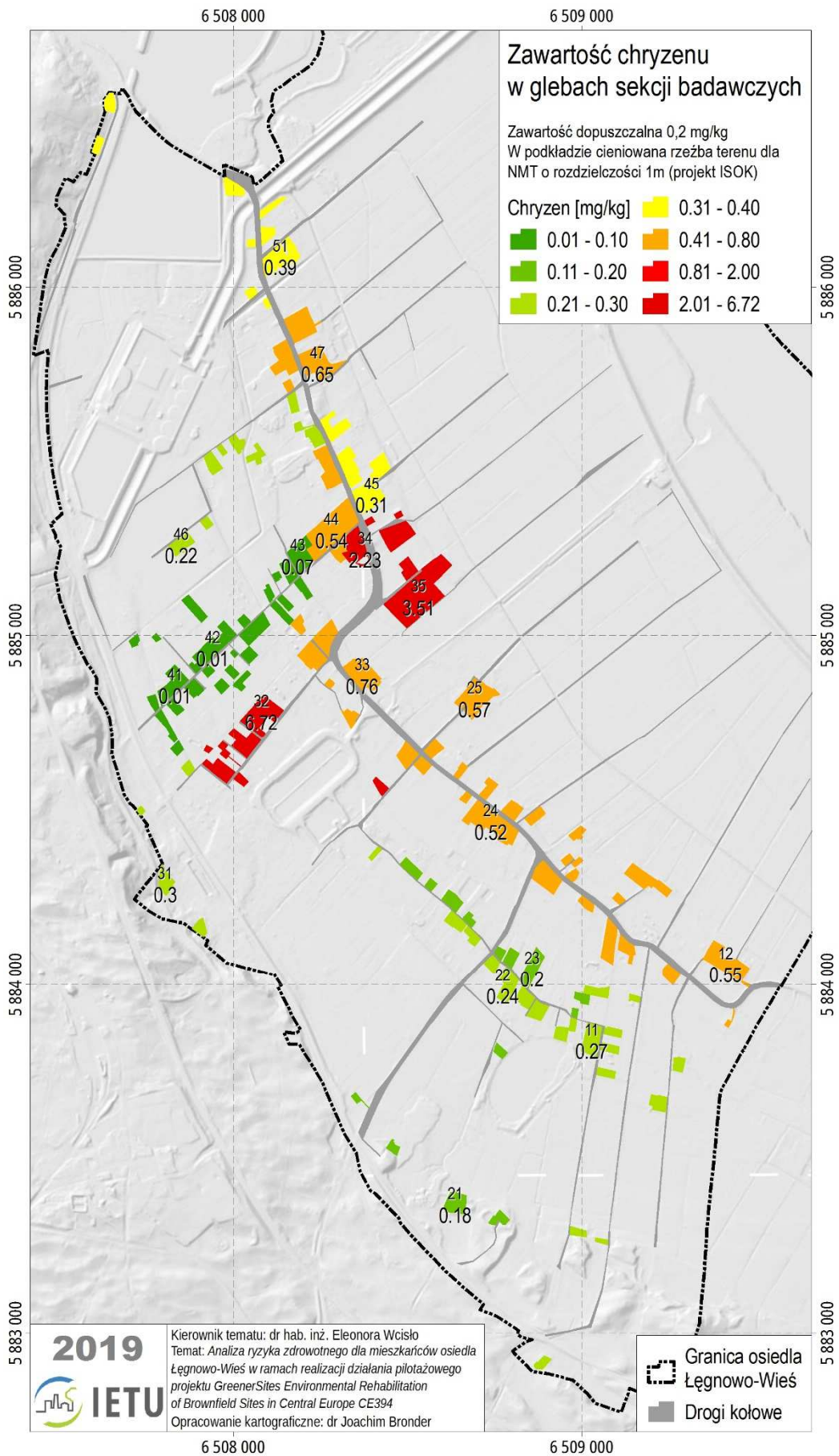


Mapa 4. Maksymalny wskaźnik przekroczeń zawartości dopuszczalnych w glebach sekcji badawczych



