DRENAŻ + WYMYWANIE

Dobre Praktyki w celu ograniczenia zanieczyszczenia wody środkami ochrony roślin w wyniku drenażu i wymywania

TOPPS
Water Protection

O inicjatywie TOPPS

TOPPS oznacza “Train Operators to Promote best management Practices & Sustainability” czyli „Szkolenie Operatorów w celu Promocji Dobrych Praktyk i Zrównoważonej Ochrony Roślin”.
Pierwszy, trzyletni projekt TOPPS rozpoczął się w 2005 r. i realizowany był w ramach programu UE–Life Environment, współfinansowanego przez Europejskie Stowarzyszenie Ochrony Roślin – ECPA i Komisję Europejską w celu ochrony wody przed zanieczyszczeniami miejscowymi. Angażował on instytucje z 15 państw członkowskich UE, dwunastu partnerów lokalnych i dziewięciu podwykonawców. Kolejne projekty, realizowane od 2008 r. (TOPPS-EOS, TOPPS-PROWADIS), obejmowały większą liczbę partnerów w 23 krajach i rozszerzyły zakres działań promujących także ochronę wody przed zanieczyszczeniami obszarowymi, do których należy znoszenie i spływ powierzchniowy środków ochrony roślin. Konsolidujący projekt TOPPS Water Protection (2015–2018) oferuje szeroki i kompleksowy zestaw dobrych praktyk ograniczających ryzyko zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych ze źródeł miejscowych i obszarowych, z uwzględnieniem spływu powierzchniowego, drenażu i wymywania. Aspekty takie jak optymalizacja opryskiwacza i poprawa infrastruktury są również uwzględnione w kontekście ich możliwości zmniejszenia ryzyka zanieczyszczenia wody przez środki ochrony roślin.

Więcej cennych informacji dla użytkowników środków ochrony roślin, doradców i interesariuszy (broszury, ulotki, prezentacje, szkolenia, a także galeria zdjęć i filmów wideo) można znaleźć na stronach internetowych TOPPS:

www.TOPPS-life.org (broszury i poradniki)
www.TOPPS-drift.org (aplikacja do oceny ryzyka znoszenia)
www.TOPPS-eos.org (aplikacja do optymalizacji opryskiwacza)

Materiały promujące dobre praktyki TOPPS są wynikiem współpracy europejskich ekspertów z ośrodków naukowych i doradczych. Służą one upowszechnianiu informacji, i są wykorzystywane do prowadzenia szkoleń w celu zwiększenia świadomości w zakresie ochrony wód i zrównoważonego stosowania środków ochrony roślin.

Autorzy:

Zespół autorski w zakresie drenażu i wymywania
Brown, Colin; York University, Wielka Brytania
Dyson, Jeremy; Syngenta, Basel, Szwajcaria
Ferrero, Aldo; University of Turin, Włochy
Kubiak, Roland; RLP Agroscience, Niemcy
Laabs, Volker; BASF, Limburgerhof, Niemcy
Marks-Perreau, Jonathan; Arvalis, Boigneville, Francja
Real, Benoit; Arvalis, Boigneville, Francja
Roettele, Manfred; BetterDecisions, Niemcy
Sur, Robin; Bayer, Monheim, Niemcy
Trapp, Matthias; RLP Agroscience, Niemcy

Partnerzy projektu TOPPS-Water Protection 2015–2018:

European Crop Protection Association (ECPA)
E. Van Nieuwenhuyselaan 6, 1160 Brussels, Belgia; www.ecpa.be

Narodowe stowarzyszenia ochrony roślin

Belgia: Inagro vzw, B8800 Rumbeke-Beitem

Francja: Arvalis Inst. du vegetal, FR 91720 Boigneville.
Institut Français de la Vigne et du Vin, 34196 Montpellier.

Niemcy : Industrieverband Agrar e. V.; 60329 Frankfurt am Main.

Polska: Instytut Ogrodnictwa – INHORT, 96-100 Skierniewice.

Grecja: Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment University of Thessaly, Volos.

Węgry: Peter Laszlo, Budapest.

Włochy: Dipartimento di Scienze Agrarie Forestali e Alimentari Universita' degli Studi di Torino; 10095 Grugliasco (TO), Dipartimento di Scienze Agrarie Forestali e Alimentari – DISAFA.
ULF – Meccanica Agraria
Laboratorio Crop Protection Technology, 10095 Grugliasco (TO)

Holandia: Toolbox consortium / Nefyto, Den Haag.

Portugalia: Confederação dos Agricultores de Portugal, Lisbon.
Confederação Nacional das Cooperativas Agrícolas e do Crédito Agrícola de Portugal, Lisbon

Rumunia: USAMV Cluj-Napoca, Department Soil Technical Sciences and Soil Sciences, Cluj-Napoca

Słowacja: AgroInstitute Nitra; Water Res. Inst, Bratislava.
Soil Science Inst. Bratislava. Profesional servis s.r.o. ; 935 87 Santovka.

Hiszpania: Universitad Politècnica de Catalunya – Consorci Escola Industrial de Barcelona; 08036 Barcelona.
Universitad Cordoba, Dept. Ingenerio Rural; 14014 Cordoba.

Fotografie:

Ilustracje bez podania źródła pochodzą od partnerów TOPPS.

Wydanie polskie:
Instytut Ogrodnictwa
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
96-100 Skierniewice
www.inhort.pl

Tłumaczenie:
dr hab. Grzegorz Doruchowski

ISBN: 978-83-65903-27-3

Nakład: 1000 egz.

