

JACEK NIEDŹWIECKI
GRZEGORZ SIEBIELEC
SYLWIA SIEBIELEC

PORADNIK DLA ROLNIKÓW
DOBRE PRAKTYKI GOSPODAROWANIA NA GLEBACH
W OBSZARACH ODDZIAŁYWANIA PRZEMYSŁOWEGO



INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
ul. Czarторыskich 824-100 Puławy
tel. 81 4786 700
e-mail: iung@iung.pulawy.pl www.iung.pl
Dyrektor: *prof. dr hab. Mariusz Matyka*

dr inż. Jacek Niedźwiecki
<https://orcid.org/0000-0003-0667-5060>
Zakład Gleboznawstwa i Analiz Środowiskowych IUNG-PIB
e-mail: jacekn@iung.pulawy.pl
tel. 81 4786 780

Okadka: Adobe FireFly. Krajobraz rolniczy z zakładem przemysłowym w tle.
<https://firefly.adobe.com/>. 18.12.2025. Obraz wygenerowany przez AI.

Opracowanie techniczne: mgr Ewa Decka-Cywińska
Dział Komunikacji Nauki
e-mail: dkn@iung.pulawy.pl
tel. 81 4786 720

**Poradnik został opracowany w ramach realizacji
zadania 2.1 dotacji celowej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2025 r.:**
***Ochrona gleb użytkowanych rolniczo, w tym wsparcie analityczne prac wdrożeniowych
Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady ws. monitorowania gleby i jej odporności***

<https://doi.org/10.26114/por.iung.2025.12.18>

ISBN: 978-83-7562-444-1

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	4
2. Rola gleby w produkcji rolniczej	4
3. Główne zanieczyszczenia gleb na terenach przemysłowych.....	5
4. Zachowanie się zanieczyszczeń w środowisku glebowym.....	5
5. Skutki długotrwałego oddziaływania przemysłu na gleby.....	6
6. Akty prawne dotyczące gleb użytkowanych rolniczo na terenach oddziaływanie przemysłowego	6
7. Praktyki rolnicze zalecane na obszarach oddziaływania przemysłowego dla ograniczania mobilności metali ciężkich	7
8. Zaplanowanie i przeprowadzanie badań gleb w gospodarstwie	11
9. Przeprowadzanie remediacji gleb	12
Podsumowanie	13
Polecana literatura	14

1. WPROWADZENIE

Gleba jest jednym z kluczowych elementów środowiska naturalnego, pełni bowiem funkcje produkcyjną, retencyjną i biologiczną. Szczególne znaczenia nabiera użytkowanie gleb położonych w obszarach oddziaływania przemysłu, zarówno tego bieżącego, jak i historycznego. W wielu regionach Polski przez dziesięciolecia funkcjonowały zakłady przemysłowe, których działalność prowadziła do emisji zanieczyszczeń odkładających się w glebie. Niektóre zanieczyszczenia mogą pozostawać w glebie przez setki lat, zmieniając jej właściwości oraz zwiększając ryzyko przenikania szkodliwych substancji do roślin, wód gruntowych i łańcucha pokarmowego.

Rolnicy gospodarujący na takich terenach stoją przed szeregiem wyzwań, między innymi koniecznością monitorowania jakości gleby, stosowania metod minimalizujących dostępność zanieczyszczeń oraz podejmowania działań prewencyjnych, chroniących zarówno plony, jak i zdrowie ludzi. Niniejszy poradnik ma za zadanie zapewnić kompleksowe, oparte na wiedzy naukowej wskazówki dotyczące dobrych praktyk rolniczych w warunkach podwyższonego ryzyka zanieczyszczenia gleb. W przewodniku opisano najważniejsze źródła zanieczyszczeń, ich wpływ na środowisko glebowe, aspekty prawne, sposoby diagnozy stanu gleby, dobór najbardziej odpowiednich praktyk rolniczych oraz sposoby remediacji gruntów uznanych za zanieczyszczone.