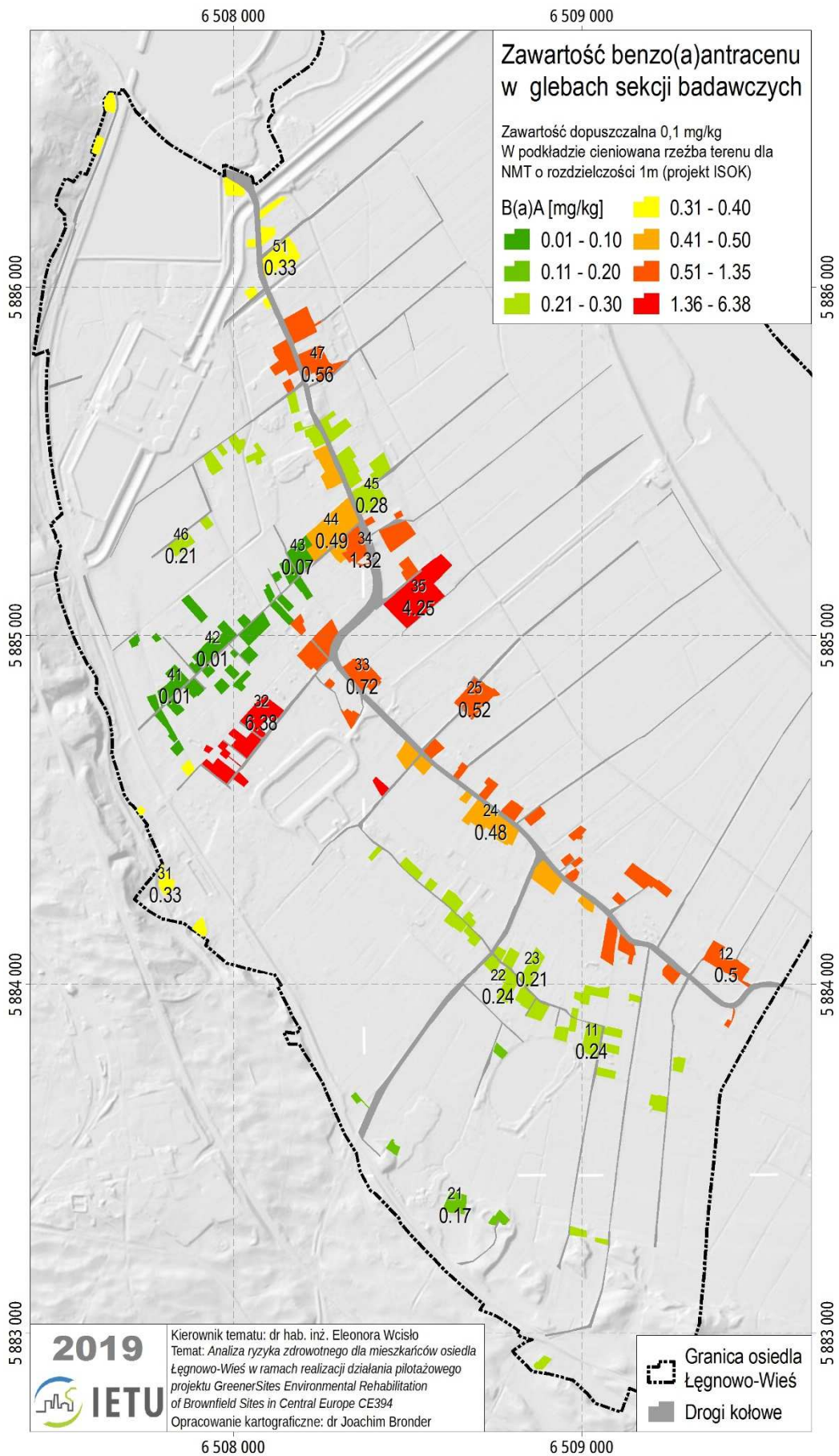


Mapa 5. Maksymalny wskaźnik przekroczeń zawartości dopuszczalnych w glebach wybranych gospodarstw

