

***Możliwość poprawy właściwości
mikrobiologicznych gleb popowodziowych***

PORADNIK

dr hab. Karolina Furtak

Puławy 2025

dr hab. Karolina Furtak

***Możliwość poprawy właściwości
mikrobiologicznych gleb
popowodziowych***

PORADNIK

Puławy 2025

Poradnik został opracowany w ramach realizacji
zadania 1.9 dotacji celowej MRiRW
pt. „Monitoring mikrobiologiczny gleb uprawnych z terenów
popowodziowych – bezpieczeństwo, żyzność, bioróżnorodność”



Ministerstwo Rolnictwa
i Rozwoju Wsi



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

**Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy**

ul. Czarторыskich 8

24-100 Puławy

wtel. (81) 4786 700

e-mail: iung@iung.pulawy.pl

www.iung.pl

Dyrektor: *prof. dr hab. Mariusz Matyka*

dr hab. Karolina Furtak
Zakład Mikrobiologii IUNG-PIB
ul. Krańcowa 8, 24-100 Puławy
e-mail: kfurtak@iung.pulawy.pl
tel. 81 4786 961

Skład i korekta: Katarzyna Mikulska

ISBN 978-83-7562-438-0

Publikacja elektroniczna

Spis treści

Wprowadzenie	4
Wilgotność gleby	5
Powódź	7
Wpływ nadmiernej wilgotności na glebę	9
Zanieczyszczenie mikrobiologiczne gleb	12
Regeneracja gleby po powodzi	14
Przywrócenie żyzności	14
Odbudowa mikrobiomu	15
Odkazanie i zwalczanie patogenów	18
Potencjał mikroorganizmów w regeneracji gleb po powodzi	20
Natlenianie gleby	20
Przywracanie żyzności	20
Odkazanie i zwalczanie patogenów	24
Usuwanie szkodliwych substancji	25
Podsumowanie	26
Polecana literatura	27

Wprowadzenie

Bardzo ważnym regulatorem mikrobiomu glebowego są czynniki edaficzne, które definiuje się jako całokształt warunków fizycznych i chemicznych w glebie. Wśród czynników edaficznych wyróżnić można:

- ◆ strukturę i typ gleby;
- ◆ temperaturę gleby;
- ◆ wilgotność gleby;
- ◆ odczyn gleby;
- ◆ ciśnienie;
- ◆ zawartość węgla i azotu;
- ◆ zawartość pierwiastków śladowych.

Naturalne wahania wilgotności związane ze zmianami sezonowymi i opadami są ważnym czynnikiem środowiskowym w metabolizmie mikroorganizmów. Jednakże w ostatnim czasie częstotliwość występowania powodzi i okresowych podtopień w Polsce wzrasta. Dane meteorologiczne pokazują, że na świecie od 1980 roku liczba powodzi i innych zdarzeń hydrologicznych wzrosła czterokrotnie. Nadmierna wilgotność spowodowana powodziami, roztopami lub intensywnymi opadami deszczu powoduje zmiany w strukturze i aktywności mikrobiomu glebowego.

Niniejszy poradnik ma na celu krótkie omówienie zmian zachodzących w glebie w wyniku wystąpienia nadmiernej wilgotności oraz określenie możliwych działań mających na celu poprawę jakości gleb popowodziowych.

Wilgotność gleby

Wilgotność gleby definiowana jest jako zawartość wody w glebie. Parametr ten wyraża procentową zawartość wody w glebie i świadczy o jej zasobności. Woda jest magazynowana w glebie w pewnych ilościach, a jej zawartość różni się w przestrzeni oraz czasie. Wynika to z faktu, że woda stanowi najbardziej dynamiczny element środowiska naturalnego, który nieustannie krąży między atmosferą, strefą oceaniczną i lądami.

Wilgotność gleby decyduje o wszelkich procesach zachodzących w środowisku glebowym, a jej pomiar jest jednym z istotniejszych w badaniach gleboznawczych. Woda zawarta w glebie wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami nazywana jest roztworem glebowym. Wilgotność gleby determinuje część właściwości fizycznych i chemicznych gleby oraz wpływa na jej aktywność biologiczną.

Zawartość wody w glebie wpływa bezpośrednio na:

- ◆ pH gleby;
- ◆ dyfuzję rozpuszczalników i gazów;
- ◆ dostępność tlenu;
- ◆ stabilność koloidów glebowych;
- ◆ dostępność składników pokarmowych;
- ◆ migrację drobnoustrojów w glebie;
- ◆ dyfuzję związków pomiędzy komórkami organizmów a środowiskiem;
- ◆ procesy hydrolizy;
- ◆ szybkość mineralizacji;
- ◆ liczebność bakterii i grzybów;
- ◆ fotosyntezę roślin.

