

OCENA ZANIECZYSZCZENIA GLEBY NA LUBELSZCZYŹNIE NA PODSTAWIE BADAŃ MONITORINGOWYCH

Agnieszka Malec¹, Gabriel Borowski²

¹ Doktorantka w Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej, e-mail: aga_malec@interia.pl

² Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, e-mail: g.borowski@pollub.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono ocenę zmian zanieczyszczenia gleby w latach 1995–2010 na terenie Lubelszczyzny w oparciu o wyniki badań monitoringowych. Przytoczono zasady, cel i zadania monitoringu gleby prowadzonego w skali kraju, jak i lokalnie. Omówiono rodzaje i źródła zanieczyszczenia gleby, metody oznaczania tych zanieczyszczeń, a także procedurę oznaczania próbek gleby do analizy. Następnie przedstawiono i oceniono wyniki zawartości poszczególnych pierwiastków i związków w próbkach gleby. Zawartości związków fosforu, potasu i magnezu w glebie okazały się zróżnicowane. Występowało także lokalne nadmierne zasolenie i zanieczyszczenie gleby siarką z przyczyn antropogenicznych. Brak jednak nadmiernego zanieczyszczenia gleby związkami WWA oraz metalami ciężkimi. Zanotowano lokalnie podwyższone zawartości niektórych metali w glebie. W podsumowaniu stwierdzono potrzebę wapnowania oraz prowadzenia działań agrotechnicznych dla zwiększenia zasobności i żyzności gleby. Jako ważne czynniki jakości gleby w pierwszej kolejności określono zakwaszenie gleby oraz niedostatek próchnicy, następnie zaś udział potencjalnie toksycznych zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: monitoring, zanieczyszczenie gleby, Lubelszczyzna

ASSESSMENT OF SOIL CONTAMINATION IN THE LUBELSKIE PROVINCE BASED ON MONITORING STUDIES

ABSTRACT

The paper presents the evaluation of soil contamination changes in the years 1995–2010 in the Lubelskie province based on the results of monitoring studies. The principles, objectives and tasks of soil monitoring, both nationally and locally, were presented. The types and sources of soil contamination, the methods for determining these pollutants, and the procedure for determining soil samples for analysis are discussed. The results of the content of particular elements and compounds in soil samples were subsequently presented and evaluated. The content of phosphorus, potassium and magnesium compounds in the soil proved to be diverse. There was also local excessive salinity and pollution of the soil with sulfur due to the anthropogenic causes. However, there is no excessive contamination of the soil with PAHs and heavy metals. The elevated content of some metals in soil have been reported locally. In summary, the need for liming and farming activities to increase the soil abundance and fertility has been identified. The identified important factors of soil quality included acidification and humus deficiency, as well as the share of potentially toxic impurities.

Keywords: monitoring, soil contamination, Lubelskie province

WPROWADZENIE

Monitoring jakości gleby należy do podsystemu będącego integralną częścią Państwowego Monitoringu Środowiska, którego celem jest uzyskanie danych na temat aktualnego stanu poszczególnych elementów środowiska Polsce [Program

Państwowego Monitoringu Środowiska... 2015]. Ocena ta jest podstawą zintegrowanej prognozy stanu elementów środowiska, a także analizy przyczynowo-skutkowej określającej wpływ działalności społeczno-gospodarczej człowieka na środowisko. Konieczność prowadzenia monitoringu jest podyktowana zapisami art. 26 usta-

wy – Prawo ochrony środowiska [Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627]. Kryterium ocen określone zostały w delegacji w art. 105 przytoczonej ustawy oraz w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi [Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359]. Dzięki monitorin- gowi możliwe jest śledzenie zmian zachodzących w glebie pod wpływem działalności rolniczej i pozarolniczej człowieka.

Monitoring jakości gleb rolniczych w obszarze Polski prowadzony jest przez Instytut Upraw i Nawożenia Gleb w Puławach. Pomiary parametrów gleby wykonywane są w wyznaczonych 216-tu punktach pomiarowych (rys. 1). Są one dobrane w ten sposób, aby przedstawiały obszary typowo rolnicze o dużym stopniu intensyfikacji rolnictwa, oraz aby reprezentowały tereny znajdujące się w obrębie różnego rodzaju zanieczyszczeń. Badania jakości gleby przeprowadzane są w okresach pięcioletnich.

Monitoring krajowy jest wspierany przez Wojewódzkie Inspekcje Ochrony Środowiska (WIOŚ), które prowadzą monitoring lokalny [www.wios.lublin.pl]. Lokalny monitoring umożliwia ocenę zmiany jakości gleby w wyniku działalności człowieka na obszarze województwa. Do głównych zadań monitoringu lokalnego należy:

- określenie stref zanieczyszczeń gleby na podległym terenie,
- wskazanie miejsc zagrożonych, gdzie konieczne jest przeprowadzenie procesów naprawczych i rekultywacyjnych,
- przygotowanie i udostępnienie informacji o obszarach, na których przekroczone są parametry jakości gleby.

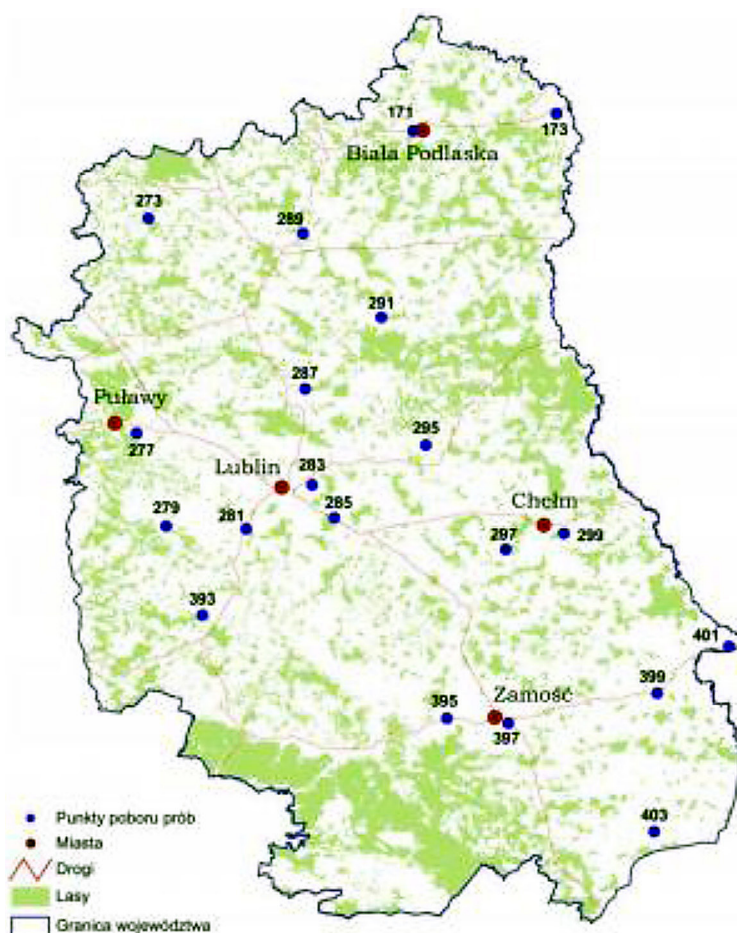
Na terenie województwa lubelskiego zlokalizowano 20 punktów pomiarowych, których rozmieszczenie pokazano na rysunku 2.