Fot. 1. Grunty rolne w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

Treści zawarte w poradniku przeznaczone są dla rolników, doradców rolniczych oraz pracowników instytucji samorządowych zajmujących się zarządzaniem gruntami w obszarach oddziaływania przemysłowego. Poradnik ten stanowi kompendium wiedzy i wsparcie w podejmowaniu decyzji dotyczących gospodarowania na glebach użytkowanych rolniczo w obszarach oddziaływania przemysłowego.

2. ROLA GLEBY W PRODUKCJI ROLNICZEJ

Gleba jest zasobem w praktyce nieodnawialnym w skali życia człowieka. Czas tworzenia się gleb mierzony jest w tysiącach lat. Jej degradacja, zwłaszcza na skutek długotrwałego narażenia na zanieczyszczenia przemysłowe, może prowadzić do obniżenia jej jakości i zmniejszenia plonów, prowadząc bezpośrednio do strat ekonomicznych. Jakość gleby zależy od szeregu parametrów, takich jak zawartość materii organicznej, struktura, pH, bioróżnorodność mikroorganizmów, zdolności sorpcyjne oraz poziom zanieczyszczeń.

W obszarach narażonych na oddziaływanie emisji przemysłowych gleba pełni podwójną rolę: jest zarówno obszarem produkcji rolniczej, jak i miejscem, gdzie mogą gromadzić się zanieczyszczenia. Dlatego użytkowanie na takich glebach wymaga od rolnika świadomego i racjonalnego podejścia.

3. GŁÓWNE ZANIECZYSZCZENIA GLEB NA TERENACH PRZEMYSŁOWYCH

W obszarach przemysłowych do gleb mogą trafiać różne substancje, przede wszystkim metale ciężkie (pierwiastki śladowe):

- ołów (Pb) - może zakłócać wzrost roślin, kumulować się w tkankach i wpływać na zdrowie ludzi,
- kadm (Cd) - łatwo pobierany przez rośliny i transportowany do jadalnych części roślin; toksyczny nawet w małych dawkach,
- cynk (Zn) – niezbędny mikroelement, który może być toksyczny dla roślin w nadmiarze,
- miedź (Cu) - niezbędna dla prawidłowego rozwoju roślin, jednak w nadmiarze hamuje rozwój korzeni i aktywność mikroorganizmów glebowych,
- nikiel (Ni), chrom (Cr) - w nadmiarze szkodliwe dla roślin, wpływają negatywnie na rozwój korzeni i proces fotosyntezy.

W przypadku ołowiu i kadmu, określone są ich dopuszczalne zawartości w roślinnych produktach żywnościowych wytwarzanych w naszym kraju. Przekroczenie tych wartości może skutkować trudnościami ze zbytem wytworzonych plonów. Gleby mogą być też zanieczyszczone substancjami organicznymi np. Wielopierścieniowymi Węglowodorami Aromatycznymi (WWA) i innymi zanieczyszczeniami. WWA powstają głównie podczas spalania paliw kopalnych, procesów hutniczych oraz emisji z pieców przemysłowych. Są substancjami wykazującymi dużą trwałość w środowisku i mogą działać rakotwórczo.

Inne zanieczyszczenia:

- pozostałości olejów i smarów,
- substancje ropopochodne,
- pozostałości pestycydów,
- mikroplastiki pochodzące z materiałów pochodzenia przemysłowego i komunalnych.

Każdy z tych rodzajów zanieczyszczeń charakteryzuje się innym zachowaniem w środowisku glebowym. Niektóre silnie wiążą się z glebą, inne mogą łatwo migrować do głębszych warstw lub być pobierane przez rośliny uprawne.

4. ZACHOWANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU GLEBOWYM

Mobilność i biodostępność zanieczyszczeń zależą od szeregu czynników:

- Odczyn gleby (pH). W kwaśnych glebach zwiększa się rozpuszczalność i mobilność metali ciężkich. Oznacza to, że w glebie o niskim pH, pierwiastki takie jak kadm czy ołów są bardziej dostępne dla roślin.