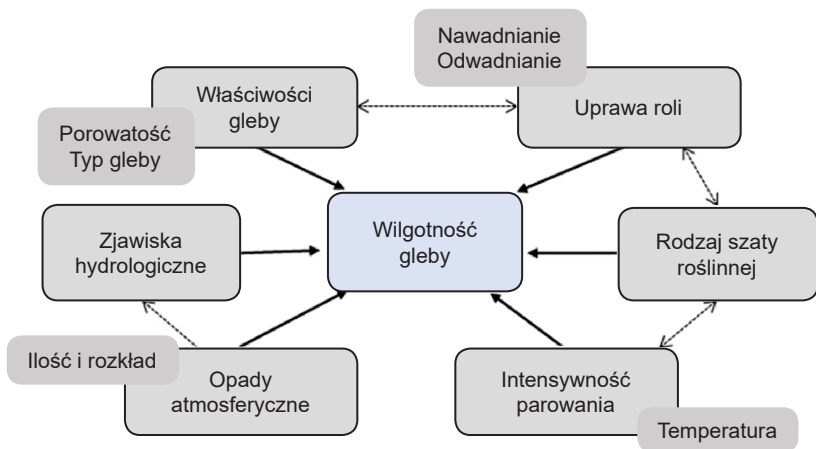


Figura 1. Czynniki wpływające na zawartość wody w glebie
(opracowanie własne)

Źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne, podsiąki kapilarne od wód gruntowych, kondensacja pary wodnej, nawodnienia prowadzone przez człowieka oraz nawożenie organiczne. W Polsce podstawowym źródłem wody w glebie są opady atmosferyczne.

Powódź

Zgodnie z Dyrektywą 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim powódź to *czasowe pokrycie wodą terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą* (Dyrektywa 2007/60/WE). Według Ustawy z dnia 20.07.2017 – Prawo wodne – powódź to *wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa doliny rzeczne albo tereny depresyjne i powoduje zagrożenia dla ludności lub mienia* (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566).

Wyróżnia się następujące rodzaje powodzi w Polsce:

- ◆ roztopowa – wywołana nagłym spływem wód z topniejących śniegów w okresie wiosennym;
- ◆ opadowa – wywołana przez obfite i długotrwałe opady atmosferyczne;
- ◆ tzw. cofka – cofanie się wód rzek uchodzących do morza ponownie do koryt, nawet kilkadziesiąt kilometrów w głąb lądu;
- ◆ zimowa – nasilenie zjawisk lodowych;
- ◆ sztormowa – na zalewach i wybrzeżach;
- ◆ błyskawiczna – wywołana intensywnym opadem na małym obszarze (>20 mm w ciągu doby), trwająca zwykle poniżej sześciu godzin.

W ciągu trzech minionych dekad o 60% zwiększyła się liczba ekstremalnych zdarzeń pogodowych w Europie, w tym także zagrożenie powodziowe. W latach 1960–2010 w Europie Środkowej i Zachodniej zaobserwowano wzrost zrzutów powodziowych do 12% na dekadę. W skali ogólnosiwiatowej powodzie dotyczą rocznie ponad 17 mln km² powierzchni ziemi. Przyjmuje się, że 10–12% gruntów rolnych na świecie jest dotkniętych nadmierną wilgotnością lub/i ograniczeniami w zakresie odwadniania gleb. Ponad 98% powierzchni lądowej

na świecie wykazuje wzrost intensywności ekstremalnych opadów, a prognozy wskazują, że zmiana klimatu doprowadzi do wzrostu intensywności sztormów i powodzi w Europie do 2100 roku. Szacuje się również, że zwiększy się poziom morza i wysokość fali sztormowej, a tym samym częstotliwość występowania przybrzeżnych zdarzeń powodziowych. W ostatnich dwóch latach główną przyczyną powodzi w Europie były ulewne deszcze.

Najnowsze raporty dotyczące sytuacji powodziowej w Polsce wskazują na wzrost powodzi opadowych w kraju. W okresie 2010–2017 odnotowano 830 takich zdarzeń, natomiast w latach 2018–2023 – 1495. To niemal dwukrotny wzrost w porównaniu z poprzednim cyklem oceny. Najwięcej zdarzeń hydrologicznych odnotowano w dorzeczu Wisły (1480) oraz w dorzeczu Odry (822). Opracowane prognozy wskazują, że w latach 2011–2050 można oczekiwać wzrostu występowania liczby dni z opadem dobowym przekraczającym 20 mm, co będzie wiązało się z częstszym występowaniem powodzi błyskawicznych.



Figura 2. Zdjęcia obszarów dotkniętych powodzią w 2024 roku w województwach dolnośląskim i opolskim (fot. K. Furtak)

Wpływ nadmiernej wilgotności na glebę

Zwiększona wilgotność związana jest ze zmniejszoną dyfuzją tlenu i azotu w glebie oraz rozwojem drapieżników żerujących na bakteriach. W warunkach beztlenowych w glebie dostępność mikro- i makroelementów jest od dwóch do czterech razy mniejsza niż w środowisku dobrze natlenionym. Dodatkowo występowanie wysokiej wilgotności sprzyja rozwojowi mikroorganizmów patogennych zarówno wobec roślin, jak i ludzi. Wśród głównych skutków powodzi na terenach rolniczych można wymienić:

- ◆ zmniejszenie dyfuzji tlenu i azotu w glebie;
- ◆ wypłukanie części składników pokarmowych: azotu, wapnia i magnezu;
- ◆ zmywanie w głąb profilu glebowego fosforu i potasu;
- ◆ rozwój drapieżników żywiących się bakteriami;
- ◆ rozwój mikroorganizmów beztlenowych – intensyfikacja procesów redukcji i fermentacji;
- ◆ rozwój procesów gnilnych, gnicie roślin, brak plonów;
- ◆ niekontrolowane niszczenie struktury gleby;
- ◆ wzmożony rozwój mikroorganizmów patogennych;
- ◆ naniesienie zanieczyszczeń oraz nasion gatunków roślin, w tym chwastów, z odległych obszarów;
- ◆ utrudnienia w przeprowadzaniu terminowych prac polowych.