Sposób naprawy uszkodzonych terenów określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 czerwca 2008 roku w sprawie rodzajów działań naprawczych oraz warunków i sposobu ich prowadzenia. W przypadku stwierdzenia szkody w środowisku powierzchni ziemi działania naprawcze są określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359]. Podano w nim także wymagane standardy jakości gleby, przy uwzględnieniu pełnionej funkcji w poszczególnych grupach (grupa A: gleby objęte ochroną na mocy ustawy prawo wodne oraz przepisów o ochronie przyrody, grupa B: gleby rolnicze, leśne i zakrzewione, nieużytki, grunty zabudowane i zurbanizowane;



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w celu monitoringu gleb rolniczych na terenie Polski [Monitoring chemizmu gleb ornych..., 2012]

Fig. 1. Distribution of measurement points for agricultural soils monitoring in Poland



Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych dla monitoringu gleb na obszarze województwa lubelskiego [Monitoring chemizmu gleb ornych..., 2012]

Fig. 2. Localization of measurement points for soil monitoring in the Lubelskie voivodship

grupa C: tereny przemysłowe, użytki kopalniane, tereny komunikacyjne).

Celem pracy jest ocena zmian zanieczyszczenia gleby w latach 1995–2010 na terenie Lubelszczyzny w oparciu o wyniki badań monitoringowych prowadzonych przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach oraz Wojewódzką Inspekcję Ochrony Środowiska w Lublinie.

RODZAJE I ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ GLEBY

Prawie 90% zanieczyszczeń środowiska jest gromadzonych w glebie. Najczęściej dostarczane są wraz z opadami atmosferycznymi zawierającymi pyły, wylewami wód powierzchniowych, osadami ściekowymi i kompostami, spływami z dróg, agrochemikaliami, wieloletnimi składowiskami niebezpiecznych substancji, a także w wyniku awarii instalacji przemy-

słowych oraz środków transportu chemikaliów [Sanjay 2017, Baran 2000].

Substancje, które dostają się do gleby mogą następnie ulegać sorpcji, zostać pobrane przez rośliny, ulec rozkładowi mikrobiologicznemu, zostać wymyte w głąb gleby czy ulotnić się z parą wodną. Dalsze przemiany zanieczyszczeń zależą od ich budowy chemicznej. Kationowe metale śladowe najczęściej ulegają zatrzymaniu w powierzchniowej warstwie gleby, co jest przyczyną zmian właściwości chemicznych gleb [Alloway 1990, Filipek et al. 2006]. Nagromadzone w glebie łatwo przyswajalne formy metali ciężkich mogą zostać w dużej części przyswojone przez rośliny. Zanieczyszczenia antropogeniczne gleby pochodzą najczęściej z procesów spalania paliw w celach uzyskania energii, z produkcji w zakładach przemysłowych oraz z transportu [Kabata-Pendias A. 2001, Piotrowska 1995]. Zestawienie najważniejszych zanieczyszczeń gleby wraz z ich źródłami przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Najczęstsze substancje zanieczyszczające glebę i ich źródła [Program państwowego monitoringu środowiska... 2010]**Table 1.** The most common contaminants of soil and their sources

Źródło zanieczyszczeń	Rodzaj zanieczyszczeń
Rafinerie ropy naftowej, zakłady gazyfikacji i upłynniania węgla, szyby naftowe, koksownie	węglowodory alifatyczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, fenole, krezol
Porty, instalacje portowe służące do obsługi paliw płynnych, substancji chemicznych i rud metali	węglowodory alifatyczne, benzyny, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pestycydy, zanieczyszczenia organiczne, metale ciężkie
Zakłady chemicznej obróbki węgla	węglowodory alifatyczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, fenole, krezole, cyjanki
Zakłady tworzyw sztucznych, takich jak: kleje, żywice i polimery	ftalany, fenole, cykloheksan, węglowodory chlorowane
Zakłady produkcji farb, rozpuszczalników i lakierów	węglowodory aromatyczne, węglowodory chlorowane, cynk, ołów, chrom, bar
Stacje i rozdzielnie elektroenergetyczne	polichlorowane bifenylo
Elektrownie konwencjonalne, elektrociepłownie, instalacje do spalania	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, metale ciężkie
Huty żelaza, stali i metali niezależnych	metale ciężkie, cyjanki, fenole, węglowodory alifatyczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
Zakłady ceramiczne	kadm, ołów
Zakłady produkujące artykuły oświetleniowe i pomiarowe	rtęć
Galwanizernie	metale ciężkie i cyjanki
Spalarnie śmieci i pozostałe zakłady służące do likwidacji odpadów niebezpiecznych	pestycydy, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, metale ciężkie
Zakłady produkujące pestycydy, magazyny pestycydów, mogilniki	pestycydy
Zakłady produkujące gumę	ołów, tetrahydrofuran
Garbarnie	chrom
Zakłady produkujące styropian	styren
Stacje paliw, bazy transportowe, stacje obsługi pojazdów, parkingi	węglowodory alifatyczne, oleje mineralne, benzyny, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
Zakłady produkcji i naprawy środków transportu, produkcji silników	węglowodory alifatyczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, metale ciężkie

Większość metali ciężkich, z wyjątkiem molibdeny, jest pobierana przez rośliny przy kwaśnym odczynie gleby. Odczyn alkaliczny gleby przyczynia się do powstawania kompleksowych anionów metali ciężkich. Z kolei wzrost zawartości substancji organicznej w glebach zmniejsza rozpuszczalność metali ciężkich, a tym samym ich dostępność dla roślin [Kabata-Pendias and Pendias 1999, Kaczor et al. 2004]. Ważnym czynnikiem jest również skład granulometryczny gleby, który wpływa na jej właściwości sorpcyjne, jak również decyduje o mobilności i dostępności metali ciężkich [Moraghan and Mascani 1991].

Substancją często zanieczyszczającą glebę i ziemię jest azot mineralny. W glebie najczęściej przybiera on formę amonową NH_4^+ lub azotanową (V) NO_3^- . Ilość i forma występowania azotu mineralnego w glebie jest wskaźnikiem źródła zanieczyszczenia. Stwierdzenie wysokiego poziomu jonów amonowych w glebie świadczy o zanieczyszczeniu organicznym pochodzenia zwierzęcego, z kolei jony azotanowe (V) dowodzą świeżego skażenia gleby. Jony azotanów

(V) i azotanów (III) uznawane są za jedne z najgroźniejszych czynników, które mogą wywierać wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt. Są one łatwo rozpuszczalne w wodzie i nie ulegają procesowi sorpcji w glebie, mogą zatem przenikać do wód gruntowych [Jones 2012, McCarty 2003].

Zwiększenie stężenia azotu amonowego w glebie skutkuje zmniejszeniem się zakresu pH gleby, co wpływa na proces uwalniania glinu z fazy stałej do roztworu glebowego. Przyjmuje on formę monomeryczną ($\text{Al}(\text{OH})_2^+$ oraz $\text{Al}(\text{OH})_2^+$), która jest najbardziej przyswajalna przez rośliny. Zbyt wysokie stężenie glinu powoduje blokowanie kanałów w błonach cytoplazmatycznych, co wpływa negatywnie na możliwości przyswajania wapnia przez rośliny. Przy dużej zawartości glinu w glebie może zachodzić zjawisko wytrącania się nierozpuszczalnych fosforanów glinu. Zjawisko to uniemożliwia przyswajanie fosforu przez rośliny. Wysokie stężenie glinu w glebie powoduje pogorszenie rozwoju systemów korzeniowych roślin i zahamowanie wzrostu roślin [Kochian et al. 2003].

