

Dominika KOPAŃSKA<sup>1</sup> i Mariusz DUDZIAK<sup>2</sup>

## WYSTĘPOWANIE METALI CIĘŻKICH W WYBRANYCH GRUNTACH NASYPOWYCH

### OCCURRENCE OF HEAVY METALS IN SELECTED MADE GROUNDS

**Abstrakt:** W pracy dokonano analizy wybranych terenów zurbanizowanych oraz przemysłowych zawierających w stropowej strefie podłoża grunty nasypowe. W badanych gruntach występowały przekroczenia w zakresie standardów jakości jedynie pod względem obecności metali ciężkich. Określono specyfikę występowania przekroczeń oraz zauważalną prawidłowość obecności metali ciężkich w profilu geologicznym. Przedstawiono wstępne scenariusze dopuszczalnych działań w przypadku stwierdzenia przekroczeń standardów jakości gleby i ziemi, wykazując rodzaj i skalę problemu. Stan gruntów analizowano przy uwzględnieniu obowiązujących przepisów prawnych w zakresie standardów jakości gleby i ziemi. Rozpatrywane grunty pochodziły z obszaru województwa śląskiego.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, nasyp niebudowlany, standardy jakości gleby i ziemi

### Wprowadzenie

Stan geochemiczny gruntów w Polsce podlega regulacjom prawnym poprzez ustanowienie standardów jakości gleby i ziemi [1]. Analiza problemu zanieczyszczeń gruntów sprowadza się praktycznie do warstwy gleby od 0,0 do 0,3 m pod powierzchnią terenu (p.p.t.) ewentualnie podglebia (do głębokości 1,0 m), z kolei grunt zalegający poniżej nie stanowi istoty badań, a o przekroczeniach wartości dopuszczalnych właściciele powierzchni ziemi dowiadują się najczęściej dopiero podczas procesu inwestycyjnego.

W Polsce zwraca się głównie uwagę na ziemię zanieczyszczoną substancjami ropopochodnymi, która z oczywistych względów jest poddawana remediacji m.in. z uwagi na ryzyko migracji węglowodorów ze zidentyfikowanych źródeł zanieczyszczeń, takich jak: stare bazy wojskowe, stacje paliw, zbiorniki olejów itp. Takie zanieczyszczenia dają się ekonomicznie i skutecznie usunąć metodami in-situ, za pomocą technik biochemicznych [2]. Z kolei grunty zanieczyszczone jedynie metalami ciężkimi stanowią problem z powodu braku skutecznych i opłacalnych metod in-situ oraz skomplikowanych i nieekonomicznych metod ex-situ (jednocześnie dyskusyjnych z punktu widzenia celu ochrony środowiska). Najczęściej są to metody zestalania i immobilizacji, które nie prowadzą do usunięcia zanieczyszczeń, ale ich unieruchomienia, co pozostawia problem ich dalszego zagospodarowania. Dodatkowo, województwo śląskie, z uwagi na specyfikę przemysłu, rozwiniętego głównie w XIX i XX wieku, dysponowało nadmiarem żużli i zgarów pohutniczych/poodlewnicznych, które, zalegając na hałdach, stanowiły łatwo dostępny materiał do niwelacji okolicznych terenów, tworząc nasypy niebudowlane, czyli takie, których rodzaj i stan nie odpowiadają wymaganiom budowlany lub podłoża pod budowlę [3]. Wówczas przepisy w zakresie dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń

<sup>1</sup> Przedsiębiorstwo Badań i Ekspertyz Środowiska „SEPO” sp. z o.o., ul. Dworcowa 47, 44-190 Knurów, tel. 32 236 03 16, fax 32 335 21 51, email: d.kopanska@interia.eu

<sup>2</sup> Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 16 98, fax 32 237 10 47, email: mariusz.dudziak@polsl.pl

<sup>3</sup> Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 14, Jarnołtówek, 15-17.10.2014

nie istniały, a ochrona środowiska „przegrywała” z potrzebą rozwoju przemysłu. Tak wbudowane w profil geologiczny odpady poprodukcyjne w postaci żużli, zgarów i popiołów (najczęściej przemieszane z gruzem, kamieniami i ziemią) zalegają na znaczącej powierzchni terenu Śląska. Z uwagi na obowiązujące w Polsce przepisy w zakresie ochrony powierzchni ziemi, która zgodnie z definicją stanowi naturalne ukształtowanie terenu, glebę oraz znajdującą się pod nią ziemię do głębokości oddziaływania człowieka (...) [4], należy uznać nasyp niebudowlany za jej integralną część, co determinuje konieczność stosowania również w tym zakresie przepisów dotyczących utrzymania standardów jakości gleby i ziemi.