Odczyn gleb jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na mobilność i dostępność metali ciężkich, który może być w stosunkowo łatwy sposób modyfikowany przez rolnika,

- Zawartość próchnicy. Gleby bogate w próchnicę silniej wiążą metale ciężkie i inne zanieczyszczenia, ograniczając ich biodostępność i pobieranie przez rośliny. Ponadto próchnica zwiększa żyzność gleb oraz wpływa na poprawę jej struktury i możliwości gromadzenia wody. **Poprzez prawidłową agrotechnikę rolnik może wpływać na wzrost zawartości materii organicznej w glebach,**
- Struktura i skład granulometryczny gleb. Gleby lekkie – piaszczyste są bardziej narażone na przemieszczanie się zanieczyszczeń, podczas gdy gleby ciężkie – gliniaste i ilaste są mniej przepuszczalne i silniej wiążą zanieczyszczenia, dzięki czemu przemieszczanie się w nich zanieczyszczeń jest utrudnione.

Właściwa struktura gleby w dużym stopniu uzależniona jest od prawidłowo wykonanych zabiegów agrotechnicznych. Skład granulometryczny gleb jest właściwością wynikającą z warunków, w jakich tworzyła się gleba – na ten parameter rolnik nie ma większego wpływu.

- Mikroorganizmy glebowe. Mogą wiązać, rozkładać i neutralizować wiele zanieczyszczeń. Rozkład i unieszkodliwianie WWA zachodzą głównie dzięki aktywności biologicznej gleby.

Duża bioróżnorodność mikroorganizmów glebowych uzależniona jest przede wszystkim od właściwych działań rolnika. Do najważniejszych czynników kształtujących bioróżnorodność i aktywność biologiczną gleby należą dbałość o odpowiedni poziom materii organicznej i neutralne pH gleby, a także zrównoważone stosowanie środków ochrony roślin. Dobrze oddziałuje również wspomaganie gleby sprawdzonymi preparatami mikrobiologicznymi.

5. SKUTKI DŁUGOTRWALEGO ODDZIAŁYWANIA PRZEMYSŁU NA GLEBY

- **Spadek zawartości materii organicznej.** Opad pyłów przemysłowych i silne zanieczyszczenie gleby mogą prowadzić do obniżenia zawartości próchnicy poprzez negatywny wpływ na aktywność biologiczną gleby, co powoduje pogorszenie struktury glebowej, spadek żyzności oraz zmniejszenie retencji wodnej.
- **Ograniczenie aktywności mikroorganizmów.** Metale ciężkie mogą hamować aktywność bakterii i grzybów odpowiedzialnych za rozkład materii organicznej i udostępnianie składników pokarmowych, co może przyczyniać się do spadku żyzności gleby.
- **Ryzyko nadmiernego pobierania** zanieczyszczeń przez rośliny, szczególnie metali ciężkich, i ich transport do użytkowych części roślin, co pogarsza ich jakość i może ograniczać możliwość sprzedaży produktów rolnych.
- **Utrata wartości działki rolnej.** Działki o wysokich zawartościach metali ciężkich lub innych zanieczyszczeń w glebie, mogą mieć ograniczoną w produkcji rolniczej, co może mieć wpływ na ich wartość rynkową.

6. AKTY PRAWNE DOTYCZĄCE GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO NA TERENACH DDZIAŁYWANIA PRZEMYSŁOWEGO

- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/2360 z dnia 12 listopada 2025 r. w sprawie monitorowania i odporności gleby (prawo o monitorowaniu gleby) Dz.U. L, 2025/2360, 26.11.2025 r.**

Nie nakłada obowiązków bezpośrednio na rolników, tylko na państwa członkowskie. Zakłada obowiązek monitoringu jakości gleby, identyfikacji terenów zanieczyszczonych oraz wdrażania działań naprawczych.