Niebezpiecznym zjawiskiem jest również gromadzenie się w glebie metali ciężkich, które ulegają kumulacji w warstwie powierzchniowej. Ich wysokie stężenie przyczynia się do degradacji chemicznych właściwości gleb oraz do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych. W przypadku obecności w glebie metali ciężkich w formie rozpuszczonej zachodzi zjawisko pobierania przez rośliny i gromadzenie w tkankach roślinnych. Przystawanie metali ciężkich jest zwiększone przy odczynie gleb w zakresie pH 6,5–7,5 [Giller et al. 2009, Siebielec and Chaney 2006].

Zdolność wiązania się metali ciężkich z glebami lessowymi można uszeregować następująco: $Pb > Cu > Cr > Zn > Ni > Co > Cd$. Wynika z tego, że najslabiej wiązany jest kadm, dzięki czemu może on zostać najszybciej pobrany przez rośliny [Stuczynski et al. 2003].

Najczęstszym źródłem zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi są nawozy mineralne [Terelak et al. 1997]. Najbardziej zanieczyszczają nawozy fosforowe, następnie wapniowe, potasowe oraz azotowe. Częstymi i bardzo niebezpiecznymi źródłami zanieczyszczeń gleb są również wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Są to najpowszechniejsze i najbardziej trwałe zanieczyszczenia pochodzenia organicznego. WWA dostarczane są do środowiska przez produkty niepełnego spalania paliw kopalnych, lotne pyły i popioły będące produktami spalania paliw lub utylizacji odpadów. Źródłem WWA jest przede wszystkim przemysł ciężki bazujący na przeróbce węgla i ropy naftowej, a także transport samochodowy, kotły grzewcze, spalarnie odpadów miejskich i przemysłowych. Źródła WWA mogą mieć również pochodzenie naturalne, z wybuchów wulkanów, pożarów lasów, z procesów przemian prowadzonych przez bakterie, glony i rośliny wyższe. WWA są silnie mutagenne i toksyczne, jednak dzięki słabej rozpuszczalności w wodzie, niemal w 90% są deponowane w glebach [Samanta et al. 2002].

METODYKA POBORU I OZNACZANIA PRÓBEK GLEBY

Metody oznaczania ilościowego zanieczyszczeń w glebie określone są przez polskie normy oraz normy międzynarodowe (ISO). W przypadku braku wytycznych dla danego oznaczenia przyjęło się stosowanie metod opisanych w literaturze naukowej.

Procedura oznaczania próbek gleby obejmuje kilku etapów:

- pobranie próbek,
- przechowywanie,
- wstępne przygotowanie, czyli zateżenie lub poddanie analitu przemianom, które pozwolą uzyskać trwałą postać,
- analiza właściwa,
- obróbka danych.

Do badań pobiera się od 15 do 20 pojedynczych próbek za pomocą stalowej sondy glebowej z poziomu orno-próchniczego (0–20 cm) z powierzchni o wymiarach 10×10 m. Próbkę pojedynczą łączy się w próbkę zbiorczą, reprezentatywną dla danego punktu pomiarowego.

W celu przeprowadzenia badania należy wyznaczyć miejsce poboru próby, czas jej trwania, określić częstotliwość i technikę pobierania, sposób postępowania z pobranymi próbkami oraz wybór odpowiedniej metody analitycznej. Próbkę należy przechowywać we właściwie dobranych naczyniach. Wielkość próby powinna umożliwić co najmniej dwukrotne przeprowadzenie wszystkich zaplanowanych metod analitycznych i oznaczeń.

Stabilizację składu można uzyskać przez dodanie odpowiednich ilości środków utrwalających, które zmniejszają lub zatrzymują aktywność biologiczną organizmów obecnych w próbce, umożliwiają usunięcie adsorpcji składników próbek na ścianach naczyń, ułatwiają się, rozkład termiczny, reakcje chemiczne i wiele innych. Analizę najlepiej jest przeprowadzać bezpośrednio po pobraniu próbki, a w przypadku braku takiej możliwości konieczne jest przechowywanie próbek w szczelnie zamkniętych pojemnikach w ciemności i schłodzone do temperatury poniżej 0 °C. Przed przeprowadzeniem właściwej analizy wymagane jest, aby próbkę wysuszyć w suszarce w temperaturze nie wyższej niż 40 °C. W następnym etapie należy rozdrobnić glebę do wielkości ziaren poniżej 1–2 mm oraz homogenizować.

Zastosowanie metody analitycznej wymaga rozdzielania całkowitego lub częściowego oznaczanych składników. W tym celu próbki poddawane są frakcjonowaniu i zagęszczaniu. Wymienione zabiegi umożliwiają przeprowadzenie oznaczenia ilościowego. Proces zagęszczenia przyczynia się także do zwiększenia stabilności analitu, co daje możliwość przechowywania próbek przez dłuższy czas.

Do oznaczenia zawartość metali ciężkich konieczna jest mineralizacja próbek gleby. Mi-

neralizacja jest zespołem procesów, w rezultacie których związki organiczne podlegają przekształceniu do związków mineralnych, takich jak: CO_2 , H_2O , NH_3 i innych. Proces ten może być prowadzony na mokro lub na sucho. Przy mineralizacji na mokro konieczne jest zastosowanie mieszaniny jednego lub kilku kwasów mineralnych, mogą to być np. HNO_3 , H_2SO_4 , HClO_4 oraz związki mające właściwości utleniające, np. H_2O_2 . Mineralizacja na mokro może być przyspieszona przez podwyższenie temperatury procesu, wykorzystanie promieniowania UV, łaźni ultradźwiękowej, energii mikrofalowej, zastosowanie mineralizacji ciśnieniowej.

Proces mineralizacji na sucho wymaga spalania, mineralizacji niskotemperaturowej w plazmie tlenowej i spopielenia. Również sprawdza się tutaj ekstrakcja sekwencyjna. Ekstrakcja jest wspomagana przez zastosowanie łaźni ultradźwiękowej, podniesienie ciśnienia i temperatury, skorzystanie z fal mikrofalowych.

Po odparowaniu ekstrakcyjne koncentraty śladów są analizowane spektrofotometrycznie lub przy użyciu metody absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) czy emisji spektrometrii atomowej z indukcyjnie sprzężoną plazmą (ICP-AES). Oznaczenia należy wykonać zgodnie z poszczególnymi normami:

- zanieczyszczenia nieorganiczne – PN-ISO 11464:1999,

- zawartość metali – PN-ISO 11466:2002, PN-ISO 11047:2001,
- zawartość rtęci – ISO 16771:2004,
- zawartość arsenu – ISI/DIS 20280,
- zawartość cyjanków wolnych i związków kompleksowych – ISO 11262:2003.

Kryteria oceny zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, jak również substancjami organicznymi są regulowane Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi [Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359]. Podane zostały dopuszczalne wartości zanieczyszczenia gleby, uwzględniające trzy rodzaje gruntów, według kryterium aktualnego i planowanego sposobu użytkowania. Monitoring stosuje graniczne zawartości dla grupy B, będącej gruntami do użytku rolnego, z wyłączeniem gruntów pod stawami i rowami, gruntów zalesionych, zadrzewionych i zakrzewionych, nieużytków, gruntów zabudowanych, zurbanizowanych, ale z wyłączeniem gruntów obszarów przemysłowych, użytków kopalnych, jak również terenów komunikacyjnych.