Najistotniejszymi czynnikami wpływającymi na rozpuszczalność i dostępność metali ciężkich w ziemi są [5, 6]: odczyn oraz zawartość materii organicznej. Generalnie mobilność metali wzrasta wraz z obniżeniem odczynu gleby [7-9]. Zatem już teoretycznie można zakładać, że nasypy budowane z odpadami pohutniczymi, w tym z sektora Zn-Pb (np. odpady flotacyjne, żużle itp.), zawierające minerały o właściwościach neutralizujących, nie będą zarówno zakwaszały środowiska, jak i uruchamiały metali ciężkich [8, 9], co wpływa na niewielką ich wymywalność oraz migrację.

Celem niniejszej pracy była analiza wybranych terenów o przekroczonym standardzie jedynie w zakresie metali ciężkich w warstwie nasypowej gruntu w świetle obowiązujących przepisów oraz w korelacji z możliwościami spełnienia wymagań prawnych w zakresie postępowania z takim gruntem w przypadku obszaru Śląska.

### **Metodyka badań i zakres analiz**

W tabeli 1 przedstawiono obowiązujące w Polsce standardy jakości gleby i ziemi dla różnych grup gruntów, w tym: terenów zabudowanych/zurbanizowanych oraz przemysłowych i komunikacyjnych, które były podstawą oceny. Do analiz w ramach pracy wybrano przypadki występowania przekroczeń standardów jakości jedynie w zakresie metali ciężkich w wybranych gruntach pobranych z obszarów województwa śląskiego. Ocenie poddano grunty pochodzące z 12 terenów przemysłowych/zurbanizowanych. Przedstawione wyniki są wartościami maksymalnymi w zakresie stężeń metali ciężkich występujących w badanych gruntach nasypowych. Wszystkie z badanych przypadków dotyczyły terenów przeznaczonych zgodnie z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego pod inwestycje budowlane (grunty należące do grup B i C). Grunty porównywano do wartości dopuszczalnych określonych odrębnie dla każdego metalu, w zależności od stopnia wodoprzepuszczalności gruntu oraz grupy rodzaju gruntu (przeznaczenia terenu). Oznaczenie metali zawartych w gruncie przeprowadzono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej po wcześniejszej mineralizacji próbek.

Standardy jakości ustalono w dwóch progach, tj. odrębne dla ziemi o wodoprzepuszczalności  $< 10^{-7}$  m/s i osobne dla ziemi o wodoprzepuszczalności  $> 10^{-7}$  m/s, w zależności od głębokości. Analizom poddano ziemię o przeznaczeniu grupy B w przedziale głębokości od 0,3 do 15,0 m oraz należące do grupy C zarówno w przedziale od 0,0 do 2,0 m, jak i od 2,0 do 15,0 m. Zatem nie analizowano przypadków grupy A ani też gleby (od 0,0 do 0,3 m) w grupie B.

Z puli przypadków o stwierdzonym przekroczeniu standardu oceniono rodzaj gruntu, w jakim wykryto przekroczenie. Następnie sprawdzono, czy przekroczenie występuje także

w warstwie bezpośrednio zalegającej pod warstwą o stwierdzonym przekroczeniu, biorąc pod uwagę budowę geologiczną tego gruntu. Porównano analizy ziemi pobranej z otworów badawczych tego samego rejonu badań, a te z kolei z wynikami analiz gruntów pochodzących z innych rejonów Śląska. Przeanalizowano aspekt prawny postępowania z gruntem o przekroczonym standardzie, próbując ocenić scenariusz działań dla terenów w woj. śląskim.