Skierniewice, 2019

Spis treści

Przedmowa **11**

Wprowadzenie **12**

OGÓLNE INFORMACJE DOTYCZACE DOBRYCH PRAKTYK W ZAKRESIE DRENAŻU I WYMYWANIA PESTYCYDÓW **14**

1 Definicje **14**

a) Profil glebowy 14

b) Tekstura i struktura gleby 15

c) Porowatość glebowe 16

d) Materia organiczna w glebie 16

e) Woda glebowa 17

2 Czynniki wpływające na mobilność środków ochrony roślin w glebie **19**

a) Właściwości substancji 19

b) Warunki glebowe i klimatyczne 21

3 Prawne wymagania ochrony wody **24**

a) Dopuszczalna koncentracja pestycydów w wodzie pitnej i podziemnej 24

b) Dopuszczalna koncentracja pestycydów w wodach powierzchniowych 25

DOBRE PRAKTYKI W CELU OGRANICZENIA DRENAŻU PESTYCYDÓW **26**

1 Systemy drenażowe i kluczowe czynniki **26**
a) Wstęp 26
b) Systemy drenażowe 27
c) Proces podejmowania decyzji 29

2 Diagnoza ryzyka **30**

3 Dobre praktyki zarządzania ryzykiem drenażu **32**

4 Zestaw narzędzi **34**
1. Termin wykonania zabiegu 34
2. Obciążenie pola pestycydami 34
a) Redukcja dawek pestycydów 34
b) Dawki dzielone 36
c) Opryskiwanie ukierunkowane i selektywne 36
d) Zaprawianie nasion 37
3. Optymalizacja doboru i rotacja pestycydów w zlewni 38
a) Rotacja pestycydów w skali zlewni 38
b) Dobór pestycydów / ograniczone stosowanie na stanowiskach wrażliwych 39
4. Optymalizacja płodozmianu 40
5. Uprawa gleby 41
6. Rośliny okrywowe 41
a) Dobór gatunków 42
b) Zaawansowanie rozwoju 42
c) Uprawa 42
d) Przeciwwskazania 42
7. Optymalizacja melioracji 45
8. Struktury retencyjne 46
9. Optymalizacja nawadniania 48

DOBRE PRAKTYKI W CELU OGRANICZENIA WYMYWANIA PESTYCYDÓW 50

1 Kluczowe czynniki wymywania 50

2 Diagnoza ryzyka 51

3 Dobre praktyki zarządzania ryzykiem wymywania 53

4 Zestaw narzędzi 54

1. Termin wykonania zabiegu 54
2. Obciążenie pola pestycydami 54
   a) Redukcja dawek pestycydów 54
   b) Dawki dzielone 56
   c) Opryskiwanie ukierunkowane i selektywne 56
   d) Zaprawianie nasion 57
3. Optymalizacja doboru i rotacja pestycydów w zlewni 59
   a) Rotacja pestycydów w skali pola 59
   b) Rotacja pestycydów w skali zlewni 59
   c) Dobór pestycydów / ograniczone stosowanie na stanowiskach wrażliwych 60
4. Optymalizacja płodozmianu 61
5. Uprawa gleby 62
6. Rośliny okrywowe 63
   a) Dobór gatunków 63
   b) Zaawansowanie rozwoju 63
   c) Uprawa 63
   d) Przeciwwskazania 63
7. Optymalizacja nawadniania 65

Słownik 66

Literatura 70

PRZEDMOWA

ECPA postrzega ochronę czystości wód jako główny filar swojej misji i jest zdeterminowana, aby doskonalić stosowanie pestycydów, i w ten sposób wspierać zrównoważone i produktywne rolnictwo.

Dlatego postawiliśmy sobie za cel współpracę z narodowymi stowarzyszeniami ochrony roślin i liczną grupą międzynarodowych partnerów aby opracowywać i rozpowszechniać materiały informacyjne i szkoleniowe, które uwzględniają wszystkie istotne aspekty ochrony wód na zasadzie szerokiego konsensusu w sprawie dobrych praktyk, zapobiegających zanieczyszczeniu środowiska.

Wspólny wysiłek na rzecz budowy i doskonalenia dostępnych narzędzi ochrony wód jest zgodny z nakreślonymi przez ONZ celami zrównoważonego rozwoju, które stały się odniesieniem dla wspierania zrównoważonego rozwoju człowieka, oraz z celami zawartymi w regulacjach UE, takich jak ramowa dyrektywa wodna i dyrektywa w sprawie zrównoważonego stosowania pestycydów. Wysiłki te zaowocowały projektami w ramach inicjatywy TOPPS, które są realizowane od ponad 12 lat z udziałem wielu partnerów z krajów UE.

Pierwszy projekt, w 50% współfinansowany z europejskiego programu LIFE Environment, rozpoczęto w 2005 r. w 15 krajach UE, koncentrując się na opracowaniu dobrych praktyk w celu ograniczenia zanieczyszczeń miejscowych, powstających miedzy innymi podczas napełniania i mycia opryskiwaczy. W toku kolejnych projektów TOPPS, z udziałem partnerów z 23 krajów UE, opracowano dobre praktyki, narzędzia diagnostyczne i materiały szkoleniowe dotyczące ochrony wód przed zanieczyszczeniami ze źródeł obszarowych, do których zalicza się znoszenie i spływ powierzchniowy środków ochrony roślin.

Niniejszy poradnik uzupełnia dotychczasowy pakiet dobrych praktyk o zagadnienia związane z drenażem i wymywaniem pestycydów z pól. Dobre praktyki TOPPS stanowią teraz kompletne ramy praktycznych zaleceń, mających na celu ochronę wód powierzchniowych i podziemnych przez zanieczyszczeniem.

