

Wpływ wilgotności na tempo rozkładu pestycydów w glebie

Magdalena Dziągwa-Becker

Zakład Herbologii, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy

20.11.2025

Pestycydy

- ▶ **Pestycydy** to substancje (syntetyczne lub naturalne) służące do zwalczania niepożądanych organizmów, takich jak szkodniki, chwasty i patogeny, w celu ochrony roślin, zwierząt i ludzi. Stanowią one szeroką kategorię, która obejmuje:
- ▶ **Środki ochrony roślin:** Są stosowane w rolnictwie, sadownictwie i leśnictwie.
 - Herbicydy: zwalczają chwasty
 - Insektycydy: zwalczają owady.
 - Fungicydy: zwalczają grzyby i choroby roślin.
- ▶ **Inne zastosowania:**
 - Rodentycydy: służą do zwalczania gryzoni.
 - Algicydy: zwalczają glony.



Europejski Zielony Ład zakłada zmniejszenie użycia chemicznych pestycydów o 50%, a nawozów o 20% do 2030 roku. Oznacza to, że rolnicy będą musieli przestawić się na nowe metody ochrony roślin.

W 2023 roku globalne zużycie pestycydów wyniosło 3,73 miliona ton **substancji czynnej**. Najwięcej pestycydów zużyto w Brazylii, Stanach Zjednoczonych, Indonezji, Argentynie i Chinach. W tym samym roku, Unia Europejska odnotowała rekordowo niskie zużycie pestycydów, wynoszące **292 tysiące ton**.

► Dlaczego należy ograniczyć zużycie pestycydów?

- Pestycydy syntetyczne są szkodliwe
- Prowadzą do niszczenia bioróżnorodności
- Odporność wśród patogenów roślin, co prowadzi do poszukiwania bezpiecznych, alternatywnych środków

► Pestycydy niskiego ryzyka (biopestycydy) są to substancje spełniające kryteria określone w punkcie 5 aneksu II do rozporządzenia Komisji Europejskiej nr 1107/2009. Nowe środki powstają na bazie:

- substancji pochodzenia botanicznego (związki bioaktywne, ekstrakty roślinne – np. olejki eteryczne z lawendy, cytrusów, drzewa herbacianego)
- mikroorganizmów (np. grzyby, które są substancjami czynnymi zarówno biofungicydów, jak i bioinsektycydów.)
- dwuniciowego RNA



- ▶ Przepisy UE w zakresie środków ochrony roślin mają na celu ochronę zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego oraz zapobieganie barierom handlowym.
- ▶ Zanim pestycyd (także biopestycyd) zostanie dopuszczony do użytku, Unia Europejska wymaga by był poddany ocenie pod kątem potencjalnego ryzyka, jakie może stwarzać dla środowiska, co nosi ogólną nazwę ocena ryzyka środowiskowego. Zgodnie z podejściem EFSA (Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności) jest to proces oceny prawdopodobieństwa i skutków negatywnego wpływu określonych czynników na środowisko.
- ▶ EFSA stosuje cztery główne etapy:
 - identyfikację zagrożeń
 - charakterystykę zagrożeń
 - ocenę narażenia
 - charakterystykę ryzyka



Jakie testy są wymagane podczas rejestracji pestycydów/biopestycydów?

Rejestracja pestycydów wymaga szerokiego zakresu testów w celu oceny potencjalnych zagrożeń dla zdrowia ludzi i środowiska. Testy te obejmują badania chemii produktu, toksyczności ostrej i przewlekłej, losów w środowisku oraz wpływu na organizmy niebędące przedmiotem zwalczania, takie jak dzikie zwierzęta, ryby i rośliny.