Postępowanie z glebą zanieczyszczoną

Jeżeli badany teren zostanie uznany za „**teren zanieczyszczony**”, obowiązuje procedura z art. 16 dyrektywy: **ocena ryzyka specyficznego dla danego terenu** z uwzględnieniem aktualnego i planowanego sposobu użytkowania gruntów (np. produkcja żywności, tereny przemysłowe). Jeżeli stwierdzone zostanie „**niedopuszczalne ryzyko dla zdrowia ludzi lub dla środowiska**”, państwo musi zapewnić **podjęcie środków zmniejszających ryzyko**, w tym (jeżeli jest to niezbędne) **remediację gleby** (usuwanie zanieczyszczeń, przykrycie, izolacja, ograniczenie kontaktu).

Ponadto w strefie przemysłowej mogą między innymi występować:

- ograniczenia w użytkowaniu gruntu (np. zakaz uprawy warzyw liściastych i korzeniowych, zakaz wypasu, wymóg zmiany profilu produkcji),
- wymóg stosowania określonych praktyk (np. utrzymywanie okrywy roślinnej, zakaz uprawy określonych gatunków, ograniczenia w pracach ziemnych),
- czasowe wyłączenie działki z produkcji w trakcie remediacji,
- konieczność współpracy z władzami przy planowaniu i realizacji.

- **Prawo Ochrony Środowiska (POŚ). Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627.**

Ustawa określa, że kto prowadzi działalność przemysłową mogącą powodować zanieczyszczenie, musi temu przeciwdziałać i usuwać skutki.

Oznacza to, że jeżeli zakład przemysłowy spowoduje zanieczyszczenie gleby (np. metalami ciężkimi, substancjami ropopochodnymi, chemikaliami, itd.), rolnik może:

- domagać się **usunięcia zanieczyszczenia**,
- żądać **odszkodowania** za straty (utrata plonów, wyłączenie gruntów z użytkowania).

Ponadto rolnik **nie ponosi odpowiedzialności za historyczne zanieczyszczenia**, spowodowane przez przemysł.

Obowiązki właściciela gruntu w przypadku stwierdzenia zanieczyszczenia gleby: POŚ nakłada obowiązek powiadomienia właściwych organów, np. WIOŚ, w przypadku odkrycia zanieczyszczenia mogącego zagrażać środowisku.

Z tego prawa wynika również, że:

- rolnik nie odpowiada za zanieczyszczenia spowodowane przez przemysł, nawet jeśli są stwierdzone na jego polu,
- wszelkie koszty remediacji i usunięcia zanieczyszczeń powinien ponosić zakład przemysłowy,
- państwo może zarządzić dodatkowe badania lub ograniczenia użytkowania gruntów, ale z możliwością rekompensat,
- rolnik może korzystać z prawa do odszkodowań, jeżeli przemysł negatywnie wpływa na jego gleby i produkcję,
- rejonizacja i decyzje środowiskowe mogą formalnie zmieniać zasady użytkowania gruntów rolnych w po-bliżu zakładów przemysłowych.

- **Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych**

Zapewnia ochronę gleb najwyższych klas bonitacyjnych (1-3) oraz reguluje zasady rekultywacji i zagospodarowania terenów zdegradowanych. Ustawa nakłada na właścicieli gruntów **obowiązek zachowania wartości produkcyjnej gleby** oraz przeciwdziałania jej degradacji i zanieczyszczeniu.

Co to oznacza dla rolnika?

- Jeśli gleba na skutek działalności przemysłowej traci lub ma ograniczoną wartość produkcyjną, **rolnik nie ponosi odpowiedzialności za zanieczyszczenie**, natomiast:
 - ma obowiązek **nie pogarszać** stanu gleby,
 - może domagać się **działań naprawczych i odszkodowania** od sprawcy.

Najważniejsze wnioski wynikające z zapisów Ustawy o Ochronie Gruntów Rolnych i Leśnych dla rolników:

- rolnik nie odpowiada za zanieczyszczenia pochodzenia przemysłowego,
- sprawca zanieczyszczenia ma obowiązek rekultywacji i poniesienia kosztów z tym związanych,
- organy mogą nakazać ograniczenie użytkowanie gruntu, ale rolnikowi przysługuje odszkodowanie,
- rolnicy mogą domagać się działań naprawczych i badań gleby, jeśli np. zakład przemysłowy wpływa negatywnie na ich gleby.