Zalecenia dobrych praktyk TOPPS uwzględniają cały łańcuch postępowania ze środkami ochrony podnosząc świadomość ich użytkowników na temat możliwości zmniejszenia ryzyka zanieczyszczenia wody poprzez prawidłowe zachowanie operatorów oraz optymalizację opryskiwaczy i infrastruktury gospodarstwa. Mamy nadzieję, że zostaną one wykorzystane w działaniach edukacyjnych i szkoleniowych, skierowanych do operatorów opryskiwaczy, doradców i pozostałych interesariuszy. ECPA jest zaangażowana w promowanie dobrych praktyk TOPPS na arenie europejskiej oraz w poszczególnych krajach naszego kontynentu.

Chciałbym podziękować wszystkim partnerom i ekspertom za ich wysiłek i wkład w realizację projektów TOPPS, zarówno w postaci merytorycznego *know–how*, jaki i poprzez inne formy współpracy, mając na uwadze wspólny cel, jakim jest ochrona wody. Mam również nadzieję, że te dobre praktyki TOPPS rozbudzą entuzjazm, który jest potrzebny do ich wdrożenia w praktyce rolniczej, oraz pomogą w podnoszeniu świadomości i upowszechnianiu wiedzy niezbędnej do zrównoważonego stosowania pestycydów.

Jean-Philippe Azoulay
Dyrektor Generalny
Europejskie Stowarzyszenie Ochrony Roślin
Bruksela, Belgia

European Crop Protection

Wprowadzenie

Drenaż i wymywanie to procesy przemieszczania się pestycydów z wodą przesączającą się w profilu glebowym. Te dwa terminy używane są w poradniku w celu rozróżnienia, gdzie spływa woda. Drenaż obejmuje przypadki, gdy woda z pól spływa do podpowierzchniowej sieci drenarskiej, połączonej z wodami powierzchniowymi, natomiast wymywanie opisuje sytuację, gdy trafia ona do wód podziemnych. Ze spływem wody w profilu glebowym zawarte w nim składniki odżywcze i nawozy przemieszczane są w kierunku wód powierzchniowych i podziemnych, co w przypadku niewłaściwych praktyk może prowadzić do ich zanieczyszczenia. Celem tego poradnika jest dostarczenie informacji na temat dobrych praktyk, minimalizujących zanieczyszczenie wody pestycydami poprzez ograniczenie ich przemieszczania w wyniku drenażu i wymywania. Praktyki te można również zastosować do ograniczenia przepływu glebowych składników odżywczych i nawozów do wód powierzchniowych i podziemnych.

Aby stosowanie pestycydów w ochronie roślin było akceptowane przez społeczeństwa, ich korzyści musza być osiągane w sposób bezpieczny dla ludzi i środowiska. W odniesieniu do drenażu i wymywania oznacza to, że stosowanie pestycydów nie może skutkować zanieczyszczeniem wód. Rygorystyczne procedury rejestrowania pestycydów w UE gwarantują, że w większości przypadków warunek ten jest całkowicie spełniony. Scenariusze oceny ryzyka wg. modelu EU FOCUS pokazują, że wystąpienie niedopuszczalnych stężeń pestycydów w wodach powierzchniowych lub podziemnych z powodu ich drenażu i wymywania jest mało prawdopodobne.

W bardziej rygorystycznych scenariuszach w wyniku drenażu i wymywania pestycydów mogą jednak występować niedopuszczalne stężenia substancji w wodach. Wynika to zwykle z niekorzystnej kombinacji sposobu stosowania i właściwości pestycydów z właściwościami gleby i warunkami klimatycznymi, oraz praktykami uprawy gleby. W związku z tym zawarte w poradniku dobre praktyki stosowania pestycydów mogą służyć jako narzędzia zarządzania ryzykiem w reakcji na niedopuszczalne stężenia pestycydów w wodach powierzchniowych i podziemnych. Specjaliści i doradcy w zakresie ochrony roślin i ochrony wody mogą wykorzystać ten poradnik do opracowania praktycznych zaleceń, mających na celu zmniejszenie i zapobieganie niedopuszczalnemu stężeniu pestycydów w wodzie w wyniku ich drenażu i wymywania w niesprzyjających warunkach środowiskowych i pogodowych.

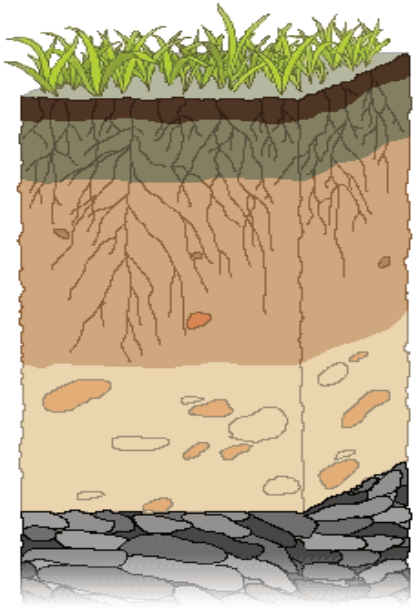
Zaproponowane w poradniku praktyki agrotechniczne (np. płodozmian, rośliny okrywowe) można stosować proaktywnie, ponieważ nie odnoszą się do konkretnych pestycydów czy miejsc ich stosowania, stanowią bowiem część ogólnych zaleceń dotyczących zrównoważonego rolnictwa oraz ochrony gruntów rolnych i otaczających je akwenów. Uwidacznia się tu podobieństwo do dobrych praktyk TOPPS w celu ograniczania znoszenia i spływu powierzchniowego środków ochrony roślin, które także mają ogólne zastosowanie do wszystkich pestycydów [1]. Rolnicy, doradcy i pozostali interesariusze mogą wykorzystać ten poradnik do podnoszenia świadomości i promowania dobrych praktyk ograniczających ryzyko zanieczyszczenia wody. Wdrożenie praktycznych metod diagnozowania ryzyka i podejmowanie odpowiednich środków zaradczych jest korzystne dla rolników, środowiska i społeczeństwa ponieważ minimalizuje ryzyko występowania niedopuszczalnych pozostałości pestycydów w wodzie.