Wszystkie powyższe punkty można połączyć w jedno hasło „utrata żyzności gleby”. Obecnie niewiele jest prac dotyczących monitoringu gleb popowodziowych w kontekście ich żyzności i różnorodności mikrobiologicznej. Wiadomo natomiast, że powódź oddziałuje na mikroorganizmy glebowe, w tym na te odpowiedzialne za procesy biogeochemiczne oraz promowanie wzrostu roślin. Niedobór tlenu

negatywnie wpływa na rozwój mikroorganizmów tlenowych (bakterie i grzyby), które najpierw hamują swój metabolizm, a w wyniku długiego niedoboru tlenu obumierają.

Największym wyzwaniem dla mikroorganizmów glebowych podczas powodzi jest niedobór tlenu. Wpływa on na rozwój mikroorganizmów tlenowych (bakterii i grzybów), które najpierw hamują swój metabolizm, a w wyniku długiego niedoboru tlenu obumierają. Woda powodziowa wpływa na migrację mikroorganizmów w glebie, może bowiem wypłukiwać pożyteczne dla roślin, jak i wprowadzać na danym terenie nowe rodzaje, które utrudnią odbudowę prawidłowego składu społeczności. Im dłużej gleba pozostaje zalana, tym większe zmiany i szkody zachodzą w jej mikrobiomie. Powódź prowadzi do spadku populacji mikroorganizmów, zastępując bakterie tlenowe bakteriami beztlenowymi. Wśród beztlenowych mikroorganizmów glebowych znajdują się między innymi bakterie purpurowe przeprowadzające fotosyntezę beztlenową – *Rhodospirillum* sp. oraz bakterie redukujące siarczany – *Desulfovibrio* sp., *Desulfotomaculum* sp. Dominacja mikroorganizmów beztlenowych zaburza równowagę w glebie. Bakterie te wytwarzają metan i podtlenek azotu, które wpływają na inne organizmy glebowe, między innymi na liczbę dżdżownic, które przemieszczają się z dala od źródła tych gazów albo giną. Zalanie wiąże się z utratą bakterii ważnych dla promowania wzrostu roślin, między innymi z rodzajów *Rhizobium*, *Azotobacter*, bakterii nitryfikacyjnych (*Nitrosomonas* sp., *Nitrosococcus* sp.) oraz grzybów z rodzaju *Trichoderma*. Warunki beztlenowe zmniejszają proces nitryfikacji mikrobiologicznej, nasilając denitryfikację, co prowadzi do utraty gazowego azotu z gleby.

Zbyt małe natlenienie powoduje zmiany w społeczności mikroorganizmów, co skutkuje zmniejszeniem liczebności bakterii promujących wzrost roślin oraz pożytecznych grzybów mykoryzowych. Grzyby mykoryzy pęcherzykowo-wiązkowej zwiększają powierzchnię korzeni roślin w glebie, pomagają wchłaniać wodę, fosfor, cynk i inne składniki odżywcze. Ich obecność jest niezwykle istotna dla wzrostu kukurydzy. W warunkach długotrwałego zalania populacja tych grzy-

bów spada, a ich nieobecność może mieć negatywny wpływ na plony w kolejnym sezonie.

Zaburzenie mikrobiomu gleby wywołane zalaniem może być krótko- bądź długotrwałe, jednak nie ma danych wskazujących, kiedy mikrobiologia gleby wraca do równowagi i pełnienia funkcji ekosystemowych. Bioróżnorodność oraz aktywność mikrobiologiczna gleby przekładają się bezpośrednio na wzrost i plon roślin, co na terenach dotkniętych katastrofą naturalną (powodzią) jest niezwykle istotne.

Zanieczyszczenie mikrobiologiczne gleb

Podczas powodzi do wód powodziowych, a następnie do gleb mogą przedostać się mikrobiologiczne skażenia sanitarne. Dotyczy to szczególnie terenów, gdzie doszło do uszkodzenia infrastruktury oczyszczalni ścieków, sieci kanalizacyjnych, przydomowych szamb, zalane zostały składowiska odpadów, szpitale, cmentarze, a także gdy doszło do padnięcia zwierząt i ich biomasa zalega na obszarach zalanych. W takich przypadkach wzrasta ryzyko występowania w wodzie powodziowej mikroorganizmów chorobotwórczych, takich jak:

- ◆ bakterie z rodzaju *Salmonella* – wywołujące dur brzuszny, dur rzekomy i salmonellozy;
- ◆ bakterie z rodzaju *Shigella* – wywołujące czerwonkę;
- ◆ bakterie z rodzaju *Campylobacter* – wywołujące ostre biegunki zwane kampylobakteriozami;
- ◆ *Clostridium tetani* – bakteria wywołująca tężec;
- ◆ *Clostridium botulinum* – laseczka jadu kielbasianego;
- ◆ bakterie wywołujące gruźlicę i żółtaczkę bakteryjną;
- ◆ wirusy jelitowe (enterowirusy);
- ◆ grzyby;
- ◆ pierwotniaki.