Wartości graniczne zawartości ołowiu, cynku, miedzi, niklu i kadmu dla różnych typów gleb przedstawiono w tabeli 2, gdzie: gleba typu *a* oznacza gleby bardzo lekkie niezależnie od ich pH oraz gleby lekkie bardzo kwaśne, kwaśne i lekko kwaśne; typ gleby *b*, oznacza gleby

Tabela 2. Wartości graniczne zawartości metali śladowych w powierzchniowej warstwie gleby [Stan środowiska w Polsce, 2014]

Table 2. Limit values of the trace metal content in the surface soil

Metal	Grupa gleb	Stopień zanieczyszczenia gleb					
		0	I	II	III	IV	V
mg·kg ⁻¹ gleby							
Ołów	a	30	70	100	500	2500	>2500
	b	50	100	250	1000	5000	>5000
	c	70	200	500	2000	7000	>7000
Cynk	a	50	100	300	700	3000	>3000
	b	70	200	500	1500	5000	>5000
	c	100	300	1000	3000	8000	>8000
Miedź	a	15	30	50	80	300	>300
	b	25	50	80	100	500	>500
	c	40	70	100	150	750	>750
Nikiel	a	10	30	50	100	400	>400
	b	25	50	75	150	300	>600
	c	50	75	100	300	1000	>1000
Kadm	a	0,3	1	2	3	5	>5
	b	0,5	1,5	3	5	10	>10
	c	1,0	3	5	10	20	>20

lekkie o odczynie obojętnym; gleby średnie bardzo kwaśne i kwaśne oraz gleby ciężkie bardzo kwaśne i kwaśne; gleby mineralno-organiczne bez względu na pH; typ gleby *c* oznacza gleby średnie i ciężkie słabo kwaśne lub obojętne; gleby organiczne.

Z kolei poszczególne stopnie zanieczyszczenia oznaczają:

- stopień 0 – zawartość naturalna, gleby niezanieczyszczone, o naturalnych zawartościach metali śladowych, gleby tego typu mogą być przeznaczone pod wszystkie rodzaje upraw ogrodniczych i rolniczych, zgodnie z zasadami racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej,
- stopień I – zawartość podwyższona, gleby nie są zanieczyszczone, nie zaleca się uprawy warzyw z przeznaczeniem na przetwory dla dzieci,
- stopień II – gleby słabo zanieczyszczone, przy glebach tego typu istnieje obawa chemicznego zanieczyszczenia roślin, dlatego należy wyłączyć z upraw przede wszystkim niektóre uprawy ogrodnicze, jak np. sałata, szpinak, kalafior, na tego typu glebach można uprawiać rośliny zbożowe, okopowe i pastewne,
- stopień III – gleby średnio zanieczyszczone, wszystkie uprawy na glebach tego typu narażone są na skażenie, można jedynie uprawiać rośliny zbożowe, okopowe i pastewne pod warunkiem okresowej kontroli poziomu metali w konsumpcyjnych częściach roślin, na glebach tego typu zalecane są uprawy roślin przemysłowych i traw nasiennych,
- stopień IV – gleby silnie zanieczyszczone, gleby tego typu powinny być wyłączone z produkcji rolniczej oraz zadarnione lub zadrzewione, zalecane jest na glebach o lepszej jakości uprawa roślin przemysłowych, takich jak: len, konopie, wiklina, na glebach tego typu dopuszcza się również produkcję mate-

riału siewnego zbóż i traw oraz ziemniaków z przeznaczeniem dla przemysłu spirytusowego (na spirytus jako dodatek do paliwa) i rzepaku na olej techniczny, względem gleb stopnia IV zaleca się przeprowadzenie zabiegów rekultywacyjnych, a głównie wapnowanie i wprowadzania substancji organicznej,

- stopień V – gleby bardzo silnie zanieczyszczone, należy wyłączyć je z produkcji rolniczej i poddać zabiegom rekultywacyjnym, można na nich uprawiać jedynie len, konopie oraz rzepak (na olej techniczny), a w dolinach rzek – wiklinę.

Opracowano klasyfikację stanu zanieczyszczeń użytków rolnych przez wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (tab. 3). Jako kryterium przyjęto 13 związków, które charakteryzują się zwiększoną trwałością w glebie oraz silniejszymi od innych właściwościami toksycznymi i mutagennymi ([fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, 59 benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-cd)piren, benzo(g,h,i)perylene (tab. 3).

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi wzięto pod uwagę zawartość w glebie 9 związków z grupy WWA; naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten. Jako wartość graniczną przyjęto dla gleb użytkowanych rolniczo zawartość $\Sigma 9\text{WWA} = 1000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (w warstwie powierzchniowej 0–30 cm) wyróżniając tylko dwie klasy gleb: niezanieczyszczone ($\Sigma 9\text{WWA} \leq 1000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz zanieczyszczone ($\Sigma 9\text{WWA} > 1000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Jako dodatkowe kryterium Rozporządzenie wprowadza wartości dopuszczalne dla poszczególnych WWA, która w przypadku benzo(a)pirenu wynosi $30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a dla pozostałych węglowodorów wynosi $100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tabela 3. Klasy zanieczyszczenia gleb przez WWA [Stan środowiska w Polsce, 2014]

Table 3. Classes of soil contamination by PAHs

Zawartość WWA w glebie [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	Stopień zanieczyszczenia	Ocena zanieczyszczenia gleby
<200	0	nie zanieczyszczone (zawartość naturalna)
200–600	1	nie zanieczyszczone (zawartość podwyższona)
600–1000	2	mało zanieczyszczone
1000–5000	3	zanieczyszczone
5000–10000	4	silnie zanieczyszczone
>10000	5	bardzo silnie zanieczyszczone

OCENA WYNIKÓW POMIARÓW

Wyniki zawartości poszczególnych pierwiastków i związków w próbkach gleby, pobranych na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 w ramach wykonanych badań monitoringowych, przedstawiono w tabelach 4–9.

Wyniki zawartości węglanów w większości lokują się poniżej ich wykrywalności (tab. 4). W jednym punkcie pomiarowym (miejscowość Józefin, gmina Kamień, powiat chełmski) stwierdzono dużą zawartość węglanów w próbkach glebowych wynoszącą od 57,94% do 60,97%. Zawartość próchnicy w próbkach gleby wynosiła najczęściej od 1,5% do 2,5%. Wyniki te wskazują na stopniowe zwiększanie udziału próchnicy w glebie, na przykład w miejscowość Świdniczek, gmina Wólka, powiat lubelski. Dużą zasobność w próchnicę stwierdzono w miejscowości Józefin, gmina Kamień, powiat chełmski, gdzie odnotowany udział wynosił od 5,05% do 5,79%.

Zawartość węgla organicznego wynosiła w zakresie od 0,58% do 3,33% (tab. 4). Średnia zawartość tego pierwiastka nie ulegała dużym wahaniom w analizowanym okresie. Podobnie nie stwierdzono znaczących zmian całkowitej zawartości azotu ogólnego. Średnie udziały zawierają

się w przedziale od 0,09% do 0,12%. Największe zawartości azotu ogólnego w glebie odnotowano w miejscowości Józefin, gmina Kamień, powiat chełmski i wynosiły od 0,315% do 0,798%.

W analizowanym okresie średni stosunek węgla organicznego do azotu kształtował się w zakresie 9,6–12,6. Uzyskany wynik jest zbliżony do wartości średnich krajowych, które wynoszą od 10,4 do 11,9. Wartości przewodności elektrolitycznej w glebie nie zmieniały się znacząco w województwie lubelskim i zawierały się w granicach średnio od 8,3 do 10,4 mS·cm⁻¹. Parametry zasolenia gleby w przeliczeniu na zawartość chlorku potasu w latach 1995–2015 zawierały się w przedziale 7,1–58,9 mg KCl·100g⁻¹, zaś średnia zasolenia wynosiła 24,5 mg KCl·100g⁻¹.