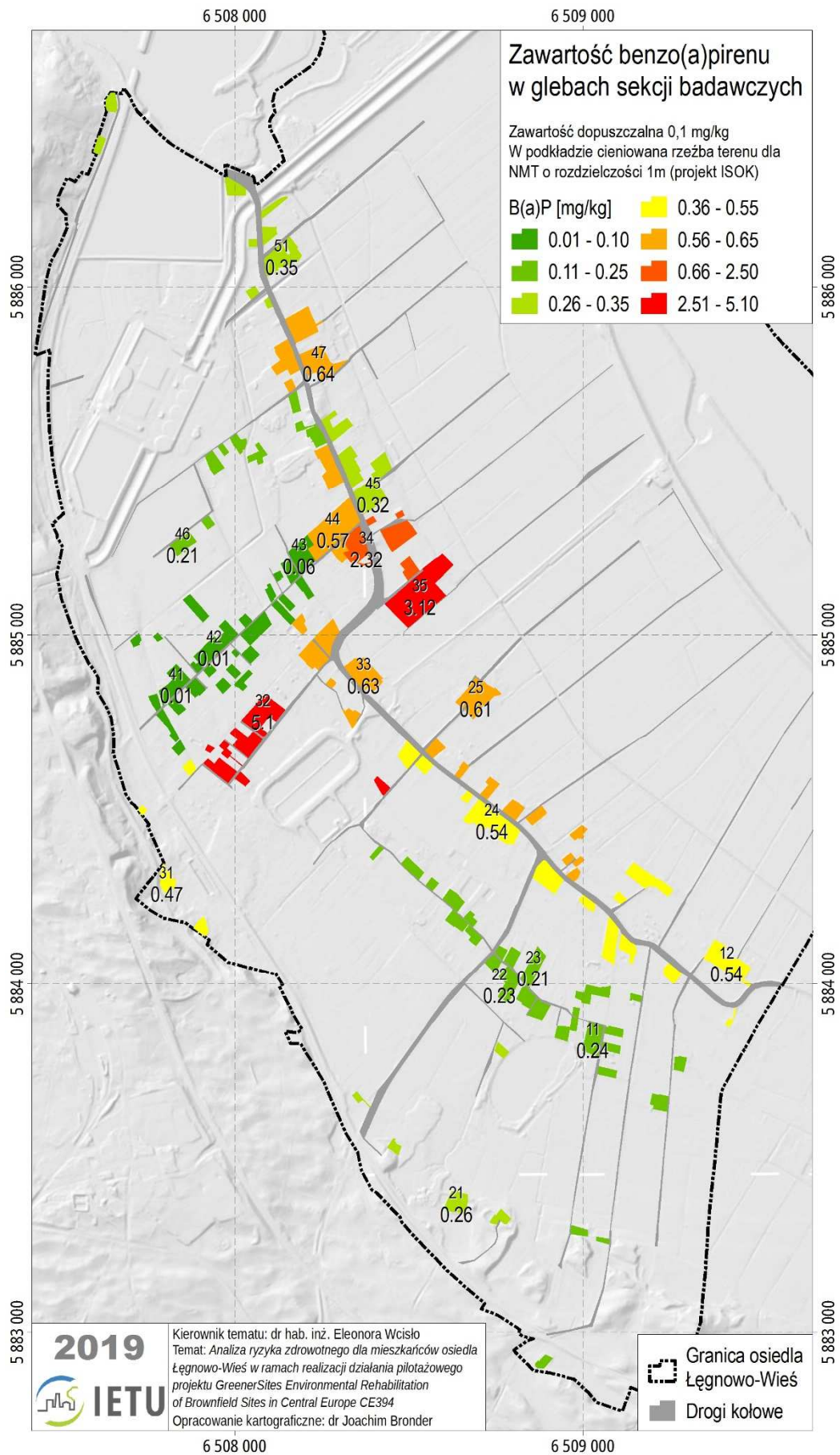


Mapa 6. Rozkład zawartości chryzenu w glebach sekcji badawczych



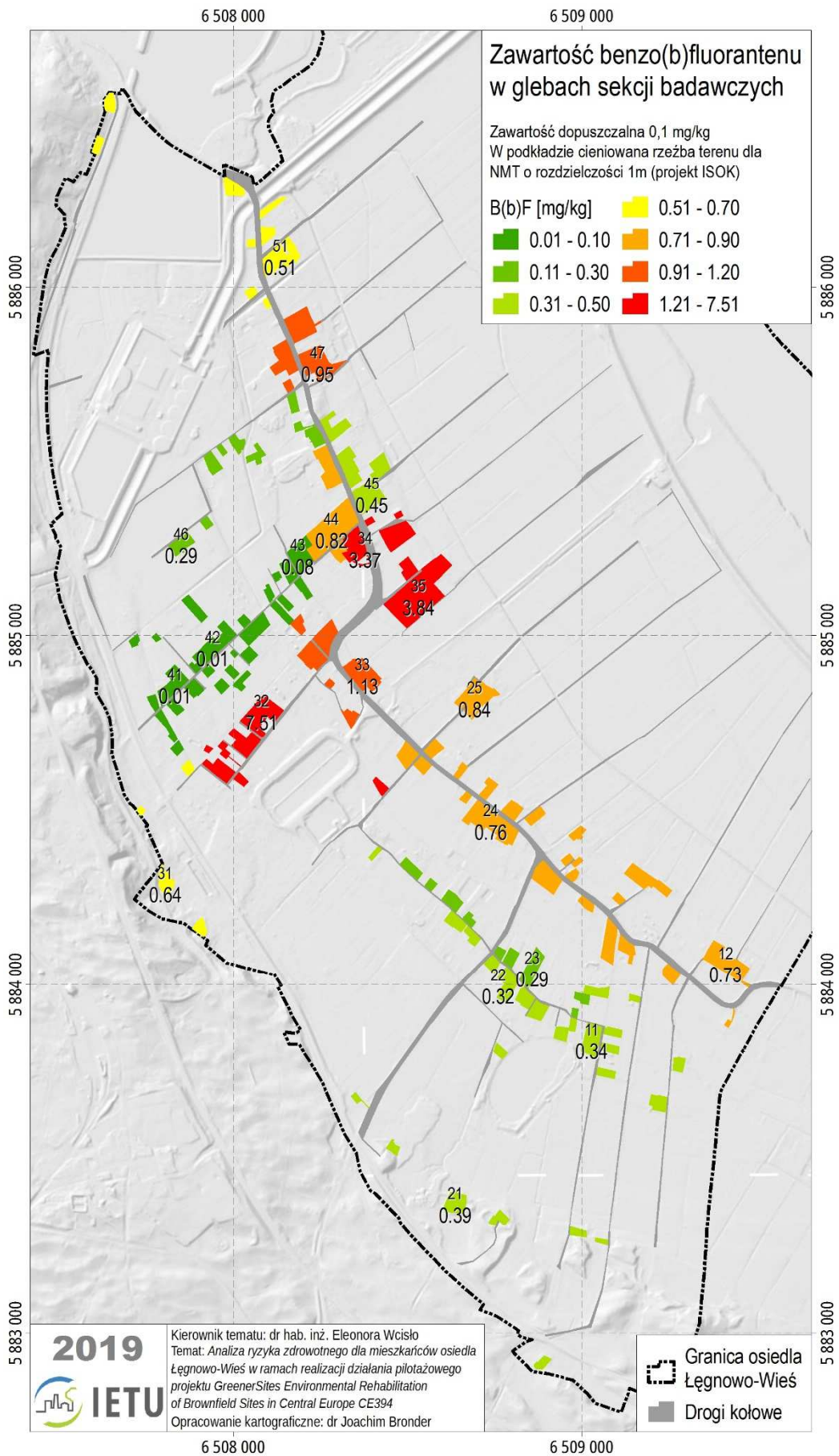


Mapa 7. Rozkład zawartości benzo(a)antracenu w glebach sekcji badawczych