7. PRAKTYKI ROLNICZE ZALECANE NA OBSZARACH ODDZIAŁYWANIA PRZEMYSŁOWEGO DLA OGRANICZANIA MOBILNOŚCI METALI CIĘŻKICH

- **Utrzymanie odpowiedniego odczynu gleby (pH).**

Wapnowanie jest jedną z najskuteczniejszych metod zmniejszania dostępności metali ciężkich dla roślin uprawnych. Regularnie monitorowane odczynu i utrzymywanie właściwego

zakresu pH zapewnia mniejszą mobilność metali ciężkich i ogranicza ich pobieranie przez rośliny. Uregulowany odczyn powoduje również większą aktywność mikroorganizmów, które rozkładają WWA.

Optymalny odczyn gleby zmniejszający mobilność metali ciężkich jest obojętny do lekko zasadowego pH 6,5-7,5.

- **Wartości pH optymalne dla ograniczenia mobilności poszczególnych metali ciężkich.**

Ołów (Pb) – najmniejsza mobilność: pH 6,5-8,0. Ołów silnie wiąże się z materią organiczną i minerałami ilastymi, a przy wysokim pH tworzy trudno rozpuszczalne węglany i fosforany.

Kadm (Cd) – najmniejsza mobilność: pH 7,0-8,0. Kadm jest jednym z najbardziej mobilnych metali w kwaśnych glebach; wapnowanie silnie zmniejsza jego rozpuszczalność i pobieranie przez rośliny.

Cynk (Zn) – najmniejsza mobilność: pH 6,5-7,5. Cynk staje się bardziej mobilny już przy pH < 6. Przy obojętnym i zasadowym odczynie jest silnie wiązany przez minerały ilaste.

Miedź (Cu) – najmniejsza mobilność: pH 6,0-7,5. Miedź jest silnie sorbowana przez próchnicę; jej mobilność rośnie głównie w bardzo kwaśnych glebach.

Nikiel (Ni) – najmniejsza mobilność: pH 7,0-8,0. Sorpcja niklu rośnie wraz z pH, a jego mobilność szczególnie zwiększa się w glebach kwaśnych. Jest silnie wiązany przez materię organiczną gleby.

Chrom (Cr) – najmniejsza mobilność: pH 6,5-8,0. Chrom w neutralnym i zasadowym środowisku tworzy trudno rozpuszczalne związki.

- **Stosowanie materii organicznej.** Obornik, kompost, biowęgiel i nawozy organiczne działają jak naturalne pochłaniacze zanieczyszczeń. Zaleca się systematyczne zwiększanie bądź uzupełnianie glebowej materii organicznej, co jest zabiegiem sprzyjającym również zasobności i strukturze gleby. Przy stosowaniu dużych dawek nawozów organicznych należy pamiętać o wapnowaniu gleby, gdyż rozkład kompostu lub obornika może powodować powolne zakwaszanie gleby. Należy również stosować nawozy organiczne dobrej jakości i ze sprawdzonych źródeł (dopuszczone do rynku jako nawozy organiczne lub środki poprawiające właściwości gleb), ponieważ niektóre odpady organiczne mogą zawierać zanieczyszczenia.
- **Kształtowanie wysokiej zasobności gleby w fosfor.** Regularne stosowanie mineralnych nawozów fosforowych sprzyja wytrącaniu nierozpuszczalnych związków ołowiu, co ogranicza mobilność i bio-dostępność tego pierwiastka.
- **Właściwe zmianowanie i dobór gatunków roślin.**

Gatunkami, które charakteryzują się niską akumulacją metali ciężkich w jadalnych częściach roślin, między innymi są:

zboża

- pszenica
- jęczmień



Fot. 2. Uprawa pszenicy w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)



Fot. 3. Uprawa jęczmienia w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

- żyto
- pszenżyto



Fot. 4. Uprawa pszenżyta w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

- owies
- kukurydza na ziarno



Fot. 5. Uprawa kukurydzy na ziarno w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