Zawartość przyswajalnego fosforu mieściła się w szerokim zakresie od 1,70 do 156,64 mg P₂O₅·100g⁻¹ (tab. 5). W rozpatrywanym 15-leciu średnia zawartość fosforu w glebie w większości punktów pomiarowych systematycznie zwiększała się. Największą zawartość przyswajalnego fosforu odnotowano w miejscowości Kalinowice, gmina Zamość, powiat zamojski. Najniższą zawartość natomiast stwierdzono w miejscowości Józefin, gmina Kamień, powiat chełmski. Duży spadek zawartości fosforu w próbkach

Tabela 4. Zawartość węglanów, próchnicy, węgla organicznego, azotu ogólnego, przewodności elektrycznej właściwej i zasolenia w glebach na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornych... 2008, 2012]

Table 4. Content of carbonates, humus, organic carbon, total nitrogen, conductivity of electricity and salinity in soils in the Lubelskie voivodship in 1995–2010

Nr punktu	Węglany [% CaCO ₃]				Próchnica [%]				Węgiel organiczny [%]				Azot ogólny [% N]				Proporcja C:N				Przewodność elektryczna właściwa [mS·cm ⁻¹]				Zasolenie [mg KCl·100 g ⁻¹]				
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	
173	-	-	-	-	2,30	2,29	2,26	1,00	1,33	1,33	1,31	0,58	0,075	0,068	0,063	0,058	17,7	19,5	20,8	10,0	2,78	3,50	5,60	3,25	7,10	9,20	14,80	8,57	
273	-	-	-	-	1,48	1,51	1,69	1,33	0,86	0,87	0,98	0,77	0,072	0,082	0,076	0,056	11,9	10,6	12,9	13,8	4,40	3,70	3,50	3,10	11,60	9,80	9,20	8,18	
277	-	1,46	2,31	2,24	2,10	1,90	1,97	1,90	1,22	1,14	1,14	1,10	0,150	0,138	0,136	0,143	8,1	8,3	8,4	7,7	14,19	18,60	17,60	22,32	37,50	49,10	45,40	58,92	
279	-	-	-	0,04	1,96	1,69	1,46	1,79	1,14	0,98	0,85	1,04	0,121	0,098	0,087	0,119	9,4	10,0	9,8	8,7	9,86	8,30	6,50	3,84	25,40	21,90	17,10	10,13	
281	-	-	-	-	1,89	1,78	1,92	2,21	1,10	1,03	1,11	1,28	0,120	0,111	0,114	0,130	9,2	9,3	9,7	9,8	8,54	7,10	5,00	7,21	22,00	18,70	13,30	19,04	
283	-	-	-	0,46	1,07	1,20	1,61	1,72	0,62	0,70	0,93	1,00	0,075	0,070	0,062	0,118	8,3	10,0	15,0	8,5	5,98	7,40	6,70	10,69	15,40	14,60	17,80	28,21	
285	-	-	-	-	1,62	1,82	1,87	1,24	0,94	1,05	1,08	0,72	0,095	0,078	0,108	0,090	9,9	13,5	10,0	8,0	3,34	5,30	6,30	7,85	8,60	14,60	16,60	20,73	
287	-	-	-	-	1,62	1,51	1,62	1,69	0,94	0,87	0,94	0,98	0,101	0,087	0,076	0,080	9,3	10,0	12,4	12,3	9,06	7,40	6,70	3,64	23,30	19,60	17,80	9,60	
289	-	-	-	0,08	1,78	1,85	1,49	1,67	1,03	1,07	0,86	0,97	0,085	0,080	0,067	0,087	12,1	13,4	12,8	11,1	4,35	3,50	5,50	5,63	11,00	9,20	14,50	14,85	
291	-	-	-	-	1,75	1,59	1,42	1,19	1,02	0,92	0,82	0,69	0,063	0,070	0,080	0,072	16,2	13,1	10,2	9,6	9,57	13,30	11,40	5,59	24,20	35,10	30,10	14,75	
295	-	-	-	-	1,69	1,49	1,36	1,79	0,98	0,86	0,79	1,04	0,080	0,068	0,072	0,115	12,2	12,6	11,0	9,0	9,68	8,40	6,70	9,66	24,90	22,20	17,80	25,49	
297	-	-	-	-	0,29	1,41	1,45	1,96	1,98	0,82	0,84	1,14	1,15	0,073	0,076	0,086	0,112	11,2	11,0	13,2	10,3	10,56	8,10	7,60	9,02	27,20	21,90	20,10	23,82
299	57,94	60,97	60,09	59,87	5,75	5,68	5,05	5,79	3,33	3,29	2,93	1,36	0,324	0,298	0,315	0,412	10,3	11,0	9,3	8,7	21,12	28,10	70,90	19,67	54,40	74,20	55,20	51,92	
393	-	-	-	-	1,69	1,56	1,48	1,28	0,98	0,90	0,86	0,74	0,110	0,091	0,086	0,078	8,9	9,9	10,0	9,5	21,12	21,40	18,10	8,07	54,40	56,50	47,70	21,30	
395	0,21	0,14	0,63	-	1,97	1,68	1,66	1,45	1,14	0,97	0,96	0,84	0,100	0,089	0,100	0,101	11,4	10,9	9,6	8,3	22,00	21,10	18,10	9,73	56,60	54,40	47,90	25,68	
397	-	-	-	0,08	1,71	1,85	1,67	1,90	0,99	1,07	0,97	1,10	0,080	0,075	0,072	0,123	12,4	14,3	13,4	8,9	3,26	2,80	4,20	8,27	8,40	7,40	11,00	21,83	
399	-	-	-	-	1,45	1,64	2,04	1,90	0,84	0,95	1,18	1,10	0,042	0,054	0,052	0,115	20,0	17,6	22,7	9,6	3,52	2,60	3,70	4,90	9,10	6,80	9,80	12,93	
401	0,29	0,40	0,28	-	1,57	1,51	1,62	1,53	0,91	0,87	0,94	0,89	0,078	0,060	0,064	0,102	11,7	14,5	14,7	8,7	13,73	16,00	11,10	7,46	35,40	42,20	29,30	19,70	
403	1,30	0,98	-	0,12	2,59	2,42	2,29	2,53	1,50	1,40	1,32	1,47	0,100	0,104	0,089	0,154	15,0	13,5	14,8	9,5	19,36	17,70	12,00	10,94	49,80	46,70	31,60	28,88	
171	-	-	-	-	1,78	1,83	1,66	1,66	1,03	1,06	0,96	0,96	0,100	0,107	0,087	0,094	10,3	9,9	11,0	10,2	3,54	3,70	5,60	4,34	9,30	9,80	14,80	11,45	

Tabela 5. Zawartość fosforu, potasu, magnezu i siarki w glebach na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornycych... 2008, 2012]**Table 5.** Content of phosphorus, potassium, magnesium and sulfur in soils in the Lubelskie voivodship in 1995–2010