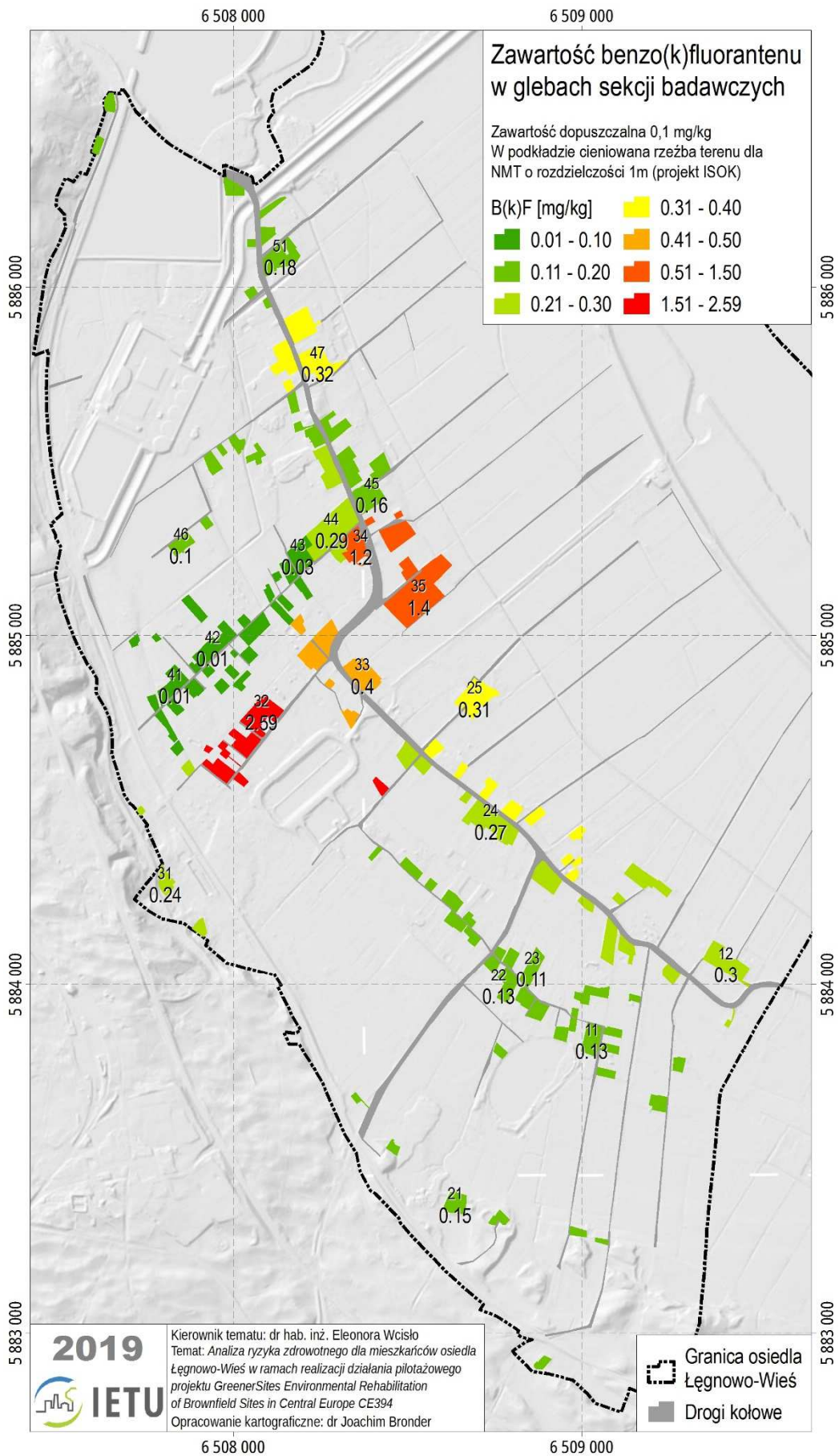


Mapa 8. Rozkład zawartości benzo(a)pirenu w glebach sekcji badawczych



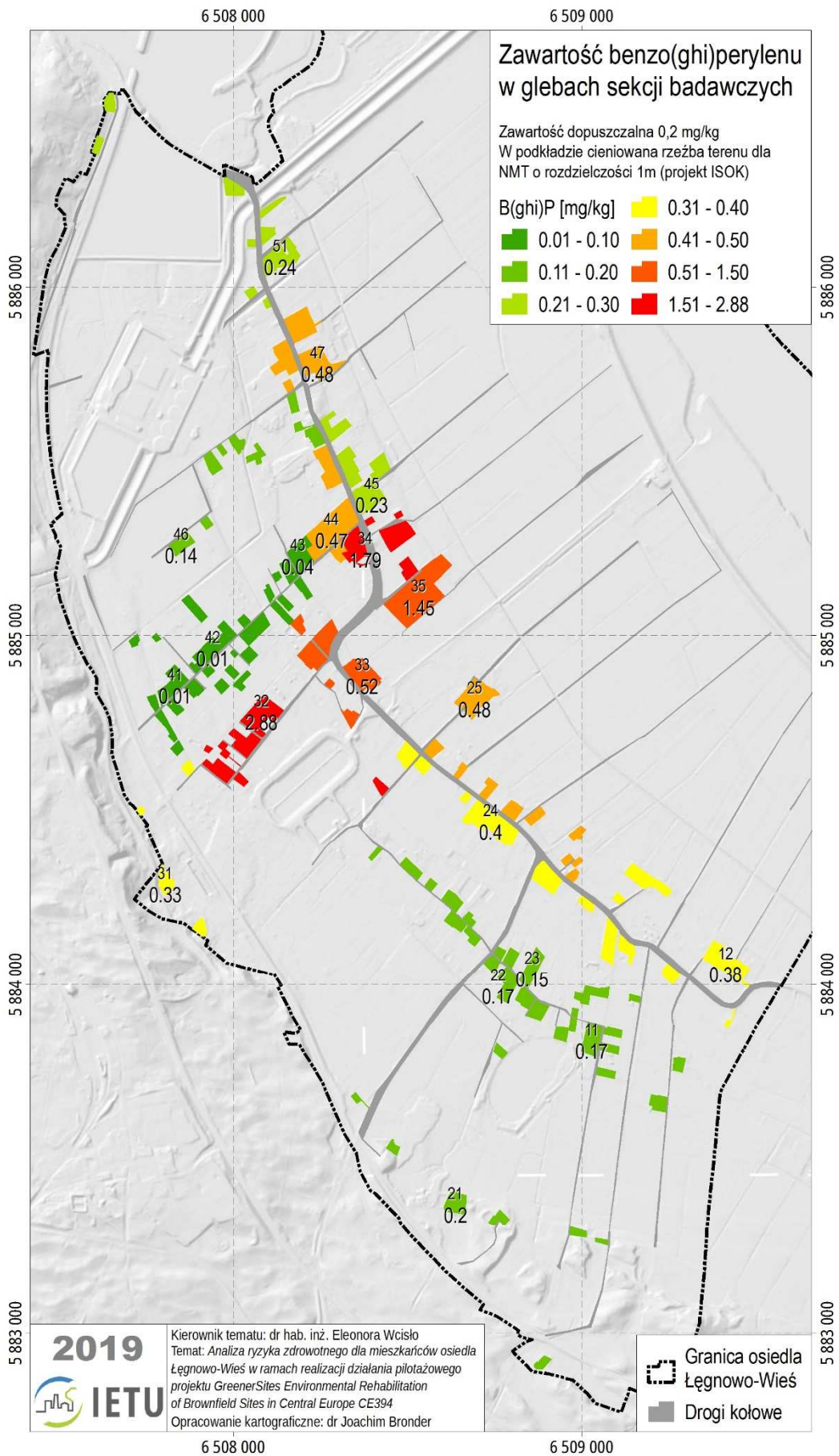


Mapa 9. Rozkład zawartości benzo(b)fluorantenu