Ze względów bezpieczeństwa tereny po powodzi, przede wszystkim ujęcia wody pitnej, są zwykle badane na zawartość pestycydów, metali ciężkich, paliwa. Ogólnoświatowe badania na obszarach dotkniętych powodzią dotyczą przede wszystkim kontroli skażenia mikrobiologicznego gleb i wód przez *Salmonella* sp., *Clostridium* sp., *Escherichia* sp. Potwierdzają one, że duże ilości *Escherichia coli* oraz bakterii z rodzaju *Salmonella* są obecne w glebie nawet 44 dni po ustąpieniu wody. Poziom oraz ładunek zanieczyszczenia wody powodziowej

zależy po pierwsze od jakości wyjściowej wody w rzece, ale przede wszystkim od terenów, które zalewa, a z których są transmitowane do niej kolejne zanieczyszczenia.

Obok zagrożenia dla zdrowia ludzkiego i zwierzęcego powódź wiąże się ze zwiększonym rozwojem patogenów roślinnych, między innymi grzybów *Fusarium* sp., *Verticilium* sp. i *Botrytis cinerea*. Gleba może być rezerwuarem tych patogenów, co stanowi zagrożenie dla gatunków roślin uprawianych w następstwie.

Regeneracja gleby po powodzi

Przywrócenie żyzności

Przyjmuje się, że po około 3 tygodniach od ustąpienia zalania społeczność mikroorganizmów glebowych jest w stanie wrócić do równowagi. Zaleca się więc, aby jak najszybciej osuszyć glebę, a w przypadku występowania zastoisk wody powodziowej, wspomóc jej odprowadzenie poprzez wykonanie drenaży, odpływów. Zabiegiem poprawiającym natlenienie gleby jest również jej spulchnianie, a także głęboszowanie. Rozluźnienie warstwy podornej, nie tylko napowietrza glebę, ale również wspomaga meliorację i może zapobiegać powstawaniu zastoisk wodnych w przyszłości. Odpowiednie natlenienie gleby stanowi podstawę do odbudowy liczebności i różnorodności mikroorganizmów glebowych. W momencie, gdy stan gleby to umożliwia, należy przeprowadzić zabiegi mechaniczne, aby rozbić uszczelnione powierzchnie i ułatwić dostęp powietrza do gleby. Pozwala to na odbudowę struktury gleby i przerwanie procesu denitryfikacji oraz dalszych strat azotanów wraz z przesiąkającą w głąb wodą. Wskazane jest zasilić glebę nawozami fosforowymi i potasowymi, które należy wymieszać z glebą.

Zaleca się dodanie materii organicznej do gleby, co wzbogaca ją w składniki odżywcze. Warto rozważyć pozostawienie resztek poźniwnych w kolejnym sezonie i zastosowanie nawozów naturalnych, np. obornika. Należy zadbać o poprawę odczynu gleby, zaczynając od jego określenia. Powódź może zarówno obniżyć odczyn gleby poprzez wypłukanie wapnia i magnezu, jak i podnieść, gdy woda powodziowa zawiera składniki mineralne. W przypadku zakwaszenia (obniżenia odczynu) należy zastosować odpowiednią dawkę wapna nawozowego, zaś w sytuacji alkalizacji gleby (wysoki odczyn) zaleca się stosowanie nawozów zakwaszających (np. siarczan glinu, siarka elementarna, gips).

Odbudowa mikrobiomu

W zdrowej glebie znajdują się miliardy mikroorganizmów, które pełnią podstawowe funkcje decydujące w dużej mierze o żyzności danej gleby: rozkładają resztki pożywnie, uczestniczą w obiegu składników odżywczych, stymulują wzrost roślin i wspierają odpieranie czynników stresogennych. Zaburzenia różnorodności i liczebności mikroorganizmów glebowych mają daleko idące konsekwencje dla produkcji roślinnej. Warunki beztlenowe zmniejszają proces nityfikacji mikrobiologicznej, nasilając denityfikację, co prowadzi do utraty gazowego azotu z gleby. Przywrócenie równowagi mikrobiologicznej jest niezwykle istotne dla zatrzymania azotu w środowisku glebowym i udostępnienia go roślinom.

Korzystnie jest uprawiać rośliny okrywowe (np. gorczycę, rzodkiew, rzepak) po wyschnięciu gleby, aby promować wzrost mikroorganizmów, które są niezbędne do obiegu składników odżywczych. Dobrym wyborem do zasadzenia jesienią są rośliny bobowate (między innymi koniczyna, wyka, łubin), które „przyciągają” grzyby mykoryzowe oraz inne pożyteczne organizmy w glebie.