Nr punktu	Fosfor przyswajalny [mg P ₂ O ₅ ·100 g ⁻¹]				Potas przyswajalny [mg K ₂ O·100 g ⁻¹]				Magnez przyswajalny [mg Mg·100 g ⁻¹]				Zawartość siarki ogólnej [%]				Siarka przyswajalna [mg S-SO ₄ ·100 g ⁻¹]			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
287	25,00	21,00	25,40	4,10	16,10	14,00	16,00	4,40	4,60	3,40	3,40	1,70	0,032	0,028	0,026	0,016	1,25	1,08	1,13	0,73
289	13,00	10,90	9,80	14,40	15,00	10,10	10,20	17,60	4,20	3,60	5,00	12,00	0,018	0,018	0,016	1,021	0,38	0,25	0,60	0,43
291	14,70	22,20	21,40	10,40	13,90	20,80	22,50	10,40	6,20	5,20	4,60	4,90	0,018	0,014	0,016	0,012	0,93	0,78	1,05	0,77
295	8,40	7,20	4,70	7,00	21,20	18,90	11,40	23,70	3,60	3,30	3,90	7,30	0,031	0,028	0,030	0,018	5,00	4,60	4,38	1,51
297	24,20	18,30	19,70	36,00	10,90	11,60	11,10	19,50	3,00	3,00	4,60	4,80	0,026	0,029	0,025	0,016	1,25	1,25	1,13	0,92
299	2,60	1,70	4,80	3,60	17,10	15,40	22,00	37,80	6,40	4,20	5,00	6,30	0,069	0,053	0,066	0,079	2,25	2,25	1,95	1,28
393	9,00	6,70	6,40	8,60	11,80	7,70	9,20	6,30	7,80	8,00	7,60	1,70	0,029	0,020	0,019	0,010	2,50	2,65	2,63	1,03
395	21,40	17,40	25,80	14,60	20,90	16,30	13,90	12,50	10,60	8,20	11,80	9,70	0,031	0,028	0,026	0,021	0,75	1,00	1,08	0,81
397	10,40	8,20	117,00	155,00	4,70	6,60	31,80	32,10	6,40	8,80	10,50	8,80	0,029	0,029	0,026	0,027	1,00	0,75	1,25	1,20
399	14,80	10,70	13,60	10,60	15,60	13,20	15,40	4,50	10,20	12,80	11,60	6,50	0,026	0,028	0,025	0,017	1,38	1,00	1,38	0,88
401	59,50	46,20	38,60	23,00	8,50	11,60	14,80	25,00	13,60	12,00	10,70	5,00	0,025	0,020	0,021	0,013	1,50	1,30	1,38	0,97
403	28,00	26,20	21,80	22,40	40,10	32,80	45,60	21,10	11,60	10,80	10,20	9,90	0,037	0,028	0,025	0,022	1,75	2,05	1,88	1,27
51	25,00	30,60	27,00	18,50	23,60	19,60	19,60	14,80	6,70	5,80	5,50	7,20	0,015	0,020	0,015	0,012	0,75	0,60	1,00	1,56
53	10,00	9,20	6,30	11,60	2,10	3,60	1,60	2,80	8,40	6,60	6,20	8,00	0,026	0,020	0,015	0,007	0,50	0,38	0,88	0,55
59	5,60	8,70	10,20	12,20	6,50	5,00	5,10	2,30	0,60	0,80	0,90	0,54	0,011	0,012	0,009	0,010	0,63	0,75	0,63	0,67
61	8,50	10,80	9,80	10,60	20,20	22,80	21,20	18,00	6,80	7,60	7,50	8,00	0,012	0,016	0,014	0,016	1,25	1,00	1,13	1,00
63	7,80	12,90	16,40	16,60	7,90	15,30	11,40	14,30	8,90	6,80	6,20	6,10	0,022	0,018	0,016	0,016	1,12	0,98	1,00	0,66
65	30,80	15,40	15,80	11,20	29,40	19,80	14,60	10,90	3,60	2,40	3,00	2,50	0,012	0,016	0,014	0,009	0,88	0,80	0,88	0,94
69	18,30	14,60	14,20	10,00	17,20	13,30	11,10	10,40	4,40	4,10	3,80	3,40	0,017	0,013	0,010	0,012	1,87	1,55	1,40	0,97
71	15,00	11,00	9,50	10,40	13,90	10,40	10,20	5,90	3,90	3,00	2,50	2,20	0,011	0,016	0,014	0,011	2,00	1,87	1,80	1,10
117	17,00	15,80	12,00	16,40	35,00	29,40	28,90	20,40	7,40	6,00	5,80	11,90	0,012	0,012	0,011	0,019	1,00	0,75	0,70	0,90
123	8,80	8,40	6,00	42,00	14,50	10,10	7,50	18,40	3,70	2,40	2,60	1,60	0,010	0,014	0,010	0,021	2,12	1,77	1,61	1,64
125	9,00	8,40	6,50	15,80	9,50	12,00	10,20	19,00	10,70	9,00	12,00	13,00	0,020	0,016	0,019	0,015	1,25	1,25	1,11	1,48
133	5,60	3,90	7,80	6,80	8,30	9,50	10,20	11,60	7,70	6,70	6,00	12,40	0,020	0,019	0,019	0,018	1,38	1,65	1,13	1,02
135	14,20	10,40	16,70	20,10	14,50	10,10	8,20	12,80	3,60	3,10	3,80	1,80	0,022	0,020	0,024	0,019	2,12	1,95	1,88	1,33

glebowych odnotowano w miejscowości Chlewiska, gmina Lubartów, powiat lubartowski – od wartości powyżej 20 mg P₂O₅·100g⁻¹, do poniżej 10 mg P₂O₅·100g⁻¹.

Średnie zawartości potasu przyswajalnego kształtowały się w przedziale od 13,05 do 16,45 mg K₂O·100g⁻¹ (tab. 5). W czterech punktach pomiarowych w rozpatrywanym okresie odnotowano zawartość potasu poniżej 12,00 mg K₂O·100g⁻¹. W miejscowości Ulhówek, gmina Ulhówek, powiat tomaszowski odnotowano wartość 11,6 mg K₂O·100g⁻¹. W miejscowości Świdniczek, gmina Wólka, powiat lubelski stwierdzono natomiast podwyższenie ilości potasu przyswajalnego w glebie do wartości 25,3 mg K₂O·100g⁻¹.

Średnie zawartości magnezu przyswajalnego w glebach Lubelszczyzny utrzymują się w zakresie od 5,09 do 7,15 mg Mg·100g⁻¹ (tab. 5). Najniższa zawartość tego pierwiastka wynosiła 0,54 mg Mg·100g⁻¹, zaś maksymalna 13,00 mg Mg·100g⁻¹. W analizowanym 15-leciu w wielu punktach pomiarowych średnie zawartości magnezu systematycznie zmniejszały się. W miejscowości Chlewiska,

gmina Lubartów, powiat lubartowski obserwowane zawartości zmniejszały się od 4,6 mg Mg·100g⁻¹ do 1,70 mg Mg·100g⁻¹.

Udział siarki ogólnej w glebie zawierał się w przedziale 0,010–0,079%. Średnia zawartość siarki przyswajalnej natomiast wynosiła od 1,15% do 1,48%. W miejscowości Skowieszyn, gmina Końskowola, powiat puławski oraz miejscowości Nadrybie Dwór, gmina Puchaczów, powiat Łęczyński odnotowano podwyższone zawartości tego pierwiastka z przyczyn antropogenicznych.

Średnia zawartość „13WWA” w latach 1995–2010 nie ulegała znaczącym wahaniom utrzymując się w granicach od 241,9 do 458,6 µg·kg⁻¹ (tab. 6). Należy zauważyć, że w wielu punktach pomiarowych odnotowano systematyczne zmniejszenie zawartości tego wskaźnika, a zawartości wyższe niż 1000 µg·kg⁻¹ (klasyfikujące się jako gleby zanieczyszczone) rejestrowano tylko w trzech punktach pomiarowych. Podane w tabeli 6 wyniki radioaktywności gleb nie stanowią żadnego zagrożenia dla środowiska w rozpatrywanym okresie oceny.