1. **Chemia produktu:** Testy te charakteryzują właściwości chemiczne i fizyczne pestycydu, w tym jego skład, stabilność i potencjał zanieczyszczeń. Przykładami są badania rozpuszczalności, prężności par i stabilności w różnych warunkach.
2. **Wpływ na zdrowie ludzi:**
 - ▶ Badania toksyczności ostrej: ocena natychmiastowych skutków zdrowotnych wynikających z jednorazowego, krótkotrwałego narażenia (doustnego, skórniego, inhalacyjnego).
 - ▶ Badania toksyczności subchronicznej: badanie skutków zdrowotnych wynikających z powtarzających się narażeń w określonym czasie.
 - ▶ Badania toksyczności chronicznej: badanie długoterminowych skutków zdrowotnych wynikających z długotrwałego narażenia.
 - ▶ Badania neurotoksyczności: ocena potencjalnych skutków dla układu nerwowego.
 - ▶ Badania toksyczności rozwojowej i reprodukcyjnej: badanie wpływu na rozwój i reprodukcję. Badania rakotwórczości: badanie potencjalnego działania pestycydów na raka.
 - ▶ Badania metabolizmu: badanie sposobu przetwarzania pestycydów w organizmie.



This block contains a collage of twelve icons related to pest management. The icons include: a blue fly, a yellow measuring tape, a grey mouse, a red pill, a black beetle, a blue bottle with a spider warning label, a yellow net, a brown beetle, a large yellow sprayer with a mosquito warning label, a red beetle, a blue sprayer with a bee warning label, and two mosquitoes. These icons are arranged in a grid-like fashion against a white background.

-



- ▶ Badania, włączając w to metabolizm środków i preparatów botanicznych powinny być przeprowadzane z wykorzystaniem międzynarodowo przyjętych **protokołów**. Zalecane są metody badań opisane przez **OECD** (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) lub przedstawione w dyrektywach Komisji Europejskiej 87/432/EWG oraz 67/548/WE - Załącznik 5.
- ▶ Wskazane jest, aby upewnić się, że stosowana jest najbardziej aktualna wersja poszczególnych wytycznych dotyczących badań.
- ▶ Wykorzystanie innych metod badawczych, różniących się od międzynarodowo przyjętych protokołów powinno być uzasadnione. Protokoły specjalnych badań różniących się od badań standardowych powinny być w każdym przypadku opracowywane indywidualnie.
- ▶ W celu zapewnienia powszechnej akceptacji otrzymanych danych należy przeprowadzać badania zgodnie z zasadami Dobrych Praktyk Laboratoryjnych (ang. Good Laboratory Practice, **GLP**) opisanych w dyrektywie Rady 87/18/EWG, natomiast danym powinno towarzyszyć oświadczenie o zgodności z GLP.



Wartość DT_{50} i DT_{90} - co się za tym kryje?

- ▶ Są to terminy związane z rozpadem substancji: Wartości te są używane do charakterystyki tempa rozpadu substancji chemicznych w środowisku.
- ▶ Wartości **DT50** i **DT90** oznaczają odpowiednio okres półtrwania (czas potrzebny na rozpad 50%) oraz okres, w którym stężenie substancji spadnie do 10% wartości początkowej. Wartości te są powiązane z kinetyką rozpadu i są szczególnie ważne w chemii, badaniach środowiskowych (np. degradacji pestycydów).
- ▶ **WAŻNE** Tempo rozpraszania substancji chemicznej w środowisku jest wypadkową degradacji zachodzącej pod wpływem procesów biotycznych i abiotycznych. DT_{50} i DT_{90} określone w warunkach laboratoryjnych, czyli w stabilnych warunkach środowiskowych mogą być zupełnie inne niż rozkład pestycydów w warunkach zwiększonej wilgotności gleby. Kompleksowe badania pokazujące wpływ wilgotności na DT_{50} i DT_{90} nie są prowadzone.

Protokół OECD 307

Jako jeden z testów stosowanych do oceny trwałości substancji w środowisku można wymienić normę OECD 307, która polega na badaniu czasu zalegania substancji w glebie i wyznaczeniu wartości DT50 i DT90.

Dane na temat trwałości w glebie są jednym z wymaganych testów podczas procesu oceny czy rejestracji pestycydów.

Jakie są wymogi odnośnie prowadzenia doświadczenia?