OGÓLNE INFORMACJE DOTYCZACE DOBRYCH PRAKTYK W ZAKRESIE DRENAŻU I WYMYWANIA PESTYCYDÓW

1 DEFINICJE

a) Profil glebowy

Profil glebowy przedstawia pionowy przekrój gleby, odzwierciedlający jej rozwój od powierzchni do niżej leżących warstw materiału geologicznego, takiego jak skała macierzysta, lub nieskonsolidowany materiał geologiczny, jakim jest glina zwałowa. Rozwój profilu glebowego prowadzi do szeregu mniej lub bardziej wyraźnych warstw gleby, wskazujących jak jej właściwości zmieniają się wraz z głębokością. Właściwości te są istotne, ponieważ determinują cechy i zachowanie gleby, np. sposób przenikania wody przez glebę, zdolność zatrzymywania związków chemicznych podczas przenikania, zmienność aktywności mikroorganizmów (jako ogólny wskaźnik zdolności do rozkładania organicznych związków chemicznych, takich jak pestycydy) i ich potencjał w zakresie plonowania upraw. Dobrze ukształtowane gleby uprawne zawierają zwykle trzy główne poziomy (rys. 1).



Rys 1. Typowy profil glebowy [2]

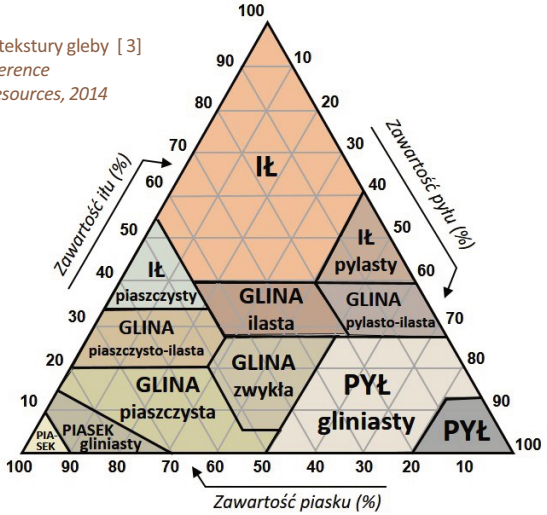
Poziom A:
Znany również jako poziom próchniczny, jest to warstwa charakteryzująca się nagromadzeniem materii organicznej (tj. rozłożonych szczątków roślin i zwierząt oraz humusu glebowego), zazwyczaj ciemniejsza niż głębsze warstwy. Na glebach uprawnych naturalny charakter tej warstwy jest często zaburzony i zhomogenizowany przez mechaniczną uprawę (np. orkę).

Poziom B:
Nazywany także poziomem iluwialnym, w którym kumuluje się materiał taki jak glina, tlenki metali, a nawet materia organiczna przemieszczane z wodą z poziomu próchnicznego. Poziom aktywności biologicznej jest tu na ogół niższy niż w poziomie próchnicznym ponieważ warstwa ta zawiera średnio mniej niż połowę materii organicznej oraz mniej korzeni i dżdżownic. Nie poddaje się również zabiegom uprawowym, chyba że gleba jest głęboszowana lub zainstalowany jest system drenażowy.

Poziom C:
Jest to warstwa przejściowa między glebą a materiałem geologicznym, składająca się w dużej mierze ze zwietrzałego materiału geologicznego, o aktywności biologicznej i zawartości materii organicznej zwykle daleko niższej niż w poziomie B. Poziom C pokrywa skałę macierzystą lub złoża geologiczne, takie jak glina zwałowa.

b) Tekstura i struktura gleby

Rozkład wielkości cząstek mineralnych w glebie (ił: < 2 µm; pył: od 2 do 63 µm; piasek: od 63 do 2000 µm) determinuje teksturę gleby, którą na różne sposoby klasyfikuje się za pomocą skrótowej terminologii (rys. 2). Tekstura gleby jest jedną z najbardziej stabilnych właściwości gleby. Jest ona użytecznym wskaźnikiem kilku innych właściwości, które określają potencjał rolny gleby, w szczególności jej zdolność do zatrzymywania wody i jej przepuszczalność, które wpływają na przepływ wody.



Rys. 2. Wykres tekstury gleby [3]
FAO World Reference Base for Soil Resources, 2014

Na przepuszczalność gleby ma znaczny wpływ również struktura gleby, czyli sposób, w jaki cząsteczki gleby są rozmieszczone w postaci agregatów glebowych. Wpływa to na charakter powstałych porów między agregatami, zwłaszcza tych większych, które są wysoce przepuszczalne. Na agregację gleby duży wpływ ma faktura gleby i zawartość materii organicznej w glebie.
Można zidentyfikować kilka rodzajów struktury gleby, które determinują przepływ wody, ruch powietrza, aktywność biologiczną, wzrost korzeni i wschody roślin (rys. 3).

Kluczowe typy struktury gleby obejmują:

Struktura granularna i miękiszowa

Struktury te zawierają cząstki piasku, pyłu i iłu, które przypominają małe ziarna lub większe drobiny ziemi, które są oddzielne i luźno stykające się. Struktura ta często występuje na poziomie próchnicznym gleby, co umożliwia łatwą cyrkulację wody i powietrza.