W przypadku gdy na terenie popowodziowym planowano uprawę roślin bobowatych, w szczególności soi, należy zastosować preparaty mikrobiologiczne zawierające bakterie symbiotyczne roślin bobowatych, tzw. rizobia, bakterie brodawkowe, azotowe, korzeniowe.

Obecność w glebie mikroorganizmów zdolnych do wiązania azotu, nie tylko symbiontów roślin bobowatych, ale również i innych (np. *Burkholderia*, *Devosia*, *Cupravidus*, *Ochrobactrum*, *Microvirga*), zwiększa dostępność azotu dla roślin, poprawia jakość gleby, zwiększa bioróżnorodność mikrobiologiczną oraz zmniejsza emisję N_2O do atmosfery.

Tabela 1. Rośliny bobowate i ich symbionty bakteryjne
(opracowanie własne na podstawie: Preparaty
mikrobiologiczne... 2024)

Roślina	Bakteria
Łubin Seradela	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Soja	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Groch Groszek Bób Soczewica Wyka Bobik	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viceae</i>
Fasola	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i>
Koniczyna	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>
Lucerna Nostrzyk Kozieradka	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
Komonica	<i>Mesorhizobium loti</i>
Ciecierzyc	<i>Mesorhizobium ciceri</i> <i>Mesorhizobium mediterraneum</i>

Odbudowa zdrowej mikrobioty glebowej ma również znaczenie dla ochrony roślin przed rozwojem patogenów grzybowych. Wilgotna gleba, utrata naturalnych drapieżników oraz duża ilość martwego i gnijącego materiału roślinnego stanowi warunki sprzyjające rozwojowi patogenów grzybowych, które będą zagrożeniem dla gatunków roślin uprawianych w następstwie. Zdrowa mikrobiota glebowa zapewnia konkurencję patogenom oraz występowanie bakterii żerujących na patogenach grzybowych, co zmniejsza ich rozprzestrzenianie się.

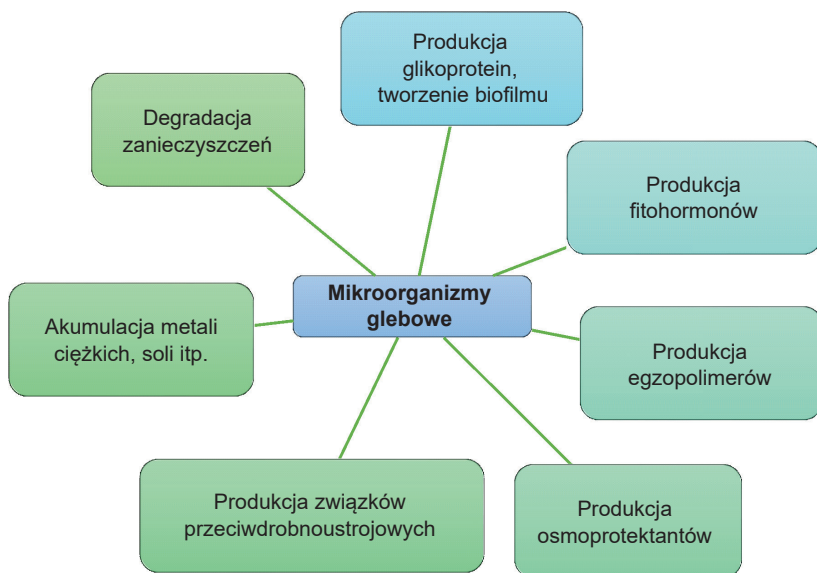


Figura 3. Przykłady mechanizmów mikroorganizmów wspomagających glebę i rośliny (opracowanie własne)

Odkazanie i zwalczanie patogenów

W badaniach rutynowych wskaźnikami stanu sanitarnego gleby są:

- ♦ obecność jednostek tworzących kolonie bakterii z rodzaju *Salmonella*,
- ♦ miano bakterii z grupy coli oraz bakterii *C. perfringens*,
- ♦ obecność i ocena stopnia żywotności jaj pasożytów jelitowych *A. lumbricoides* i *T. trichiura*.

W przypadku podejrzenia zanieczyszczenia sanitarnego gleby należy zgłosić ten fakt do władz lokalnych oraz instytucji kontroli (stacji sanitarno-epidemiologicznej) i instytucji doradczych dla rolnictwa (okręgowe stacje chemiczno-rolnicze). Wskazane jest, aby z takiego terenu pobrać kilka próbek gleby i przekazać je do laboratorium stacji sanitarno-epidemiologicznej (lub innego wykwalifikowanego laboratorium) w celu wykonania analiz dotyczących występowania potencjalnie patogennych mikroorganizmów. Muł i osad popowodziowy zalegające na glebach zagrożonych zanieczyszczeniem sanitarnym również mogą zawierać w sobie potencjalne patogeny. Zaleca się, by podczas ich usuwania z pól stosować maseczki i rękawice ochronne. W przypadku potwierdzenia przez laboratorium skażenia sanitarnego należy przeprowadzić odkazanie gleby zgodnie z zaleceniami inspekcji sanitarnej.