Tabela 1

Standardy gleby i ziemi w zakresie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich [1]

Table 1

Soil and land standards in the range of the accepted concentrations of heavy metals [1]

Metal	Wartości dopuszczalne stężeń w glebie lub ziemi [mg/kg suchej masy]										
	Grupa A <sup>1)</sup>	Grupa B <sup>2)</sup>				Grupa C <sup>3)</sup>					
		0,0-0,3	Głębokość [m p.p.t.]								
			0,3-15,0		> 15,0		0,0-2,0		2,0-15,0		
			Wodoprzepuszczalność gruntów [m/s]								
do		poniżej		do		poniżej		do		poniżej	
1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>	
Arsen	20	20	20	25	25	55	60	25	100		
Bar	200	200	250	320	300	650	1000	300	3000		
Chrom	50	150	150	190	150	380	500	150	800		
Cyna	20	20	30	50	40	300	350	40	300		
Cynk	100	300	350	300	300	720	1000	300	3000		
Kadm	1	4	5	6	4	10	15	6	20		
Kobalt	20	20	30	60	50	120	200	50	300		
Miedź	30	150	100	100	100	200	600	200	1000		
Molibden	10	10	10	40	30	210	250	30	200		
Nikiel	35	100	50	100	70	210	300	70	500		
Ołów	50	100	100	200	100	200	600	200	1000		
Rtęć	0,5	2	3	5	4	10	30	4	50		

<sup>1)</sup> grupa A - nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo wodne oraz obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody;

<sup>2)</sup> grupa B - grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych;

<sup>3)</sup> grupa C - tereny przemysłowe, użytki kopalne i tereny komunikacyjne

## Wyniki i dyskusja

W tabeli 2 przedstawiono obserwowane maksymalne stężenia poszczególnych metali ciężkich w badanych gruntach nasypowych pobranych z terenów zurbanizowanych oraz przemysłowych województwa śląskiego. Z kolei na rysunku 1 zaprezentowano przykładowy profil geologiczny otworu badawczego.

Wszystkie grunty nasypowe kwalifikowano jako łatwo wodoprzepuszczalne (do 1 x 10<sup>-7</sup> m/s). Nasypy, w każdym z analizowanych przypadków, stanowiły mieszaninę żużla lub gruzu i ziemi, piasków czy gliny lub kamieni. W każdej badanej próbie nasypu przynajmniej jeden z rozpoznanych składników stanowił element antropogeniczny (gruz, żużel, pokruszone zgary, cegły, spieki itp.).

Analizy badań ziemi wykazały, że wszystkie przypadki, w których obserwowano przekroczenia standardów metali w warstwie nasypowej, są wolne od zanieczyszczeń

w warstwach bezpośrednio zalegających pod nasypami, niezależnie od rodzaju tych utworów, tj. łatwo- (np. piaski) czy trudnoprzepuszczalnych (gliny, iły). Dowodzi to braku zauważalnej migracji zanieczyszczeń z warstwy nasypów do gruntu rodzimego.

Tabela 2  
Maksymalne stężenia metali ciężkich w wybranych gruntach woj. śląskiego zawierających nasypy

Table 2  
Maximum concentrations of heavy metals in selected made grounds in the Silesian Region

Metal	Obserwowane maksymalne stężenia metali [mg/kg suchej masy]										
	Grupa A <sup>1)</sup>	Grupa B <sup>2)</sup>				Grupa C <sup>3)</sup>					
		Głębokość [m p.p.t.]									
		0,0-0,3		0,3-15,0		> 15,0		0,0-2,0		2,0-15,0	
		Wodoprzepuszczalność gruntów [m/s]									
do (nasypy)		poniżej (grunt rodzimy)		do		poniżej		nasypy		do (nasypy)	poniżej (grunt rodzimy)
1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>		1 x 10 <sup>-7</sup>	
Arsen	Nie badano	Nie badano	82	14,1	Nie badano	Nie badano	412	378	< 0,2		
Bar			1420	197			3280	2200	36,8		
Chrom			38,4	18,1			128	53,0	15,1		
Cyna			125	9,0			51,2	20,0	8,1		
Cynk			5540	89,0			50 500	86 000	36,7		
Kadm			11,8	0,64			398	239	< 0,3		
Kobalt			9,4	12,7			23,7	15,1	4,80		
Miedź			3000	18,3			7991	57,4	8,89		
Molibden			< 5,00	< 5,00			216	< 5,0	< 5,00		
Nikiel			52,6	32,7			53,1	45,5	13,7		
Ołów			1330	20,6			2810	9460	13,7		
Rtęć			0,345	2,11			< 0,1	< 0,1	< 0,1		

<sup>1)</sup> grupa A - nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo wodne oraz obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody;

<sup>2)</sup> grupa B - grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych;

<sup>3)</sup> grupa C - tereny przemysłowe, użytki kopalne i tereny komunikacyjne

Zauważono, że każda próbka gruntu, w której wykryto przekroczenie cynku, wykazuje także przekroczenie ołowiu, większość dodatkowo także baru i nieco mniej arsenu. Ponadto niektóre próbki wykazywały przekroczenia stężeń cyny i miedzi, a nieliczne przypadki kadmu. Znaleziono jeden przypadek z niewielkim przekroczeniem niklu.