Struktura blokowa

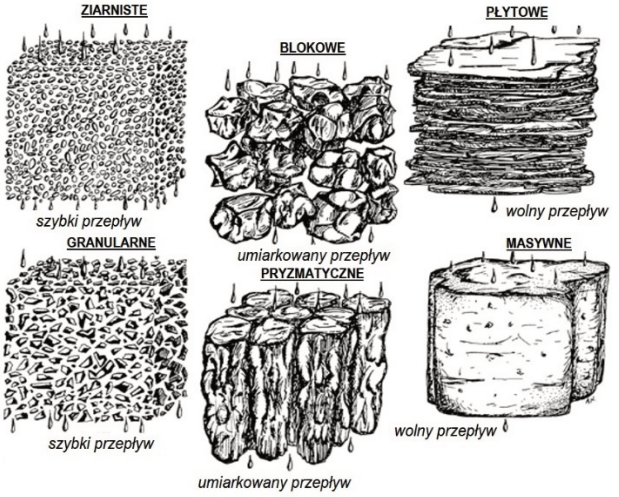
Struktury te zawierają cząstki silnie związane ze sobą, tworząc wielościanowe agregaty o ostrych krawędziach. Najczęściej występują na poziomie iluwialnym z wyższą zawartością iłu, który może ograniczać przepływ wody jeśli brak jest pęknięć między agregatami.

Struktura pryzmatyczna i kolumnowa

Struktury te zawierają cząstki, które tworzą pionowe, kolumnowe agregaty o długości od 1 do 10 cm, oddzielone wąskimi pionowymi pęknięciami i ograniczone płaskimi lub lekko zaokrąglonymi powierzchniami pionowymi. Ta struktura jest powszechnie spotykana na poziomie iluwialnym profilu glebowego z nagromadzeniem iłu, w suchych regionach oraz kurczących się i pęczniejących iłach. Często ogranicza przepływ wody, chyba że między agregatami występują pęknięcia.

Struktura płytowa

Struktury te zawierają cząstki gleby agregowane poziomo w płaskich płytach lub arkuszach, ułożone jedna na drugiej. Struktury płytowe często poważnie ograniczają przepływ wody i rozwój korzeni. Występują powszechnie na powierzchni nieosłoniętej gleby, szczególnie po silnych opadach deszczu, na glebach ilastych w postaci zaskorupienia, lub w glebie podpowierzchniowej, poddawanej zagęszczeniu w wyniku ruchu maszyn, uprawy gleby lub nadmiernego wypasu zwierząt.
Gleby bez widocznej agregacji określa się jako ziarniste, głównie zawierające piasek lub jako masywne, głównie zawierające ił.



Rys. 3. Klasyfikacja agregatów glebowych i ich właściwości pod kątem przepływu wody [4]

c) Porowatość gleby

Tak jak wielkości cząstek glebowych tak też rozmiary wolnych przestworów między cząstkami, w postaci porów glebowych, są różne. Pory klasyfikowane są według ich wielkości i wynikającej z nich funkcji w glebie, szczególnie w odniesieniu do przepływu wody. Klasy wielkości porów można rozróżnić na podstawie średnich wartości ich średnic. Pory o różnych rozmiarach udostępniają wodę roślinom, wspomagają wypłukiwanie grawitacyjne lub wiążą wodę (Tabela 1):

Makropory grube – nadkapilarne (> 50 µm) to duże przestwory powstałe w wyniku pęknięć między agregatami gleby, korytarzami dżdżownic i kanałami starych korzeni roślin. Przepływ wody w tych porach pod wpływem grawitacji jest szybki. Pory te często zasiedlane są przez małe organizmy glebowe i ułatwiają napowietrzanie i penetrację korzeni roślin.

Makropory drobne – kapilarne (10–50 µm) istnieją w obrębie agregatów glebowych i między nimi. Duża część przepływu wody i napowietrzania w glebie odbywa się przez te pory. Przechowują one wodę dla roślin i organizmów żywych, dzięki temu, że woda pod wpływem grawitacji jest w tych przestrzeniach mniej mobilna. Drobne makropory kryją drobne korzenie i drobną faunę glebową.

Pory pośrednie –kapilarne (0,2 do 10 µm) występują w agregatach glebowych i są odpowiedzialne za magazynowanie wody dostępnej dla roślin za pomocą siły kapilarnej. Pory te mogą nadal zawierać drobne boczne korzenie roślin, strzępki grzybów i mikroorganizmy.

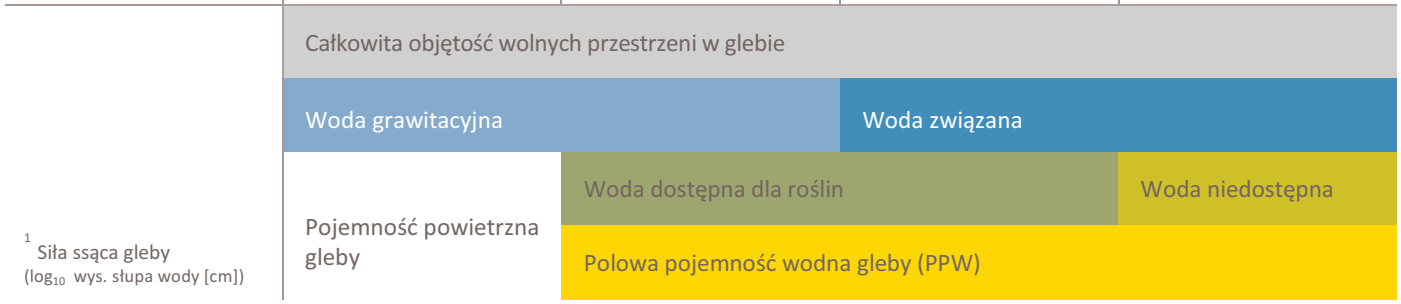
Mikropory – subkapilarne (< 0,2 µm) są najczęściej kojarzone z cząstkami iłu lub wysoce zwilżoną materią organiczną. Zawierają wodę, która na ogół nie jest dostępna dla roślin i mikroorganizmów z powodu silnych sił kapilarnych, które utrzymują wodę w tych małych porach.