Zalana gleba może być również rezerwuarem patogenów roślinnych, m.in. grzybów *Fusarium* sp., *Verticilium* sp. i *Botrytis cinerea*, co stanowi zagrożenie dla roślin uprawianych w następstwie. Poza oczyszczeniem gleby z obumierających i martwych roślin warto rozważyć stosowanie biofungicydów i fungicydów, aby ochronić rośliny przed chorobami.

Jedną z podstawowych metod sanitacji jest zastosowanie wapna, które posiada właściwości dezynfekcyjne. Wapno tlenkowe działa

zarówno jako środek odkażający, jak i neutralizujący metale ciężkie. Na rynku są dostępne dezynfektanty, które można samodzielnie stosować również w pomieszczeniach gospodarskich. Ważne, by przed odkażaniem gleby jej powierzchnia została oczyszczona z zalegających resztek zwierzęcych, roślinnych, odpadów i osadu popowodziowego.

Potencjał mikroorganizmów w regeneracji gleb po powodzi

Natlenianie gleby

Mikroorganizmy mogą pośrednio poprawiać natlenienie gleby. Choć same nie produkują tlenu jak rośliny (przez fotosyntezę), to jednak ich działalność może przynosić szereg korzyści, tj.:

- ♦ poprawiać strukturę gleby (np. zwiększając porowatość);
- ♦ wspierać rozwój korzeni roślin, które z kolei poprawiają napowietrzenie;
- ♦ stymulować rozwój organizmów glebowych (np. dżdżownic), które mechanicznie napowietrzają glebę.

Do mikroorganizmów, które pomagają poprawiać natlenienie gleby należą, m.in.:

- ♦ *Azotobacter* sp.;
- ♦ *Bacillus* sp.;
- ♦ *Pseudomonas* sp.;
- ♦ *Streptomyces* sp.;
- ♦ *Glometomycots* sp.;
- ♦ *Trichoderma* sp.

Przywracanie żyzności

W przygotowaniu gleby, a także w trakcie uprawy, należy rozważyć zastosowanie biopreparatów, w tym nawozowych produktów mikrobiologicznych (NPM), które mogą wspomóc regenerację gleby i wzrost roślin.

Wysoka liczebność bakterii z rodzajów *Pseudomonas*, *Bacillus* oraz *Azotobacter* w ryzosferze, czyli w bezpośrednim sąsiedztwie korzeni

włośnikowych roślin, zwiększa dostępność fosforu i żelaza poprzez wytwarzanie specyficznych chelatów – sideroforów. Produkowany przez te bakterie kwas ketoglutaryowy stymuluje rozwój systemu korzeniowego i jego aktywność w pobieraniu składników pokarmowych. Bakterie te produkują kwas salicylowy oraz antybiotyki, które działają przeciwko patogenom roślinnym. Inną pożyteczną bakterią występującą w NPM jest *Bacillus subtilis*, która tworzy siderofory, produkuje antybiotyki, egzopolisacharydy i rozkłada resztki roślinne. Kolejną istotną grupą mikroorganizmów są bakterie fosforowe, np. *Bacillus megaterium*, które udostępniają fosfor z form uwstecznionych i sprawiają, że powraca on do formy przyswajalnej dla roślin.

Tabela 2. Właściwości wybranych mikroorganizmów obecnych w biopreparatach (opracowanie własne na podstawie: Preparaty mikrobiologiczne... 2024)

Mikroorganizm	Właściwości
<i>Pseudomonas</i> sp.	zwiększanie dostępności żelaza produkcja kwasu salicylowego łagodzenie warunków niedotlenienia poprawa zawartości chlorofilu i biomasy roślin
<i>Bacillus</i> sp.	produkcja kwasu ketoglutaryowego produkcja antybiotyków produkcja egzopolimerów, osmoprotektantów, przeciwutleniaczy rozkład resztek roślinnych solubizacja fosforu, potasu synteza fitohormonów składnik biofungicydów, insektycydów ograniczanie występowania chorób roślinnych stymulacja wzrostu roślin

cd. tab. 2

Mikroorganizm	Właściwości
<i>Azotobacter</i> sp.	wiązanie azotu atmosferycznego synteza fitohormonów (m.in. auksyn, giberelin) produkcja związków hamujących rozwój patogenów (szczególnie grzybowych) solubizacja fosforanów, potasu, cynku produkcja alginianów
Bakterie kwasu mlekowego, rodzina <i>Lactobacteriaceae</i>	hamowanie wzrostu grzybów pleśniowych i bakterii patogennych (produkcja bakteriocyn, substancji przeciwgrzybiczych) ograniczanie występowania mykotoksyn przyśpieszanie biodegradacji substancji organicznej
Grzyby mykoryzowe	wspomaganie pobierania fosforu, potasu, siarki i cynku stymulacja roślin do produkcji i wydzielania związków o charakterze obronnym zabezpieczenie korzeni przed infekcją powodowaną przez patogeny, składniki insektycydów
<i>Trichoderma</i> sp.	produkcja antybiotyków promocja wzrostu roślin zwiększanie pobierania składników odżywczych stymulacja roślin do produkcji i wydzielania związków o charakterze obronnym wzrost kiełkowania nasion