1. Wilgotność utrzymywana na poziomie 60% pojemności polowej.
2. Temperatura utrzymywana pomiędzy 18-21 st. C
3. Reżim świetlny dzień/noc

Zastosowanie do tego doświadczenia komory klimatycznej

Pojemność polowa

- ▶ Pojemność polowa to ilość wody, którą gleba zatrzymuje po swobodnym odpływie grawitacyjnym nadmiaru wody po deszczu lub nawadnianiu. Jest to stan, w którym wszystkie duże pory glebowe są wypełnione powietrzem, a mniejsze pory w dalszym ciągu są wypełnione wodą. Pojemność polowa jest kluczowa dla rolnictwa, ponieważ określa zdolność gleby do retencji wody, od której zależy wzrost i rozwój roślin.
- ▶ **Co oznacza 60% polowej pojemności wodnej?**
- ▶ Odzwierciedla stan uwilgotnienia; Jest to stan, w którym gleba jest idealnie nawodniona po ustąpieniu działania sił grawitacyjnych, a wszystkie pory są wypełnione wodą dostępną dla roślin.
- ▶ Optymalny dla zbóż: Gleby o polowej pojemności wodnej wynoszącej około 60% są bardzo dobre do uprawy zbóż.

Jaki może być DT50 - czas połowicznego rozpadu?

- ▶ Kofeina (alkaloid purynowy) - w organizmie ludzkim około 4-6h
- ▶ Olejek cytrusowy - oceniono na podstawie d-limonenu - max 3 doby
- ▶ Okres połowicznego rozkładu **glifosatu** w glebie jest zmienny i zależy od warunków, ale standardowo wynosi około **12-15 dni**. W sprzyjających warunkach (np. wilgotność, obecność tlenu) może trwać krócej (**nawet kilka dni**), podczas gdy w trudniejszych warunkach (np. sucha gleba) może być znacznie dłuższy, sięgając **nawet kilku miesięcy**.
- ▶ Czas połowicznego rozkładu **metrybuzyny** nie jest jednoznacznie podany, ponieważ zależy od warunków glebowych (np. pH), ale jest to okres rzędu **kilku miesięcy**. Badania wskazują na medianę okresu rozpadu wynoszącą **około 13 dni** w specyficznych warunkach laboratoryjnych, jednak w glebie trwa to znacznie dłużej. W praktyce oznacza to, że metrybuzyna może zalegać w glebie **nawet do 18 miesięcy lub dłużej**, szczególnie na glebach o niskim pH (poniżej 6.2), co wpływa na bezpieczeństwo upraw następnych, takich jak buraki cukrowe, które wymagają co najmniej 18-miesięcznej przerwy w uprawie po zastosowaniu tego herbicydu



Przykłady pestycydów, które mogą zalegać w glebie

- **Diflufenikan:** Okres połowicznego rozpadu diflufenikanu w glebie może trwać od kilku miesięcy do nawet 18 miesięcy lub dłużej, w zależności od warunków
- **Mezotrion:** Herbicyd ten może zalegać w glebie bardzo długo, nawet do 12 miesięcy lub dłużej, szczególnie na glebach o niekwaśnym pH.
- **Chlomazon:** W zależności od warunków środowiskowych czas ten waha się od 30 do 150 dni. Substancje te charakteryzują się długim okresem zalegania i mogą stwarzać problemy dla roślin następczych.

• **Substancje z grupy sulfonilomoczników:** Ich rozkład jest wolniejszy w glebach o wyższym pH, a szybciej degradują się w glebach o niskim odczynie. Stosowane są w dawce kilkunastu gram na hektar. Ta niewielka ilość jest często dużym problemem do wykrycia w laboratorium, natomiast jest to ilość odczuwalna dla buraków. **Chlorosulfuron** przy pH powyżej 7 **nie hydrolizuje** w glebie. **DT50 może dochodzić do 144 dni** w określonych warunkach glebowych, co więcej dowiedziono, że **aktywność mikrobiologiczna** odgrywa dużą rolę w degradacji tego herbicydu.