d) Materia organiczna w glebie

Materia organiczna w glebie to rozłożone szczątki roślin i zwierząt oraz zhumifikowany materiał organiczny (humus glebowy). Koncentruje się ona w próchnicznej warstwie gleby i jej zawartość spada wraz z głębokością profilu glebowego. Materia organiczna ma kluczowe znaczenie dla zdrowia gleby: (i) magazynuje węgiel organiczny i składniki odżywcze w glebie, uwalniając je po zmineralizowaniu (np. magnez, azotany); (ii) stymuluje biologiczną aktywność gleby w cyklu jej tworzenia i mineralizacji do postaci składników odżywczych dostępnych dla roślin; (iii) wpływa na strukturę gleby, jej przepuszczalność i zdolność do zatrzymywania wody (materia organiczna może utrzymywać ilość wody stanowiącą 20–krotność swojej masy). Dzięki temu materia organiczna silnie wpływa na przechowywanie wody i jej przepływ w glebie. Odpowiednie gospodarowanie materią organiczną w glebie jest postrzegane jako kluczowy czynnik sukcesu rolnictwa zrównoważonego.

Tabela 1. Porowatość gleby, przepływ wody i dostępność wody dla roślin [5].

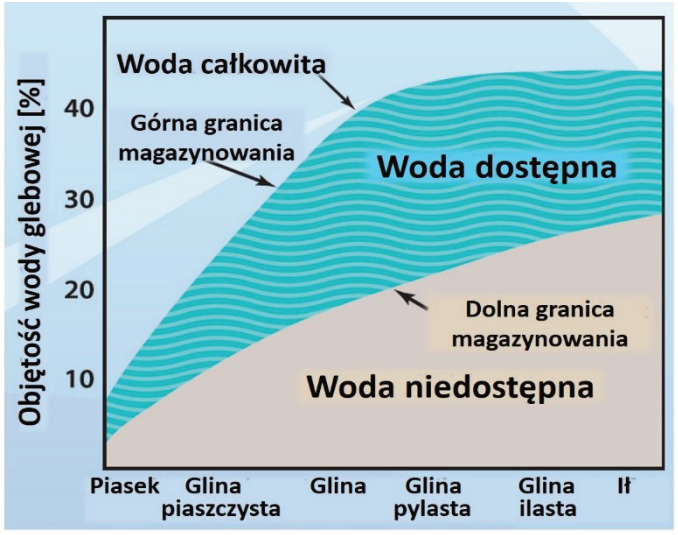
Klasyfikacja porowatości	Makropory grube	Makropory drobne	Pory pośrednie	Mikropory
Średnica porów w µm	> 50	50 – 10	10 – 0.2	< 0,2
Wskaźnik pF [1]	< 1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 4,2	> 4,2
Mobilność wody	Szybka	Wolna	Dostępna dla roślin	Niedostępna dla roślin



[1] Siła ssąca gleby ($\log_{10}$ wys. słupa wody [cm])

e) Woda glebowa

Magazynowanie wody w glebie zależy od rozkładu wielkości porów w glebie, a zatem jest w dużej mierze skorelowane z teksturą i strukturą gleby oraz zawartością materii organicznej (rys. 4). Gdy gleba jest nasycona wodą, wszystkie pory są wypełnione, ale po 1–3 dniach woda grawitacyjna odpływa, a pozostała jej objętość jest równa polowej pojemności wodnej (PPW) gleby (zdolność zatrzymywania wody = woda glebowa nie odpływająca pod wpływem grawitacji). Rośliny pobierają wodę z porów kapilarnych (drobnych makroporów i porów pośrednich) do momentu zrównoważenia sił kapilarnych. Dostępność wody w glebie osiąga wtedy punkt trwałego więdnięcia i bez jej uzupełnienia rośliny zamierają. Woda dostępna dla roślin jest definiowana, jako różnica między zawartością wody w glebie równej jej polowej pojemności wodnej a wodą niedostępną, która nie może być wykorzystywana przez rośliny (Tabela 1). Siłę ssącą gleby, wynikającą z jej porowatości, można zmierzyć za pomocą tensometru i wyrazić za pomocą wskaźnika pF (logarytm dziesiętny ciśnienia hydrostatycznego wyrażonego wysokością słupa wody w cm).



Rys. 4. Magazynowanie wody i jej dostępność dla roślin w zależności od tekstury gleby [6]

Woda niedostępna, związana w mikroporach nie jest pobierana przez rośliny i nie przemieszcza się w glebie. Objętość tej wody jest najwyższa w glebach ilastych, które mają najwięcej mikroporów, a najniższa w glebach piaszczystych. Tylko część wody dostępnej dla roślin (głównie z drobnych makroporów) przemieszcza się w profilu glebowym pod wpływem grawitacji.

Zdolność magazynowania wody zależy także od zawartości materii organicznej w glebie dzięki wiązaniu wody glebowej i większej porowatości za sprawą dobrze rozwiniętych agregatów glebowych. Biorąc pod uwagę różnice w fakturze, strukturze i zawartości materii organicznej w poszczególnych profilach glebowych i między nimi łatwo zrozumieć, że przepływ wody w glebie jest bardzo zróżnicowany. Różnice te wynikają z trzech zasadniczych przesłanek.