Tabela 3. Wyniki badań z wykorzystaniem mikroorganizmów w warunkach nadmiernej wilgotności (opracowanie własne na podstawie: Ali i in. 2018, Barnawal i in. 2012, Jalal i in. 2023)

Mikroorganizm	Działanie	Roślina testowa
<i>Pseudomonas veronii</i> (bakteria)	łagodzenie uszkodzeń związanych ze stresem wodnym poprzez poprawę zawartości chlorofilu i biomasy roślin	<i>Sesamum indicum</i> (sezam)
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> , <i>Herbaspirillum seropedicae</i> , <i>Serratia ureilytica</i> , <i>Ochrobactrum rhizosphaerae</i> (bakteria)	wzrost plonów o 46,5% w porównaniu z niezaszczepionymi roślinami w warunkach podmokłych	<i>Ocimum sanctum</i> (bazylia)
<i>Pseudomonas</i> sp. (bakteria)	łagodzenie warunków niedotlenienia	<i>Cucumis sativus</i> (ogórek) <i>Lycopersicon esculentum</i> (pomidor) <i>Brassica napus</i> (rzepak)

Wyżej wymienione mikroorganizmy należy stosować zgodnie z instrukcją producenta. Na terenach popowodziowych warto stosować preparaty doglebowe, by oddziaływały zarówno na glebę, jak i rośliny. Oczywiście nie zaleca się stosowania kilku/kilkunastu różnych preparatów w celu wprowadzenia jak największej liczby mikroorganizmów

do gleby, gdyż jest to bezcelowe. Należy wybrać preparaty pochodzące ze zweryfikowanego źródła i zawierające ok. 10^7 CFU (jednostek tworzących kolonie) mikroorganizmów na 1 g/mL preparatu. Wprowadzenie jednego rodzaju pożytecznych mikroorganizmów może poprawić kondycję gleby i będzie oddziaływać korzystnie na resztę mikrobioty glebowej.

Preparaty stosowane dolistnie w początkowym okresie wzrostu roślin mogą być pomocne w walce z patogenami roślinnymi oraz wspomagać rośliny, gdy gleba nie może być jeszcze nawożona bezpośrednio ze względu na występowanie nieprzepuszczalnej warstwy lub zbyt dużą wilgotność. W takiej sytuacji na rośliny, które nie były całkowicie zalane wodą powodziową (np. krzewy, drzewa), można stosować dolistny nawóz azotowy oraz preparaty mikrobiologiczne.

Odkazanie i zwalczanie patogenów

Niektóre mikroorganizmy występujące w preparatach mikrobiologicznych dostępnych na rynku posiadają zdolność do produkcji substancji przeciwdrobnoustrojowych, co ogranicza występowanie patogenów. Do takich mikroorganizmów należą m.in.:

- ◆ *Bacillus subtilis*;
- ◆ *Bacillus thuringiensis*;
- ◆ bakterie kwasu mlekowego;
- ◆ grzyby z rodzaju *Trichoderma*.

Stosowanie preparatów z tymi mikroorganizmami pomaga przywrócić homeostazę w glebie oraz hamuje wzrost patogenów. Bakterie z rodzaju *Bacillus*, które produkują różnego rodzaju związki o działaniu przeciwdrobnoustrojowym, wchodzi w skład biofungicydów i bioinsektycydów. Mogą być one stosowane jako środki ochronne. Niektóre preparaty mogą być zalecane do bioasekuracji pomieszczeń inwentarskich.

Usuwanie szkodliwych substancji

Niektóre mikroorganizmy występujące w preparatach mikrobiologicznych dostępnych na rynku posiadają zdolność do rozkładu pestycydów, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, barwników oraz do wiązania metali ciężkich. Wśród nich można wyróżnić następujące mikroorganizmy:

- ◆ *Pseudomonas* sp.;
- ◆ *Bacillus* sp.;
- ◆ *Rhodococcus* sp.;
- ◆ *Mycobacterium* sp.;
- ◆ *Alcaligenes* sp.;
- ◆ *Streptomyces* sp.;
- ◆ *Trametes versicolor*;
- ◆ *Aspergillus niger*;
- ◆ *Yarrowia lipolytica*.

Mogą one wspomagać i przyspieszać remediację terenów zanieczyszczonych szkodliwymi substancjami (np. pestycydami, metalami ciężkimi) w wyniku powodzi.

Podsumowanie

Zaburzenia w mikrobiomie i żyzności gleby powstałe w wyniku powodzi mogą być długotrwałe i utrudniać prace polowe. Celowe jest podjęcie działań w celu przyspieszenia regeneracji takich terenów.