W żadnej z badanych próbek nasypów nie zaobserwowano nigdy przekroczeń: kobaltu, molibdenu i rtęci, a stężenia tych dwóch ostatnich metali w znaczącej większości występowały poniżej poziomu oznaczalności.

W ramach każdej puli próbek pobieranych z jednego terenu (np. w obrębie jednej lub kilku połączonych geodezyjnie działek) obserwowano ten sam zestaw przekroczeń metali w każdym z badanych otworów i o podobnym zakresie stężeń, co dowodzi jednolitej struktury nasypów o tym samym źródle pochodzenia na danym terenie. Porównując grupy próbek z różnych lokalizacji Śląska, zauważa się różnice w składzie nasypów, natomiast

z dużym prawdopodobieństwem można przypuszczać, że wszystkie analizowane tereny, w których obserwowano przekroczenia metali ciężkich, niegdyś zostały niwelowane materiałem zawierającym w różnym procencie odpady poprodukcyjne z hutnictwa lub odlewnictwa metali nieżelaznych.

Istotnym aspektem analiz okazała się kwalifikacja gruntów według grup przeznaczenia. Z badań wynika, że ten sam grunt zakwalifikowany do kategorii przeznaczenia B uznaje się za zanieczyszczony, a kwalifikując go do grupy C, byłby całkowicie wolny od zanieczyszczeń i w drugą stronę: stwierdzenie braku przekroczeń standardów z uwagi na grupę C obszaru badań może być nieprawdziwe w przypadku zmiany kategorii przeznaczenia na grupę B. Taka sytuacja rodzi problemy skutkujące przede wszystkim sposobem postępowania z zanieczyszczonym gruntem. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, ziemię uznaje się za zanieczyszczoną, gdy stężenie co najmniej jednej substancji przekracza wartość dopuszczalną (standard) [1]. To z kolei stanowi problem w procesie inwestycyjnym, przy konieczności realizacji wykopów, głównie pod fundamenty. Przeanalizowano aspekt prawny, zgodnie z którym wybraną podczas robót budowlanych zanieczyszczoną ziemię uznaje się za odpad, kwalifikowany pod kodem 17 05 03\*, zaliczany do grupy niebezpiecznych. Zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z odpadami, wybrana w trakcie wykopów ziemia (odpad) w pierwszej kolejności powinna być przygotowywana do ponownego użycia, jeśli brak takich metod, to poddana recyklingowi, jeśli takie nie są możliwe, to dopiero innym metodom odzysku, a na samym końcu unieszkodliwieniu (w tym składowaniu) [10]. Przeanalizowano aktualny „Plan Gospodarki Odpadami dla woj. śląskiego 2014 r.” (dalej PGO) i stwierdzono funkcjonowanie tylko trzech instalacji w województwie śląskim przyjmujących do zagospodarowania odpad o kodzie 17 05 03\*, a mianowicie: jedna spalarnia, druga stanowiąca zakład produkcji paliw stałych (odbierające ten odpad pod warunkiem zanieczyszczenia związkami ropopochodnymi), co z góry wyklucza zagospodarowanie ziemi zanieczyszczonej jedynie metalami ciężkimi, a trzecia stanowiąca zakład produkcji granulatów i kruszyw, gdzie zanieczyszczenia nie są usuwane, ale zestalane metodą Geodur. Zdolność produkcyjna tej instalacji wynosi 10 000 Mg (sumarycznie dla kilkunastu rodzajów odpadów). Poza wymienionymi instalacjami, PGO woj. śląskiego nie podaje żadnej innej instalacji mogącej zagospodarować odpad o kodzie 17 05 03\* (w rodzaju ziemi zanieczyszczonej jedynie metalami). Zauważono, że żadne ze składowisk w województwie śląskim nie ma prawnej możliwości deponowania takiego odpadu. Biorąc pod uwagę obserwowany obszar zanieczyszczeń w ramach badanych terenów inwestycyjnych, staje się oczywiste, że chcąc respektować „zasadę bliskości” nałożoną na wytwarzających odpady (przekazywanie odpadów do najbliższej położonych miejsc, w których mogą zostać przetworzone [10]), jest to praktycznie niemożliwe. Tak więc przyjmując średnią miąższość utworów nasypowych (o głębokości 2,2 m) oraz przykładowy obszar o przekroczonym standardzie metalu 20 m x 20 m, to mamy do zagospodarowania min. 640 Mg odpadu z jednej tylko budowy. Z kolei obserwowane miąższości gruntów nasypowych o przekroczonym standardzie metalu wynoszą nawet 5,5 m głębokości, zatem masa gruntów konieczna do zagospodarowania z jednej budowy może okazać się dużo większa.