Rośliny oleiste

- rzepak
- słonecznik



Fot. 6. Uprawa słonecznika w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

Rośliny bobowate (na nasiona)

- fasola
- groch
- soja
- łubiny

Do gatunków o wysokim ryzyku akumulacji metali ciężkich, zalicza się:
Warzywa liściaste (najbardziej wrażliwe i akumulujące metale ciężkie)

- sałata
- szpinak
- jarmuż
- botwina
- kapusta

Warzywa korzeniowe

- marchew
- burak
- seler
- pietruszka
- rzodkiewka

W związku z tym, jeśli gleba, na której rolnik prowadzi uprawę, znajduje się w obszarze oddziaływania przemysłowego, powinien pamiętać, że:

- bezpieczniej jest uprawiać: zboża, kukurydzę na ziarno, rośliny oleiste niż warzywa liściowe i ko-rzeniowe,
 - żyto gromadzi mniej metali ciężkich w ziarnie niż pszenica,
 - należy regularnie badać glebę i plon pod kątem zawartości metali ciężkich,
 - należy utrzymywać pH gleby > 6,5, co ogranicza pobieranie metali ciężkich,
 - należy stosować dużo materii organicznej (obornik, kompost itp.), która wiąże metale ciężkie i zmniejsza ich mobilność oraz dbać o zasobność gleby w fosfor.
- **Ochrona wód powierzchniowych** przed przedostawaniem się do nich zanieczyszczeń i składników nawozowych z gruntów użytkowanych rolniczo.

Zaleca się stosowanie pasów buforowych, zadrzewień i roślinności ochronnej wzdłuż cieków i zbiorników wodnych na obszarach z podwyższoną zawartością metali ciężkich. Takie zabiegi ograniczają przedostawanie się substancji zanieczyszczających do wód powierzchniowych.

8. ZAPLANOWANIE I PRZEPROWADZANIE BADAŃ GLEB W GOSPODARSTWIE

W przypadku gruntów rolnych w obszarach oddziaływania obecnego lub dawnego przemysłu istotne jest pozyskanie informacji o tym w jakim stanie jest gleba na posiadanym polu, szczególnie jeśli jest wykorzystywane do uprawy roślin na cele żywnościowe. Należy pobrać próbki gleb, a oznaczenia zawartości metali ciężkich można wykonać w laboratoriach Okręgowych Stacji Chemiczno Rolniczych. Takie badania mogą dostarczyć informacji o poziomie zanieczyszczeń w glebie oraz właściwościach gleby kształtujących biodostępność zanieczyszczeń i ryzyko ich pobierania przez rośliny.

Pobieranie próbek gleby

Do wstępnego rozpoznania należy pobierać próbki reprezentatywne, czyli takie, które w jak największym stopniu są charakterystyczne dla danego obszaru. Należy unikać miejsc nietypowych, takich jak pobocza dróg, miejsca po składowiskach, zagłębienia itp. Lokalizacja punktów bądź stref pobierania próbek dla badań wstępnych jest uzależniona od zmienności ukształtowania powierzchni, zmienności pokrywy glebowej oraz rozmiarów pola. Przy małej wielkości pól lub działek, na których nie występuje widoczna zmienność warunków glebowych lub plonowania roślin, wystarczające jest pobranie jednej zbiorczej próbki z obszaru pola/działki. W przypadku występowania dużej zmienności w obrębie pola, warto pobrać próbki reprezentujące każdy z różniących się pomiędzy sobą obszarów pola. Próbki należy pobierać za pomocą próbnika z wierzchniej warstwy gleby (głębokość 0-25 cm).