• **Terbutylazyna:** Podobnie jak inne triazyny, może długo utrzymywać się w glebie, **szczególnie w warunkach suszy, do 167 dni**

Niektóre substancje są bardziej mobilne w glebie, inne mniej. Przykładowo, substancje o wysokiej sorpcji glebowej (niska mobilność) jak pendimetalina, pozostają bliżej powierzchni, podczas gdy te o niskiej sorpcji (wysoka mobilność) jak nikosulfuron, mogą przemieszczać się głębiej.

Jakie czynniki wpływają na rozkład pestycydów?

Można wyróżnić 4 główne:

- ▶ 1. Temperatura
- ▶ 2. pH gleby
- ▶ 3. Zawartość materii organicznej - w której skład wchodzi resztki roślinne, próchnica glebowa oraz żywe organizmy (bakterie, grzyby)
- ▶ 4. **Wilgotność gleby**

Warto zauważyć, że rozkład pestycydów w glebie zachodzi przede wszystkim poprzez hydrolizę, fotolizę i biodegradację, przy czym ta ostatnia jest uznawana za główny mechanizm. Aktywności mikroorganizmów glebowych sprzyja szybszej biodegradacji pestycydów.

Czynniki biotyczne i abiotyczne wpływające na tempo rozkładu pestycydów:

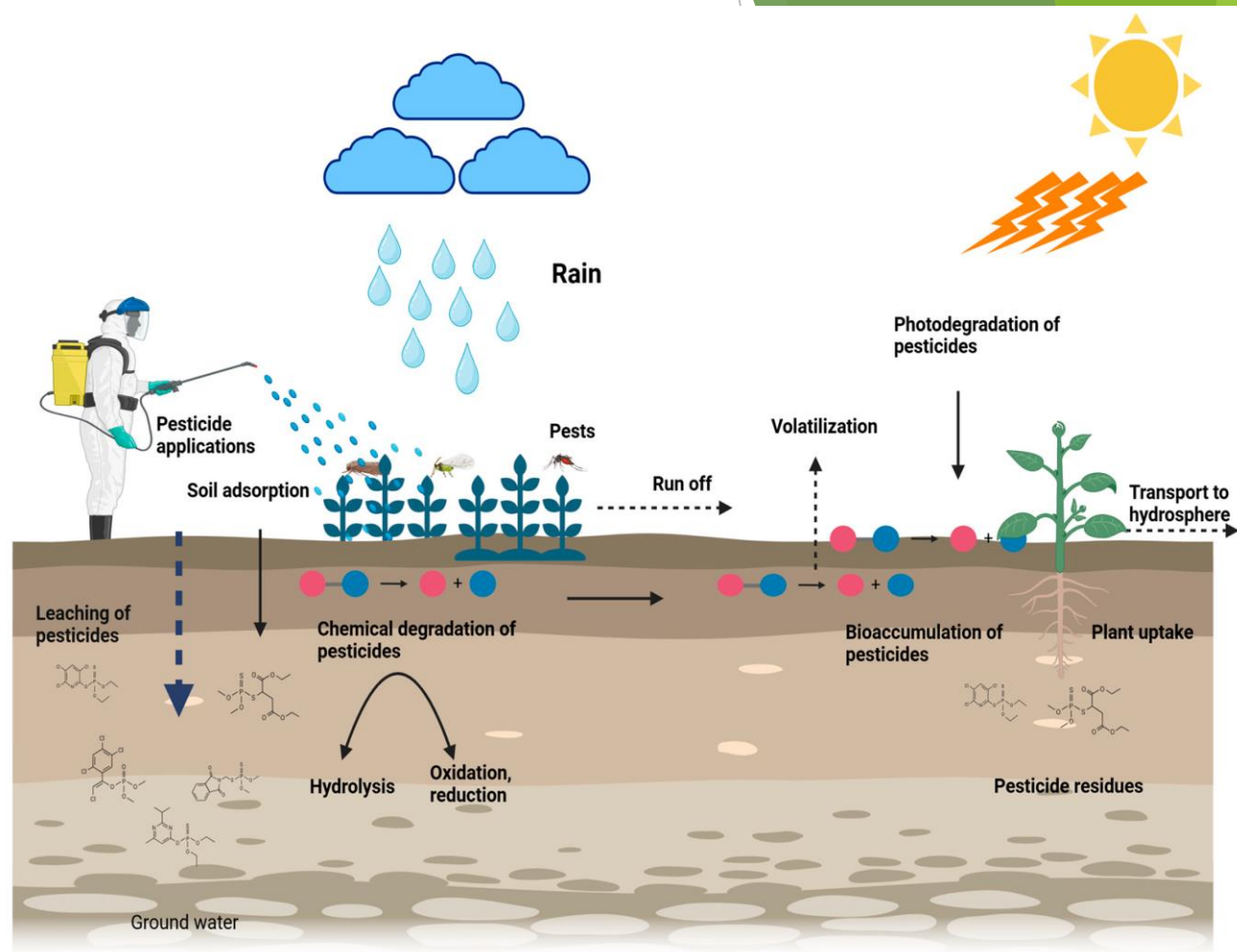
- ▶ **Abiotyczne** transformacje mogą być **fizyczne** (np. fotoliza) lub **chemiczne** (**hydroliza**, utlenianie, redukcja).
- ▶ **Biotyczne** - transformacje związane z żywymi organizmami