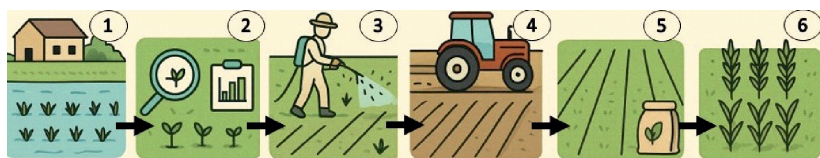


Figura 4. Schemat postępowania na terenach popowodziowych:

- (1) osuszenie i oczyszczenie pola;
- (2) wykonanie badań gleby;
- (3) odkażenie gleby (jeżeli jest taka konieczność);
- (4) orka, napowietrzenie gleby;
- (5) nawożenie gleby – mineralne i biologiczne;
- (6) uprawa (opracowanie własne)

W przypadku gleby dotkniętej zalaniem najważniejsze jest jej napowietrzenie. Następnie trzeba zatroszczyć się o żyzność gleby i jej mikrobiom. Bardzo dobrą praktyką jest wykonanie przynajmniej podstawowych badań gleby w celu określenia poziomu składników odżywczych i pH. Należy również zwrócić uwagę na możliwość zanieczyszczenia gleby patogenami lub chemikaliami.

Polecana literatura

- [1] Ali, S., Khan, M.A. & Kim, W.C. (2018): *Pseudomonas veronii* KJ mitigates flood stress-associated damage in *Sesamum indicum* L. Applied Biological Chemistry, 61, 575–585. <https://doi.org/10.1007/s13765-018-0392-2>
- [2] Barnawal D., Bharti N., Maji D., Chanotiya C.S., Kalra A. (2012): 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase-containing rhizobacteria protect *Ocimum sanctum* plants during waterlogging stress via reduced ethylene generation. Plant Physiology and Biochemistry, 58, 227-35. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.07.008. Epub 2012 Jul 20. PMID: 22846334.
- [3] Berghols P.W. i współaut. (2016): Spatiotemporal Analysis of Microbiological Contamination in New York State Produce Fields following Extensive Flooding from Hurricane Irene. Journal of Food Protection, 79, 384–391.
- [4] Blöschl G. i współaut. (2017): European floods. Science. 357, 588–590.
- [5] Dobrzański A. (2010): Chwasty i zabiegi agrotechniczne po powodzi oraz na polach podtopionych. Instytut Warzywnictwa im. Emila Chroboczka w Skierniewicach.
- [6] EASAC (2018): New data confirm increased frequency of extreme weather events, European national science academies urge further action on climate change adaptation. 1980, 2–5.
- [7] European Union (2007): The European Floods Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. Off. J. Eur. Union 288, 27–34.
- [8] Furtak K., Marzec-Grządziel A. (2025): Microbial Hazard in Cultivated Soils Located in the Floodplains of the Vistula River Valley, Poland – Preliminary Research. Water, Air, & Soil Pollution, 236, 614.
- [9] Furtak K. (2024): Możliwość wykorzystania wody popowodziowej – analiza zagrożenia mikrobiologicznego. W: W kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, możliwości i wyzwania. Red. A. Kowalik-Klimczak, T. Dąbrowski. Wydawnictwo Naukowe Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 47–56.
- [10] Global Water Pathogen Project (GWPP): <http://www.waterpathogens.org/>

- [11] Jalal A., Oliveira C.E.d.S., Rosa P.A.L., Galindo F.S., Teixeira Filho M.C.M. (2023): Beneficial Microorganisms Improve Agricultural Sustainability under Climatic Extremes. *Life* 2023, 13, 1102. <https://doi.org/10.3390/life13051102>
- [12] Maliszewska-Kordybach B. i współaut. (2012): Effect of flooding on contamination of agricultural soils with metals and PAHs: The middle Vistula Gap case study. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 687–697.
- [13] Mavrouli M. i współaut. (2022): Infectious Diseases Associated with Hydrometeorological Hazards in Europe: Disaster Risk Reduction in the Context of the Climate Crisis and the Ongoing COVID-19 Pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 10206.
- [14] Mentaschi L. i współaut. (2017): Global changes of extreme coastal wave energy fluxes triggered by intensified teleconnection patterns. *Geophysical Research Letters*, 44, 2416–2426.
- [15] Portal Flood list: <http://floodlist.com/> (aktualny wykaz zdarzeń hydrologicznych na całym świecie).
- [16] Portal Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB: <https://imgw.pl/>
- [17] Portal powodz.gov: <https://powodz.gov.pl/>
- [18] Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska. Praca zbiorowa. Red. A. Gałązka, J. Podleśny; Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy 2024.
- [19] Taylor J. i współaut. (2011): Flood management: Prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments. *Environment International*, 37, 1019–1029.
- [20] Voudoukas M.I. i współaut. (2017): Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*.
- [21] Zalecenia popowodziowe dla rolników 2010 i 2024. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa: <https://www.iung.pl/zalecenia-popowodziowe-dla-rolnikow/>
- [22] Zalecenia popowodziowe Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/zalecenia-dla-rolnikow-z-terenow-dotknietych-powodzi> (07.10.2024)
- [23] Zasada A.A. i współaut. (2014): Screening for anthrax occurrence in soil of flooded rural areas in Poland after rainfalls in spring 2010. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21, 460–463.

ISBN 978-83-7562-438-0

Publikacja elektroniczna