Fot. 7. Pobór próbek glebowych do analiz z upraw położonych w strefie oddziaływania przemysłowego (Fot. M. Łysiak)

9. PRZEPROWADZANIE REMEDIACJI GLEB

W przypadku gruntów silnie zanieczyszczonych, konieczne jest przeprowadzenie **remediacji** gruntu, czyli zabiegów prowadzących do jego oczyszczenia lub uwstecznienia zanieczyszczeń/ograniczenia ich biodostępności. Do najtańszych i powodujących najmniejszą ingerencję w środowisko, należy **fitoremediacja**. Polega ona na stymulacji naturalnych procesów sorpcji lub rozkładu zanieczyszczeń z udziałem roślin, lub ich pobierania przez rośliny. Dzięki zwartym systemom korzeniowym rośliny mogą stabilizować zanieczyszczony grunt, usuwać zanieczyszczenia z gleby, które są z ich biomasą wynoszone z pola, powodować rozkład zanieczyszczeń organicznych poprzez własne wydzieliny korzeniowe lub stymulację aktywności mikroorganizmów. Ze względu na sposób w jaki rośliny wpływają na zanieczyszczenia zawarte w glebie, wyróżnia się kilka technik fitoremediacji.

- **Fitoekstrakcja** polega na pobieraniu pierwiastków przez korzenie roślin i ich akumulacji w częściach nadziemnych. Biomasa roślin wzbogacona metalami ciężkimi, jest następnie usuwana jako odpad lub może być wykorzystana do ponownej ekstrakcji cennych dla przemysłu pierwiastków. Jest najskuteczniejsza do oczyszczania gleby z cynku, niklu i kadmu.
- **Fitodegradacja** jest procesem rozkładu zanieczyszczeń w glebie dzięki aktywności roślin, które stymulują przemiany lub rozkład zanieczyszczeń organicznych w roślinie po ich pobraniu lub poza rośliną (w glebie) na skutek działania związków wydzielanych przez rośliny. Jest stosowana do rozkładu zanieczyszczeń organicznych, takich jak WWA lub pozostałości środków ochrony roślin.
- **Fitoewaporacja** polega na pobieraniu zanieczyszczeń z gleby przez rośliny, które są następnie przekształcane w formy lotne i wydzielane do atmosfery. Fitoewaporacja może być stosowana do lotnych związków organicznych lub zanieczyszczeń nieorganicznych, takich jak rtęć i arsen.
- **Ryzodegradacja** polega na rozkładzie zanieczyszczeń w ryzosferze roślin. Udział w ryzodegradacji mają zarówno korzenie roślin, jak i mikroorganizmy znajdujące się w ryzosferze roślin. Ryzodegradacja znajduje zastosowanie w remediacji zanieczyszczeń organicznych, takich jak WWA, pestycydy, polichlorowane bifenyle (PCB).
- **Fitostabilizacja** polega na unieruchamianiu zanieczyszczeń w strefie korzeniowej roślin, co ogranicza ich przemieszczanie się do wód. W wyniku fitostabilizacji dochodzi

do uwstecznienia zanieczyszczeń, ale gleba nie jest oczyszczana. Uwstecznianie zanieczyszczeń może zachodzić w korzeniach roślin, ale rośliny również fizycznie wiążą glebę wraz z zanieczyszczeniami, ograniczając ich mobilność.

- **Fitostabilizacja wspomagana** polega na zastosowaniu roślin oraz dodatków doglebowych ograniczających biodostępność pierwiastków oraz kształtujących dobre warunki wzrostu roślin. Zanieczyszczenia nie są usuwane z gleby, ale znacznie zmniejsza się ich biodostępność i szkodliwość. Wspomaganie roślin remediacyjnych (głównie traw) w fitostabilizacji wspomaganej odbywa się najczęściej poprzez wprowadzenie do gleby wapna i kompostów lub biowęgla, zwiększających pojemność sorpcyjną gleb oraz nawozów lub odpadów zawierających żelazo lub mangan (powodujących zwiększoną adsorpcję metali ciężkich) i fosfor (co powoduje wytrącanie się ołowiu).