Intensywność i szybkość sorpcji i degradacji pestycydów jest dodatnio skorelowana z temperaturą, wilgotnością i biomasą mikroorganizmów glebowych.

Wymywanie substancji aktywnych pestycydów spowodowanych powodzią:

- ▶ Wyciek substancji czynnych spowodowany powodzią oznacza, że niebezpieczne materiały, takie jak chemikalia pochodzące z wycieków lub odpady ze ścieków, rozprzestrzeniają się wraz z wodami powodziowymi, co może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia i środowiska. Wycieki te mogą wystąpić w wyniku uszkodzenia zbiorników przemysłowych lub magazynowych, przeciążenia systemów kanalizacyjnych lub zmieszania się zanieczyszczonych odpadów komunalnych i przemysłowych z wodami powodziowymi. Rozwiązanie tego problemu wymaga zarówno długoterminowych działań łagodzących, jak i natychmiastowych środków ostrożności w trakcie i po powodzi, takich jak unikanie kontaktu z wodą powodziową, zapewnienie odpowiedniego oczyszczania oraz wdrożenie napraw konstrukcyjnych i środków zapobiegających szkodom wyrządzonym przez wodę.
- ▶ Według ekologów i działaczy społecznych, jedynym rozwiązaniem zapobiegającym temu szkodliwemu zanieczyszczeniu, które może mieć wpływ na wszystkie gatunki, w tym na ludzi, jest eliminacja pestycydów będących źródłem

- ▶ Rozkład pestycydów obejmuje procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne, prowadzące do przekształcenia ich w **metabolity wtórne**, które mogą być bardziej lub mniej toksyczne niż pierwotny pestycyd. Proces ten może być przyspieszany przez mikroorganizmy, światło słoneczne (fotoliza) oraz reakcje chemiczne w środowisku np. **hydroliza**: reakcja z wodą, która może prowadzić do rozpadu cząsteczki pestycydu.