w glebach sekcji badawczych

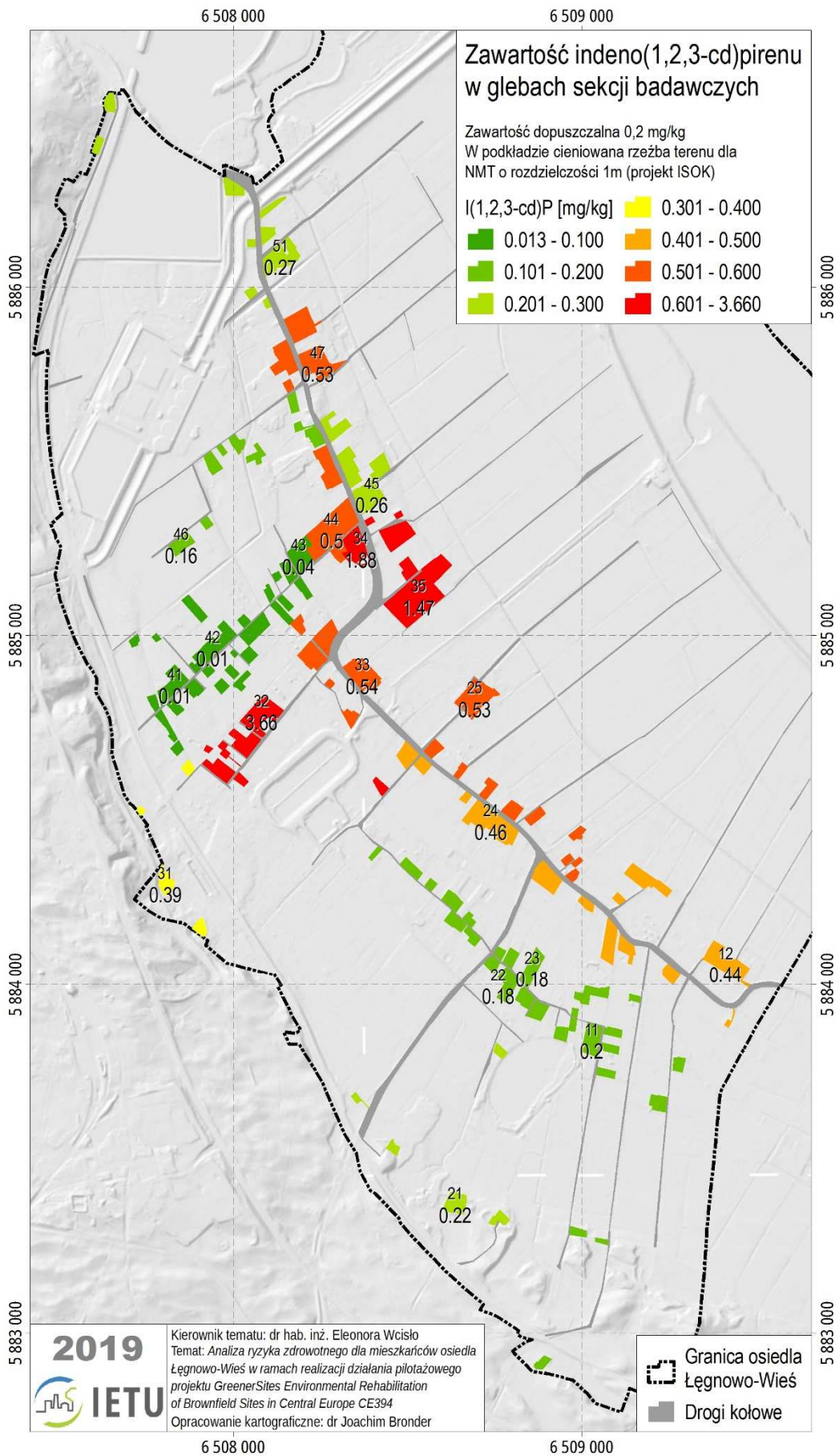


Mapa 10. Rozkład zawartości benzo(k)fluorantenu w glebach sekcji badawczych



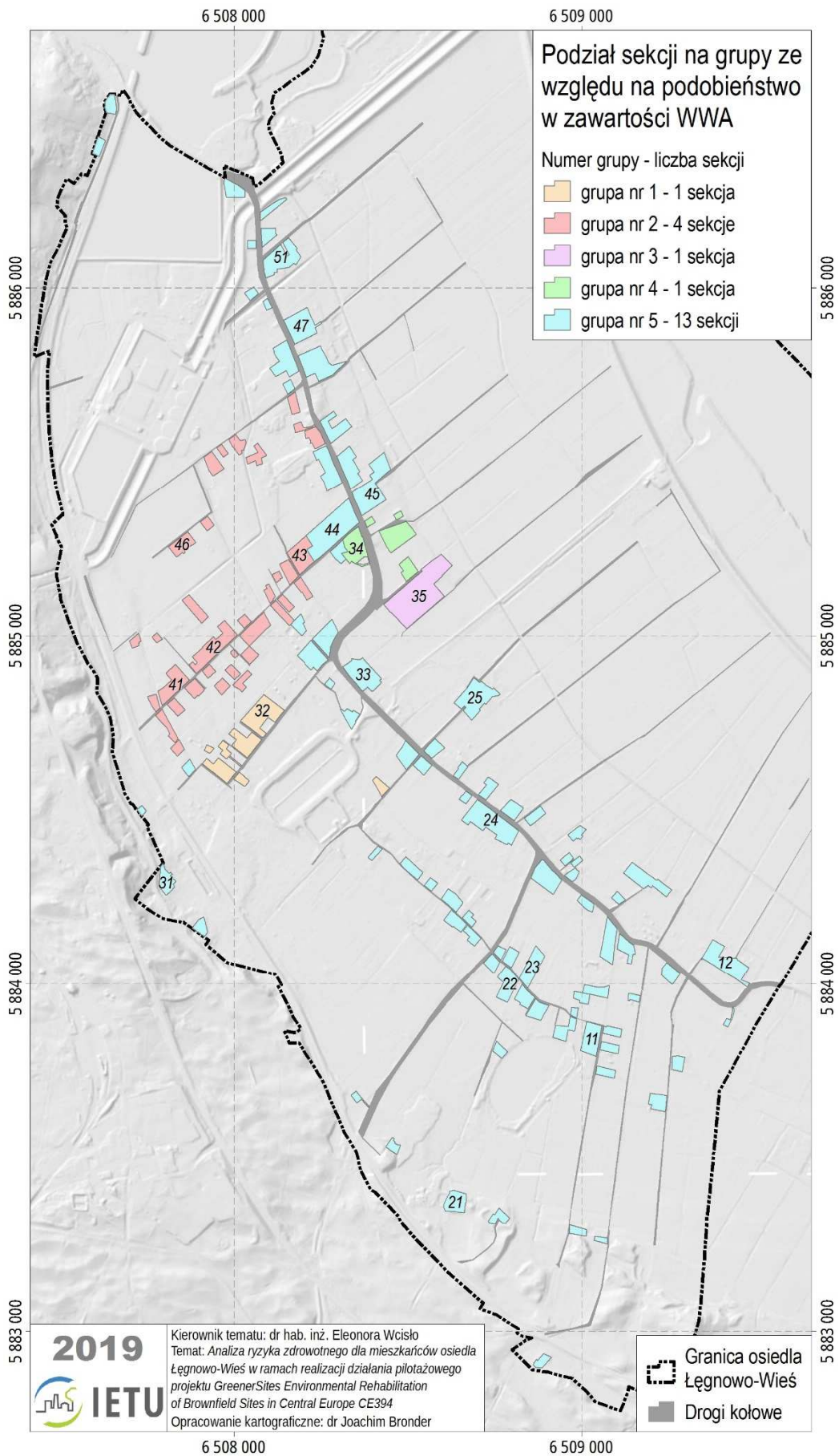