Po pierwsze, odległość, na jaką woda przemieszcza się w dół profilu glebowego na 1 mm opadów lub nawadniania jest w głównej mierze funkcją tekstury gleby. Jest ona zwykle powiązana z polową pojemnością wodną gleby, czyli zdolnością zatrzymywania wody, wyrażaną w mm słupa wody na 1 cm głębokości gleby. Dla naszych celów należy ją oszacować co najmniej do głębokości 1 m profilu glebowego, do głębokości warstwy istotnie ograniczającej przepływ wody, do poziomu systemu drenażowego lub do zwierciadła wód podziemnych. Polowa pojemność wodna gleb piaszczystych jest bardzo mała i wzrasta dla gleb o drobnej teksturze (Tabela 2). Zdolność gleby do zatrzymywania wody można poprawić przez zabiegi uprawowe, zwiększenie zawartości materii organicznej, wapnowanie poprawiające agregację gleby, rozluźnianie zagęszczonej gleby oraz przez uprawę roślin, których system korzeniowy zwiększa jej porowatość. Uważa się, że gleby o polowej pojemności wodnej < 150 mm (w profilu o głębokości 1 m) obciążone są dużym ryzykiem drenażu i wymywania. Dlatego dla potrzeb oceny ryzyka na różnych polach ważne jest oszacowanie dla nich zdolności do zatrzymywania wody w glebie.

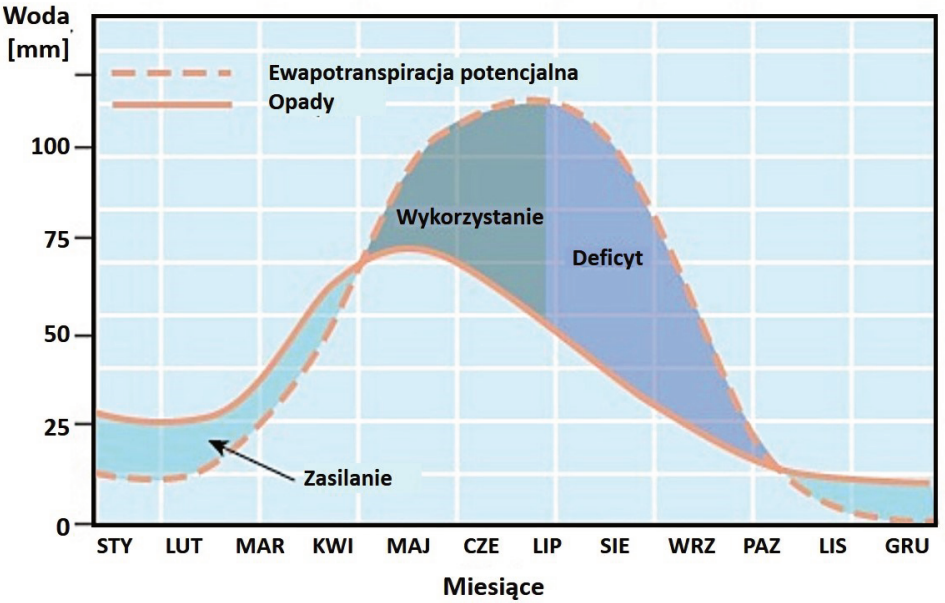
Po drugie, przepływ wody wykazuje dużą zmienność przestrzenną w profilu glebowym. Jest on rozproszony z powodu szerokiego zakresu wielkości porów glebowych. Woda w większych porach porusza się znacznie szybciej i dalej niż sugeruje średnia odległość przepływu wody w glebie. Częściowo jest to związane z teksturą gleby tak, że w glebach piaszczystych przepływ jest bardziej rozproszony niż w glebach ilastych. Wynika to z faktu, że gleby o teksturze ilastej tworzą większe agregaty strukturalne, z większymi porami między nimi, podczas gdy w samych agregatach między cząstkami iłu dominują pory małe. Duże pory tworzone są także przez dżdżownice i kanały powstałe po rozkładzie korzeni roślin. Wszystkie te duże przestwory glebowe, nazywane makroporami, związane są z preferencyjnym przepływem wody w glebie, który omija agregaty glebowe (rys. 7).

Obecność i gęstość makroporów w glebie jest zatem kluczowym czynnikiem potencjalnie szybkiego przemieszczania się pestycydów w profilu glebowym. Dlatego są one uważane za kluczowe kryterium oceny względnego ryzyka drenażu i wymywania pestycydów z gleby (patrz: schematy decyzyjne w rozdziałach dotyczących diagnozowania ryzyka drenażu i wymywania: Tabela 4 i Tabela 8).

Tabela 2. Zdolność magazynowania wody wyrażona polową pojemnością wodną (PPW) [mm/cm $_{\text{GŁ. GLEBY}}$] dla gleb o różnej teksturze (wartości średnie dla gleb zawierających 2,5% materii organicznej, wg. klasyfikacji gleb USDA [7]

TEKSTURA GLEBY	POLOWA POJEMNOŚĆ WODNA (PPW)	WODA DOSTĘPNA DLA ROŚLIN
Piasek	*1,0*	*0,5*
Piasek gliniasty	*1,2*	*0,7*
Glina piaszczysta	*1,8*	*1,0*
Glina	*2,8*	*1,4*
Glina pylasta	*3,1*	*2,0*
Pył	*3,0*	*2,4*
Glina piaszczysto-ilasta	*2,7*	*1,0*
Glina ilasta	*3,6*	*1,4*
Glina pylasto-ilasta	*3,8*	*1,7*
Ił pylasty	*4,1*	*1,4*
Ił piaszczysty	*3,6*	*1,1*
Ił	*4,2*	*1,2*

Po trzecie, przebieg drenażu i wymywania pestycydów zależy od rozkładu opadów i nawadniania w ciągu sezonu, ponieważ określają one kiedy przepływ wody przez glebę ma miejsce. Jest on związany z równowagą gleba–woda i występuje gdy ilość wody zasilającej glebę w wyniku opadów deszczu i nawadniania jest większa niż jej ubytek z powodu ewapotranspiracji (rys. 5). Na przykładzie widać, że spływ wody w glebie oraz jej zasilanie w wodę trwa od listopada do kwietnia (opady przewyższają ewapotranspirację). Zimą i wczesną wiosną występują okresy, w których większość wody, a tym samym potencjalnie także pestycydów, przedostaje się do systemów odwadniających i wód podziemnych. Zasadniczo udział opadów, które przepływają przez glebę do sieci drenarskiej lub wód podziemnych, rośnie wraz ze wzrostem ilości opadów. W warunkach środkowo–europejskich szacuje się, że 20–30% rocznych opadów deszczu dociera do wód podziemnych, podczas gdy reszta jest wykorzystywana przez rośliny lub odparowuje z powierzchni gleby. Poza regularnym okresem zasilania gleby w wodę, ulewne deszcze mogą powodować drenaż lub wymywanie pestycydów z gleb podatnych na to ryzyko. W przypadku nawadnianych gleb ważne jest, aby po zastosowaniu pestycydów unikać dużych dawek wody, powodujących głębokie przesiąkanie.