PODSUMOWANIE

Gleby użytkowane rolniczo na obszarach przemysłowych, czyli potencjalnie narażone na zanieczyszczenie, wymagają szczególnej uwagi ze strony rolnika. Kluczowe dla zrównoważonej produkcji rolniczej w obszarach oddziaływania przemysłu są regularne badania gleby w celu pozyskania informacji na temat jej aktualnego stanu. Stosowanie praktyk ograniczających biodostępność zanieczyszczeń, regularne badania gleby oraz świadome planowanie upraw są podstawą bezpiecznej i opłacalnej produkcji rolnej. Wiedza i odpowiednie postępowanie pozwalają zminimalizować ryzyko związane z podwyższonymi zawartościami substancji zanieczyszczających glebę, a w razie potrzeby, umożliwiają wdrożenie działań remediacyjnych przywracających prawidłowe funkcjonowanie gleby.

Polecana literatura:

1. Cabała J. Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb. Katowice: Uniwersytet Śląski, 2009, ss.129.
2. Duer I., Fotyma M., Madej A. (red.): Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2002: ss. 83.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2025/2360 z dnia 12 listopada 2025 r. w sprawie monitorowania i odporności gleby (Soil Monitoring and Resilience Directive). Dz.U. L, 2025/2360, 26.11.2025.
4. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.: Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie, 2006, 27: 7-38.
5. Filipek T., Skowrońska M.: Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. Acta Agroph., 2013, 20(2): 283-294.
6. Hołubowicz-Kliza G., Niedźwiecki J. Ochrona gleby jako źródła życia. IUNG-PIB, 2021, ss. 80
7. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy 1993.
8. Kabata-Pendias A., Pendias H. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa, 1999
9. Karczewska A., Kabała C.: Analiza ryzyka środowiskowego jako nowa podstawa oceny stanu zanieczyszczenia gleb w polskim prawie. Soil Science Annual, 2017, 68(2): 67-80.
10. Kuś J.: Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2021, 45, (19): 27-53.
11. Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A.: Zagrożenie zanieczyszczeniami chemicznymi gleb na obszarach rolniczych w Polsce w świetle badań IUNG-PIB w Puławach. W: Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, 35(9): 97-118.
12. Ochal P., Jadczyzyn T., Jurga B., Kopiński J., Matyka M., Madej A., Rutkowska A., Smreczak B., Łysiak M.: Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce. IUNG-PIB, Puławy 2017, ss. 43.
13. Ochal P.: Wapnowanie podstawowym elementem dobrych praktyk rolniczych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, 37(11): 9-18.
14. Poradnik dla doradców rolnych Najlepsze sposoby zarządzania glebami użytkowanymi rolniczo w kontekście zmian klimatycznych. (red. J. Niedźwiecki), IUNG-PIB, Puławy 2020, ss. 74.
15. Prawo ochrony środowiska (ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r.).
16. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 31 października 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2024 poz. 1657).
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 poz. 1395).
18. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E.: Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015-2017, IUNG-PIB Puławy, 2017, ss. 190.
19. Siebielec G., T. Stuczyński, H. Terelak, K. Filipiak, P. Koza, R. Korzeniowska-Puculek, A. Łopatka, J. Jadczyzyn. Uwarunkowania produkcji rolniczej na obszarach o znacznym udziale gleb zanieczyszczonych metalami śladowymi. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2008, 12: 114-133
20. Smreczak B., Siebielec G., Ukalska-Jaruga A., Klimkowicz-Pawlas A.: Ocena zawartości kadmu, cynku i ołowiu oraz benzo(a)pirenu w glebach użytkowanych rolniczo – dwadzieścia lat monitoringu chemizmu gleb ornych w Polsce. W: Stan zagrożeń dla jakości gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2018, 58(12): 81-95.
21. Uggla H.: Gleboznawstwo rolnicze. PWN, Warszawa, 1981: 275-533

22. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Strzelecka J. Wpływ materii organicznej na jakość gleb użytkowanych rolniczo. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, 54 (8): 25-39.
23. Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. 2022 poz. 1205).
24. Wolniewicz A., Czechowski J., Kaliszewski T., Marecik R.: Przegląd metod remediacji i praktyczne zastosowanie bioremediacji w likwidacji zanieczyszczeń węglowodorami. *Inżynieria ekologiczna*, 2018, 19(5): 47-52.