Mapa 11. Rozkład zawartości benzo(ghi)perylenu w glebach sekcji badawczych

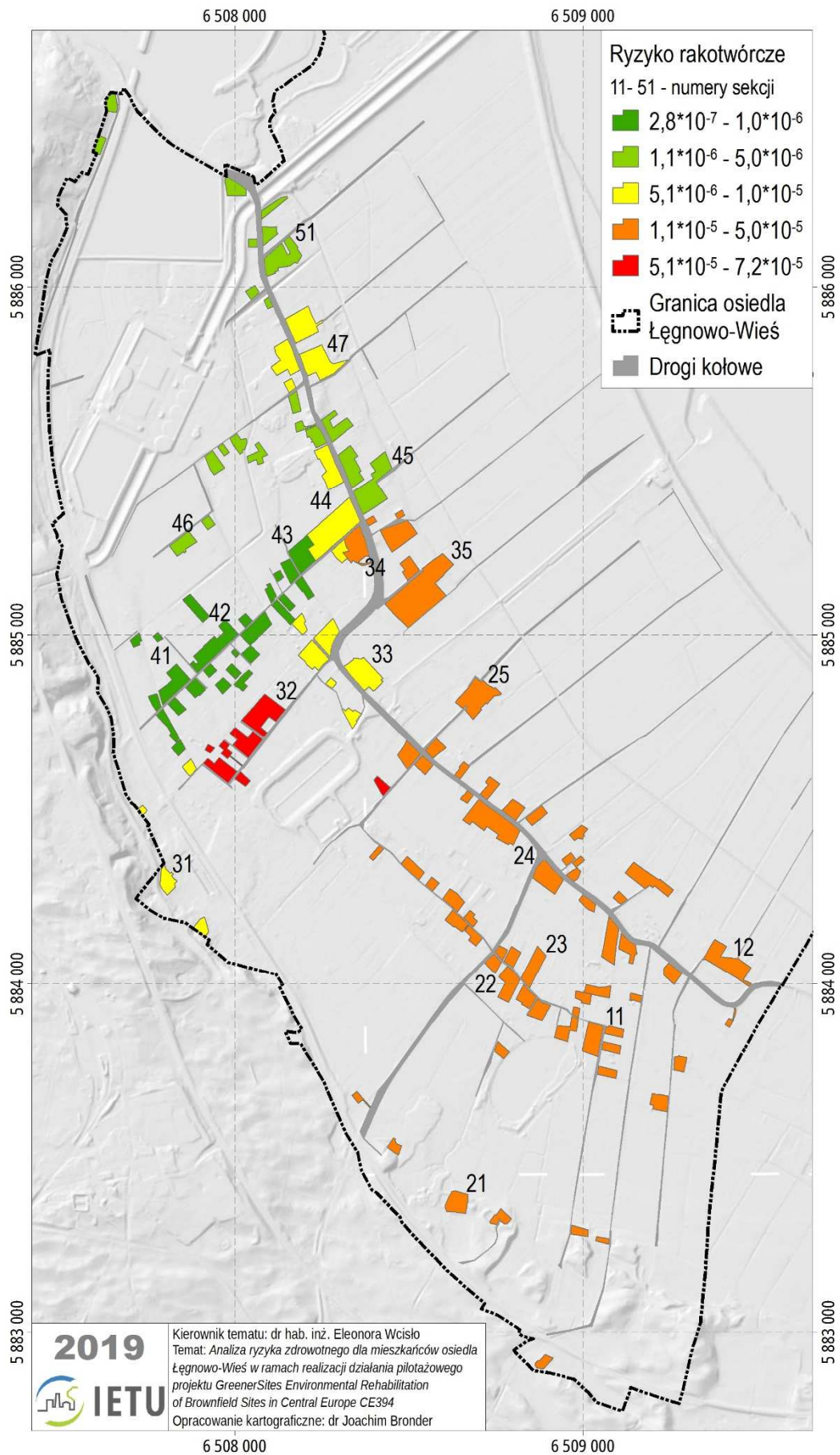


Mapa 12. Rozkład zawartości indeno(1,2,3-cd)pirenu w glebach sekcji badawczych



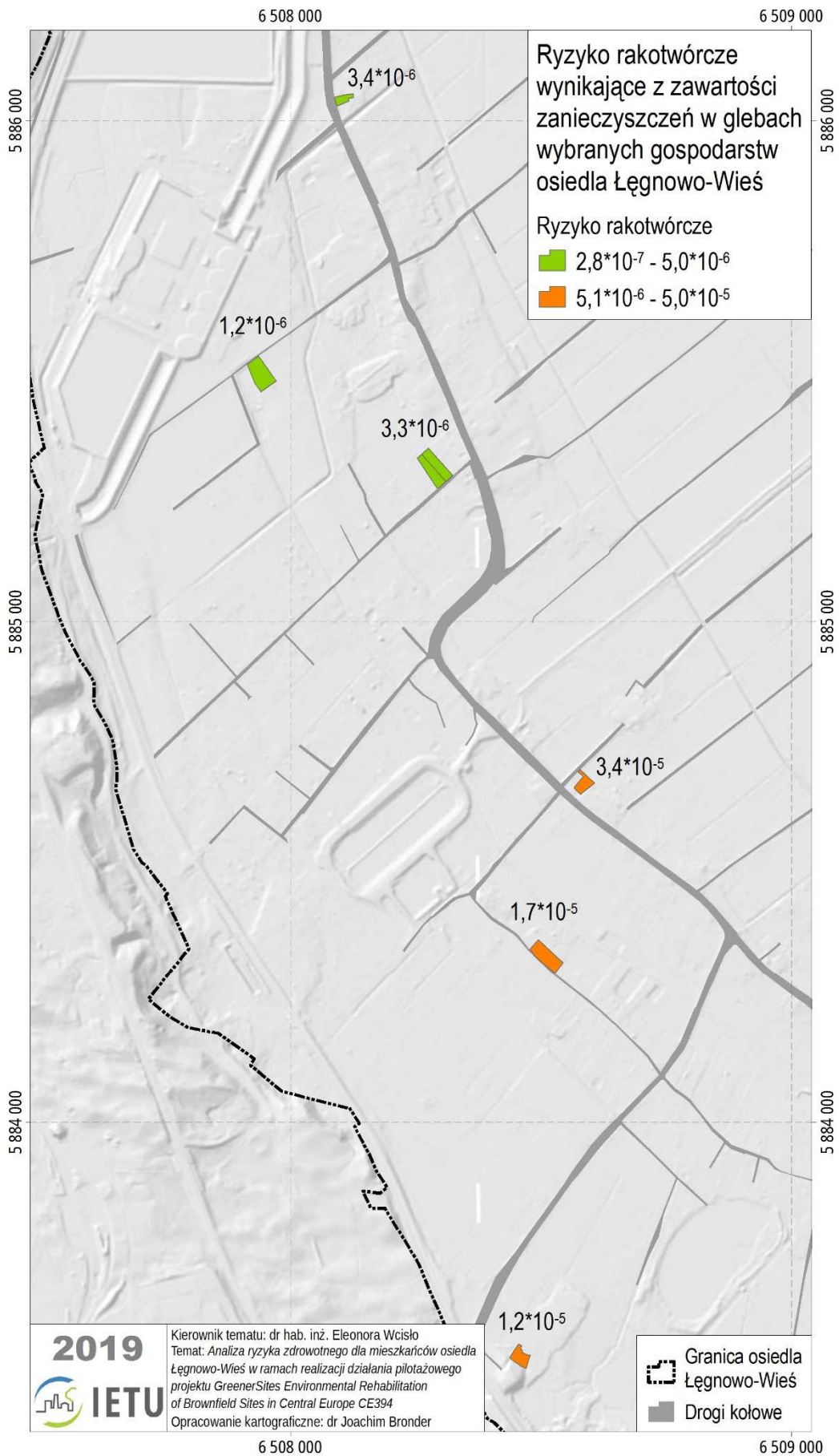