Yasir, M.; Hossain, A.; Pratap-Singh, A. Pesticide Degradation: Impacts on Soil Fertility and Nutrient Cycling. *Environments* **2025**, *12*, 272. <https://doi.org/10.3390/environments12080272>

Problem bioakumulacji i biomagnifikacji pestycydów

- ▶ Wyniki badań pokazują, że roślinność w zanieczyszczonej glebie wchłania pestycydy, które ulegają bioakumulacji i prowadzą do wzrostu skażenia, co może dalej rozprzestrzeniać się w całym ekosystemie i wpływać na lądowe sieci pokarmowe.
- ▶ Bioakumulacja w roślinach, zagraża sieci pokarmowej, ponieważ wiele roślin nadbrzeżnych stanowi istotne źródło pożywienia dla owadów.
- ▶ Średnie stężenie pestycydów może być aż do 3 razy wyższe w terenach regularnie zalewanych w porównaniu z terenami rzadko zalewanymi, zarówno w glebie, jak i roślinach
- ▶ Bioakumulacja i biomagnifikacja pestycydów zostały udokumentowane jako **zagrożenie dla bioróżnorodności**. Nawet niskie stężenia pestycydów u podstawy sieci pokarmowej mogą poprzez biomagnifikację prowadzić do wzrostu ich stężenia na wyższych poziomach troficznych łańcucha pokarmowego, co prowadzi do kaskadowych efektów.
- ▶ Przenoszenie zanieczyszczeń z wody na ląd przez powódź może prowadzić do ich akumulacji w glebie, a tym samym do przedostania się do sieci pokarmowej poprzez absorpcję przez rośliny.

Możliwe konsekwencje

- ▶ Degradacja pestycydów może zmieniać właściwości fizykochemiczne gleby, wpływając w szczególności na retencję wody i szybkość filtracji. Pozostałości po zdegradowanych pestycydach mogą modyfikować teksturę i strukturę gleby, wpływając na agregację cząstek gleby.
- ▶ Może to zmniejszyć porowatość i zatykać pory glebowe, co prowadzi do zmniejszenia przenikania wody.
- ▶ Ponadto zmiany w aktywności mikrobiologicznej i zawartości materii organicznej spowodowane rozkładem pestycydów mogą osłabić zdolność gleby do zatrzymywania wilgoci. W rezultacie gleby mogą stać się mniej zdolne do wspierania zdrowego wzrostu roślin, co ostatecznie zmniejsza żyzność gleby i produktywność rolnictwa.

Jakie mogą być skutki spożycia płodów rolnych z terenów popowodziowych?

- ▶ W Unii Europejskiej MRL (maksymalne dopuszczalne poziomy pozostałości) to prawne limity dla pestycydów w żywności, ustalane tak, aby zapewnić bezpieczeństwo konsumentów. W przypadku braku konkretnych przepisów, ogólny limit wynosi 0,01 mg/kg produktu, a MRL są zazwyczaj ustalane na znacznie niższym poziomie niż dawki mogące zaszkodzić zdrowiu. Jeśli MRL nie jest zachowane to:
- ▶ niektóre choroby i schorzenia stwarzają ryzyko lub konsekwencje związane z wysokim narażeniem na pestycydy pochodzące z zanieczyszczonej gleby, wody lub innych źródeł.
- ▶ należą do nich różne rodzaje nowotworów (takie jak chłoniak nieziarniczy, rak mózgu i rak nerek), zaburzenia neurologiczne (takie jak choroba Parkinsona i Alzheimera),
- ▶ choroby układu oddechowego (takie jak astma), choroby układu krążenia
- ▶ problemy rozwojowe u dzieci

Podsumowanie

- ▶ Zmniejszenie zużycia syntetycznych pestycydów to konieczność, a nie tylko kolejna, martwa dyrektywa, jednakże ze względu na złożony proces rejestracji nowych środków w UE wachlarz nowych środków nie jest jeszcze tak różnorodny, jak można by oczekiwać
- ▶ Na szali jest zdrowie nasze i przyszłych pokoleń, ochrona bioróżnorodności a także zmniejszenie ryzyka negatywnych następstw w przypadku skrajnych warunków pogodowych jak powódź
- ▶ Zwiększony przepływ wody powoduje wymywanie pestycydów z profilu glebowego, wzmożony rozkład substancji aktywnej, a w konsekwencji prowadzi do bioakumulacji i biomagnifikacji środków ochrony roślin w środowisku
- ▶ Narażone mogą być płody rolne, w których mogą akumulować się toksyczne substancje

Dziękuję za uwagę