Tabela 6. Zawartość WWA oraz radioaktywność gleby na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornyc... 2008, 2012]**Table 6.** PAH content and soil radioactivity in the Lubelskie voivodship in 1995–2010

Nr punktu	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne „13WWA” [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]				Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne „9WWA” [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]				Radioaktywność [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$]			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
171	521.0	394.0	627.0	526.5	302.9	299.3	421.4	375.4	451	512	536	469
173	759.0	458.0	246.0	295.9	542.0	522.9	177.0	243.7	232	298	246	402
273	98.0	137.0	163.0	120.0	71.3	75.0	116.5	173.0	253	233	230	428
277	322.0	232.0	217.0	209.7	252.7	246.4	149.7	207.9	722	678	651	752
279	121.0	165.0	134.0	318.0	96.5	102.2	101.0	308.0	556	566	565	527
281	506.0	438.0	478.0	446.0	351.3	346.1	334.2	370.4	790	711	693	809
283	194.0	438.0	358.0	517.3	146.2	162.7	255.9	392.1	483	366	449	557
285	261.0	907.0	295.0	269.0	197.0	241.4	214.2	282.0	687	730	728	817
287	874.0	207.0	177.0	212.2	717.4	656.8	129.1	186.6	207	252	294	348
289	1070.0	411.0	1041.0	662.6	664.9	657.6	701.6	423.5	383	344	358	420
291	194.0	59.0	215.0	212.0	142.5	135.9	149.9	205.0	571	497	566	474
295	288.0	272.0	394.0	883.8	204.6	204.0	268.7	579.8	577	482	446	460
297	486.0	345.0	730.0	1163.1	337.0	334.1	474.1	837.3	210	200	181	234
299	318.0	574.0	919.0	797.6	221.5	229.9	648.8	700.1	216	273	235	286
393	277.0	219.0	142.0	102.9	204.0	199.0	102.0	92.6	764	683	715	769
395	332.0	213.0	171.0	122.0	245.9	235.9	122.1	137.0	857	746	745	709
397	384.0	272.0	483.0	417.0	274.9	270.8	340.1	426.0	734	675	739	750
399	1295.0	748.0	854.0	392.0	912.5	893.3	605.3	343.0	787	787	751	764
401	333.0	162.0	201.0	226.1	235.3	225.9	144.9	213.1	827	736	771	632
403	538.0	202.0	269.0	203.0	416.9	384.5	202.0	205.0	687	787	771	803

Zawartość manganu w glebach województwa lubelskiego określono w zakresie 132–557 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7). Pierwiastek ten nie wpływa na zanieczyszczenie gleby, niezależnie od jego zawartości. Zawartości kadmu określono w przedziale od 0,10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 1,04 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7). Wartości tego pierwiastka miały tendencję malejącą w rozpatrywanym 15-leciu. Stwierdzono także systematyczne zmniejszanie się zawartości miedzi w glebach województwa lubelskiego. Średnie zawartości wynosiły od 5,44 do 6,68 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W przypadku chromu odnotowane maksymalne zawartości mieściły się w przedziale 22,80–25,60 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nie stwierdzono przekroczenia wartości progowej tego pierwiastka, wynoszącej 150 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartości niklu wynosiły średnio od 6,49 do 8,37 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8). Na podstawie przedstawionych wyników stwierdzono, że zawartości niklu w glebach systematycznie zmniejszały się. Podobne rezultaty odnotowano dla pomiarów ołowiu. Zawartości tego pierwiastka wynosiły od 7,2 do 34,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i nie przekraczały wartości dopuszczalnych. Największe zanieczyszczenie ołowiem stwierdzono w miejscowość Rybie, gmina Rejowiec, powiat chełmski.

W glebach województwa lubelskiego prowadzono także pomiary zawartości pierwiastków śladowych (kobaltu, wanadu, litu, berylu, baru i strontu) w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornyc... 2008, 2012]. Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych zawartości tych pierwiastków, a także nie zaszły znaczące zmiany ich zawartości w glebie. W wielu punktach pomiarowych odnotowano malejące zawartości pierwiastków śladowych w kolejnych latach.

PODSUMOWANIE

Prowadzone badania monitoringowe gleby na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 umożliwiły określenie zróżnicowania zawartości przyswajalnych form składników nawozowych, szczególnie związków fosforu, potasu i magnezu. Stwierdzono systematyczne zwiększanie zasobności i żyzności gleby spowodowane stosowaniem nawożenia. Nie odnotowano nadmiernego zasolenia oraz zanieczyszczenia gleby siarką, za wyjątkiem obszarów w bezpośrednim sąsiedztwie dużych zakładów przemysłowych.

Dane monitoringowe wskazują na brak nadmiernego zanieczyszczenia gleb związkami

Tabela 7. Zawartość manganu, kadmu, miedzi i chromu w glebach na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornych... 2008, 2012]**Table 7.** Content of manganese, cadmium, copper and chromium in soils in Lubelskie voivodship in 1995–2010

Nr punktu	Całkowita zawartość pierwiastków śladowych															
	Mangan [mg·kg ⁻¹]				Kadm [mg·kg ⁻¹]				Miedź [mg·kg ⁻¹]				Chrom [mg·kg ⁻¹]			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
171	217	295	224	278	0,37	0,30	0,39	0,11	4,8	4,8	4,6	4,0	6,3	7,7	5,8	4,5
173	213	198	198	182	0,32	0,25	0,26	0,10	4,8	3,7	4,6	3,5	4,7	4,8	4,9	3,1
273	132	151	127	259	0,15	0,12	0,10	0,12	1,0	1,3	1,4	16,2	2,0	3,3	3,9	4,3
277	265	303	288	249	0,15	0,20	0,21	0,17	7,0	5,8	6,8	5,4	12,5	11,0	11,3	9,2
279	370	352	342	361	0,23	0,28	0,20	0,28	4,7	4,8	4,3	5,4	9,6	8,2	9,1	7,7
281	502	478	485	435	0,28	0,24	0,20	0,20	5,5	5,3	5,3	6,6	12,0	11,0	10,0	11,2
283	377	284	360	339	0,24	0,31	0,29	0,52	8,2	5,3	6,4	7,8	13,8	9,3	13,6	9,2
285	545	440	472	551	0,25	0,30	0,25	0,17	5,5	8,5	5,7	5,3	10,3	13,8	12,7	10,0
287	162	195	185	220	0,39	0,42	0,46	0,08	4,2	4,7	3,1	2,1	5,2	3,8	5,6	4,1
289	242	214	213	307	0,27	0,28	0,26	0,14	2,8	2,4	2,0	1,9	3,5	3,5	4,0	3,8
291	290	290	306	358	0,25	0,25	0,22	0,19	4,8	5,0	4,2	3,3	8,8	10,0	9,1	4,9
295	280	283	290	129	0,12	0,16	0,12	0,10	6,0	5,3	5,1	5,4	6,8	6,7	9,2	5,8
297	192	165	174	67	0,40	0,46	0,45	0,14	3,3	3,3	2,9	2,8	5,8	6,3	5,8	3,3
299	333	277	270	301	1,04	0,84	0,78	0,69	15,3	13,3	12,3	10,6	22,8	18,8	25,6	14,9
393	477	460	438	462	0,24	0,24	0,18	0,14	6,7	5,8	5,4	2,6	12,7	11,0	10,4	5,0
395	340	357	343	373	0,13	0,18	0,12	0,12	11,2	9,4	8,1	7,6	14,8	11,5	15,7	12,0
397	443	557	442	481	0,23	0,23	0,27	0,20	8,0	6,8	7,5	7,4	12,2	11,0	12,7	10,0
399	332	342	367	413	0,16	0,23	0,18	0,16	8,8	9,7	8,8	7,0	14,0	16,0	13,2	10,7
401	428	388	398	315	0,21	0,24	0,23	0,12	10,2	9,5	9,4	8,6	14,3	13,8	12,5	8,9
403	385	413	385	392	0,19	0,28	0,23	0,16	10,8	10,2	11,5	10,3	17,0	14,8	16,9	12,0