## Wnioski

Obserwacje przypadków gruntu nasypowego o przekroczonym standardzie metali pozwalają stwierdzić, że:

- istotną rolę w przeprowadzaniu wszelkich ocen gruntu odgrywa właściwe rozpoznanie budowy geologicznej, w tym zwrócenie uwagi, czy pobierając próbę z wierzchniej warstwy zostaje pobrana gleba czy już nasyp budowany przez utwory antropogeniczne. To może mieć ogromne znaczenie w interpretacji wyników pod względem źródeł pochodzenia zanieczyszczenia metalami,
- w profilach geologicznych o przekroczonym standardzie metali w warstwie nasypowej nigdy nie zaobserwowano przekroczeń w warstwach bezpośrednio zalegających pod nasypem, niezależnie od stopnia ich wodoprzepuszczalności, co pozwala sugerować brak zauważalnej migracji metali z nasypu,
- występuje pewna prawidłowość, tj. w przypadku gruntów nasypowych o przekroczonym standardzie odnośnie do cynku zawsze podwyższony jest również ołów, a często także w kolejności: bar i arsen, niekiedy miedź i cyna, co pozwala określić pochodzenie materii budującej nasypy - z hutnictwa/odlewnictwa danego rodzaju metali nieżelaznych,
- woj. śląskie nie ma instalacji mogących zagospodarować odpady w postaci gruntu o przekroczonym standardzie metali ciężkich,
- przepisy prawne regulujące sposób postępowania z gruntem o przekroczonym standardzie powinny zostać poddane powtórnej analizie dla przypadków o podwyższonych stężeniach metali.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. DzU 2002, Nr 165, poz. 1359.
- [2] In situ treatment technologies for contaminated soil. Engineering Forum Issue Paper. EPA 542/F-06/013. November 2006.
- [3] PN-86/B-02480 - Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. Warszawa: PKN.
- [4] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, tekst jednolity. DzU 2013, Nr 0, poz. 1232 z późn. zm.
- [5] Taghipour M, Jalali M. J Hazard Mater. 2015;297:127-133. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.04.067.
- [6] Oo AN, Iwai CB, Saenjan P. Land Degrad Dev. 2015;26:300-310. DOI: 10.1002/ldr.2208.
- [7] Chaoui HI, Zibilske LM, Ohno T. Soil Biol Biochem. 2003;35:295-302. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00279-1.
- [8] Marinari S, Masciandro G, Ceccanti B, Grego S. Bioresour Technol. 2000;72:9-17. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00094-2.
- [9] Jonczy I, Huber M, Lata L. Mineral Resour Manage. 2014;30:161-174. DOI: 10.2478/gospo-2014-0008.
- [10] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. DzU 2013, poz. 21.

## OCCURRENCE OF HEAVY METALS IN SELECTED MADE GROUNDS

<sup>1</sup> Environmental Research and Expertise Company "SEPO" sp. z o.o. [Ltd.], Knurów

<sup>2</sup> Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice

**Abstract:** This paper presents the analysis of selected urban and industrial areas containing made grounds in the superstratum. The studied soils were characterized by exceeded quality standards only for the presence of heavy metals. The specificity of the occurrence and the visible regularity of the presence of heavy metals in the geological profile were determined. Preliminary scenarios of the action in the event of the exceeded standards for soil quality were presented, showing also the type and scale of the problem. The quality of the soil was analyzed taking into account the existing legislation regarding standards for soil and land quality. The analyzed soils originated from the Silesian Voivodeship.

**Keywords:** heavy metals, embankment for non-construction purposed, standards for soil and land quality