Mapa 13. Podział sekcji badawczych na grupy ze względu na podobieństwo w zawartości WWA w glebie

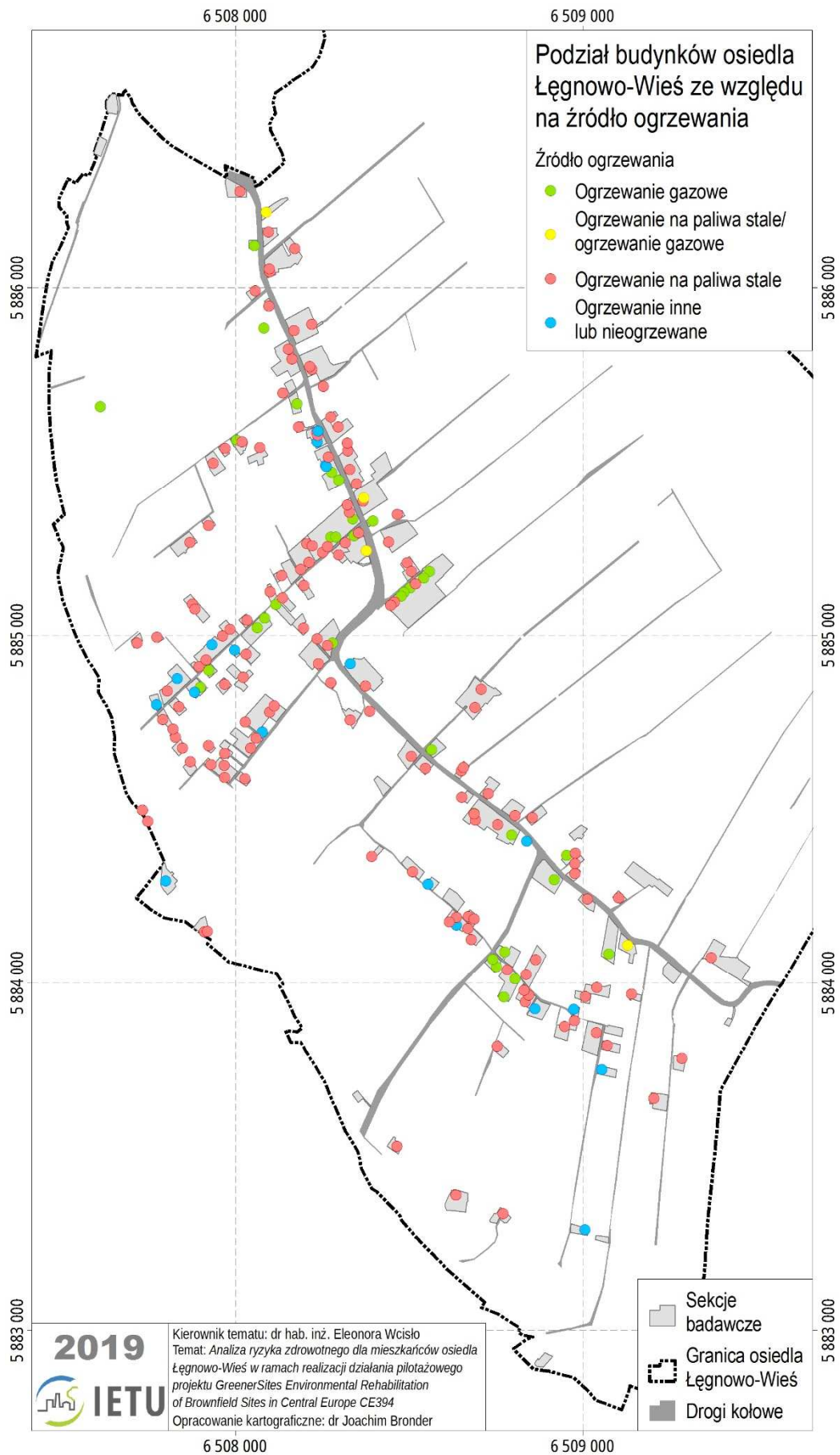


Mapa 14. Ryzyko rakotwórcze wynikające z zanieczyszczenia gleb sekcji badawczych





Mapa 15. Ryzyko rakotwórcze wynikające z zanieczyszczenia gleb wybranych gospodarstw



Mapa 16. Podział budynków mieszkalnych ze względu na rodzaj paliwa stosowanego do ich ogrzewania