Tabela 8. Zawartość niklu, ołowiu i cynku w glebach na terenie województwa lubelskiego w latach 1995–2010 [Monitoring chemizmu gleb ornych... 2008, 2012]**Table 8.** Content of nickel, lead and zinc in soils in the Lubelskie voivodship in 1995–2010

Nr punktu	Całkowita zawartość pierwiastków śladowych											
	Nikiel [mg·kg ⁻¹]				Ołów [mg·kg ⁻¹]				Cynk [mg·kg ⁻¹]			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
173	2,8	2,4	2,6	1,9	12,7	10,5	9,6	6,8	24,5	21,5	24,0	21,8
273	1,8	2,0	2,3	3,8	8,7	7,2	8,3	9,4	11,5	10,8	11,4	28,6
277	10,0	7,4	9,5	7,6	8,0	9,7	9,2	9,7	24,5	22,5	21,6	26,8
279	7,5	6,4	7,9	6,9	9,1	11,3	11,0	11,4	36,7	36,0	32,5	37,4
2S1	10,5	7,5	9,6	9,2	10,7	9,9	10,6	12,1	30,2	28,2	27,5	31,9
283	14,3	12,9	10,6	8,3	10,9	10,0	12,6	16,9	32,2	32,5	30,6	40,6
283	6,8	7,5	9,3	8,6	11,2	14,0	13,0	12,2	56,7	46,0	48,4	36,0
287	1,8	2,0	2,6	2,0	10,0	8,8	9,5	7,6	25,2	22,8	21,1	11,7
289	3,5	2,2	3,3	2,9	11,2	13,4	9,6	10,4	16,5	19,7	16,9	22,5
291	5,2	5,5	5,3	3,7	9,6	8,7	10,7	9,2	20,8	21,5	20,3	24,7
293	3,7	4,1	6,2	5,0	7,3	7,7	8,1	7,2	16,9	18,0	19,2	17,6
297	3,7	2,6	3,7	2,9	9,6	10,7	9,0	5,7	22,5	23,2	19,1	22,0
299	18,8	19,2	20,6	11,0	34,1	34,2	30,3	16,5	68,3	61,7	68,7	60,7
393	9,8	8,6	7,9	4,8	11,1	10,8	10,9	9,4	27,0	30,0	24,6	19,1
393	12,2	9,2	14,3	10,7	9,2	12,0	11,0	10,7	32,0	31,7	30,2	31,8
397	9,2	8,2	10,9	8,9	10,7	11,5	9,6	12,4	31,5	36,7	38,5	42,4
399	11,3	13,6	10,6	9,0	9,4	10,8	10,3	10,8	30,6	35,0	27,0	30,0
401	12,2	10,5	9,7	7,5	19,1	18,3	16,3	8,9	41,7	38,0	36,0	24,6
403	14,3	12,2	14,6	11,4	9,1	12,0	9,3	14,5	65,0	71,7	70,7	29,5
171	5,2	5,1	5,9	3,7	13,6	11,4	10,5	10,6	29,0	33,3	30,9	31,3

WWA oraz metalami, jak: nikiel, ołów, cynk, mangan, kadm, miedź i chrom. Zaobserwowane lokalnie podwyższone zawartości niektórych metali nie wpływają znacząco na właściwości gleby. W przypadku żadnego z analizowanych pierwiastków śladowych nie obserwowano akumulacji metali w warstwie powierzchniowej gleby.

Wyniki badań monitoringowych gleb na Lubelszczyźnie potwierdzają potrzebę prowadzenia programów wapnowania oraz systemów produkcji i agrotechniki sprzyjających gromadzeniu materii organicznej w glebie. Zakwaszenie oraz niedostatek próchnicy są istotniejszymi czynnikami jakości gleby, niż udział potencjalnie toksycznych zanieczyszczeń.

BIBLIOGRAFIA

1. Alloway B.J. 1990. Soil processes and the behaviour of metals. W: Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glasgow: 7–29.
2. Baran S. 2000. Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Wydawnictwo Akademia Rolnicza w Lublinie.
3. Filipek T., Chwil S., Domańska J., Kaczor S., Kozłowska-Stawska J., 2006. Chemia rolna: podstawy teoretyczne i analityczne. Fotyma M. i S. Mercik. 1995. Chemia rolna. PWN, Warszawa.
4. Giller K.E., Witter E., McGrath S.P. 2009. Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(10), 2031–2037.
5. Jones J.B., 2012. Plant nutrition and soil fertility manual, Second Edition. CRC Press, London/New York.
6. Kabata-Pendias A. 2001. Trace elements in soils and plants. 3 wyd. CRC Press.
7. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
8. Kaczor A., Brodowska M.S., Kowalski G. 2004. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na zawartość siarki w jarych formach pszenicy i rzepaku. *Annales UMCS, Sec. E*, 59 (4), 1847–1853.
9. Kochian L.V., Piñeros M.A., Hoekenga O.A. 2003. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274(1–2), 175–195.
10. McCarty L.B., 2003. Fundamentals of turfgrass and agricultural chemistry. John Wiley & Sons, New Jersey.
11. Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005–2007. Biblioteka Monitoringu środowiska, Warszawa 2008, <http://pwsz.suwalki.pl/documents/16934/36689/Monitoring%20chemizmu%20gleb%20ornych%20Pol-ski%20w%20latach%202005–2007.pdf> (dostęp 20.04.2017).
12. Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2010–2012. Biblioteka Monitoringu środowiska, Warszawa 2012, http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_jakosci_gleb/monitoring_chemizmu_gleb_2010_2012.pdf, (dostęp 20.04.2017).
13. Moraghan J.T., Mascani H.J., 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrients deficiencies and toxicities. In: Mortvedt et al. (Ed.) *Micronutrients in agriculture*. SSSA, Madison, WI, pp. 371–413.
14. Piotrowska M. 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, IUNG, Warszawa, 28.
15. Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 ze zm.
16. Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016–2020. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2015.
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 czerwca 2008 roku w sprawie rodzajów działań naprawczych oraz warunków i sposobu ich prowadzenia (Dz. U. Nr 165, poz. 1359).
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).
19. Samanta S.K., Singh O.V., Jain R.K. 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. *Trends in Biotechnology*. 20(6), 243–248.
20. Sanjay A., Atul K.S., Singh Y.P., 2017. Bioremediation of salt affected soils: An Indian perspective. Springer, New York/London.
21. Siebielec G., Chaney R.L. 2006. Mn fertilizer requirement to prevent Mn deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 163–179.
22. Stan środowiska w Polsce. Raport 2014. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa [online], http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/raporty/GIOS_raport_2014.pdf, (dostęp 20.04.2017).
23. Stuczynski T.I., McCarty G.W. and Siebielec G. 2003. Response of soil microbiological activities to Cadmium, Lead, and Zinc salt amendments. *Journal of Environmental Quality*, 32(4), 1346–1355.
24. Terelak H., Stuczynski T., Piotrowska M., 1997. Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Polish J. Soil Sci.* 30(2), 35–42.
25. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Lublinie, <http://www.wios.lublin.pl> (dostęp 20.04.2017).