Rys. 5. Przykład rocznego bilansu opadów i ewapotranspiracji [8]

2 CZYNNIKI WPŁYWAJACE NA MOBILNOŚĆ WODY W GLEBIE

Przemieszczanie się pestycydów w glebie jest wynikiem interakcji między właściwościami gleby i warunkami pogodowymi a właściwościami pestycydu.

a) Właściwości substancji

Istnieją dwie zasadnicze właściwości pestycydów, będące wskaźnikami ich potencjalnej mobilności w profilu glebowym: siła adsorpcji i tempo ich degradacji w glebie. Mobilność pestycydów jest zasadniczo wynikiem konkurencji między ich adsorpcją (wskaźnikiem szybkości przemieszczania) a degradacją (wskaźnikiem stopnia rozkładu przed opuszczeniem gleby).

Adsorpcja pestycydów

Siła adsorpcji pestycydów zależy głównie od ich struktury chemicznej i właściwości gleby. Pestycydy słabo adsorbowane na cząstkach gleby uważane są za mobilne, ponieważ słaba adsorpcja w niewielkim stopniu opóźnia ruch substancji z przepływającą przez glebę wodą. Z kolei pestycydy silnie adsorbowane są uważane za mało mobilne, ponieważ wiążąc się z cząstkami gleby uniemożliwiają przemieszczanie się z wodą. Większość pestycydów mieści się pomiędzy tymi dwoma skrajnymi przypadkami.

Wiele, jeśli nie większość, pestycydów to związki niepolarne i lipofilowe, czyli skłonne do rozpuszczania się w tłuszczach. Oznacza to, że adsorbują się na powierzchniach lipofilowych w glebie, szczególnie tych znajdujących się w materii organicznej. Tendencję do adsorpcji na frakcji węgla organicznego materii organicznej mierzy się za pomocą współczynnika K_{OC} (*organic carbon-water partition coefficient*) [mL/g]. Wysoka wartość tego współczynnika wskazuje, że pestycyd jest silnie adsorbowany na węglu organicznym w glebie i nie będzie się łatwo przemieszczał z wodą.

Niska wartość K_{OC} oznacza, że pestycyd jest słabo adsorbowany na węglu organicznym i tym samym jest bardziej mobilny. Klasyfikację K_{OC} pod kątem mobilności pestycydów przedstawiono w tabeli 3.

Mobilność pestycydu	Współczynnik adsorpcji K_{OC} (mL/g)
Mało mobilny	**≥ 1000**
Średnio mobilny	**100 - 1000**
Wysoce mobilny	**≤ 100**

Tabela 3. Ogólna klasyfikacja mobilności pestycydów w glebie

Adsorpcja pestycydów zależy także od rodzaju gleby, ogólnie rośnie w glebach o wyższej zawartości materii organicznej na poziomie próchnicznym i maleje wraz z głębokością gleby, i tym samym spadkiem ilości materii organicznej.

Niektóre pestycydy, będące substancjami polarnymi (kwasy lub zasady), które nie są lipofilowe i dobrze rozpuszczają się w wodzie, nie adsorbują się łatwo w materii organicznej gleby, a raczej wiązane są przez minerały ilaste lub tlenki. W przypadku tych substancji ich potencjał sorpcyjny w glebie wyraża się współczynnikiem Kd (s*oil adsorption coefficient*) [mL/g]. Warto zauważyć, że na adsorpcję polarnych pestycydów często wpływa również pH gleby, szczególnie w przypadku słabych kwasów i zasad, które występują również w postaciach polarnych.

Podsumowując, sklasyfikowanie wszystkich pestycydów pod względem ich mobilności w glebie jest możliwe i zasadne w przypadku oceny ryzyka ich drenażu i wymywania.

Trwałość pestycydów w glebie

Szybkość degradacji pestycydów w glebie jest różna. Ich rozkład na metabolity może zachodzić w procesach biotycznych (biodegradacja mikrobiologiczna) i procesach abiotycznych (hydroliza, fotoliza lub utlenianie katalityczne). Ostatecznie degradacja pestycydów powoduje ich rozpad (mineralizację) na proste związki nieorganiczne, takie jak dwutlenek węgla, amoniak i woda. Szybkość degradacji mierzy się za pomocą okresu połowicznego zaniku DT50. Jest to czas potrzebny do degradacji 50% początkowej ilości pestycydu w glebie. Zwykle mierzy się go w warunkach laboratoryjnych, w stałej temperaturze i wilgotności, oraz na różnych glebach, aby ocenić, jaka jest typowa lub reprezentatywna wartość DT50. Jeśli wartości DT50 są mierzone w warunkach polowych, mogą obejmować także udział innych procesów, takich jak ulatnianie i fotoliza. Zasadniczo pestycydy można sklasyfikować jako o niskiej, średniej lub wysokiej trwałości w próchnicznej warstwie gleby, przy czym trwałość zwykle rośnie wraz z głębokością w glebie z powodu ogólnego spadku aktywności mikroorganizmów glebowych.

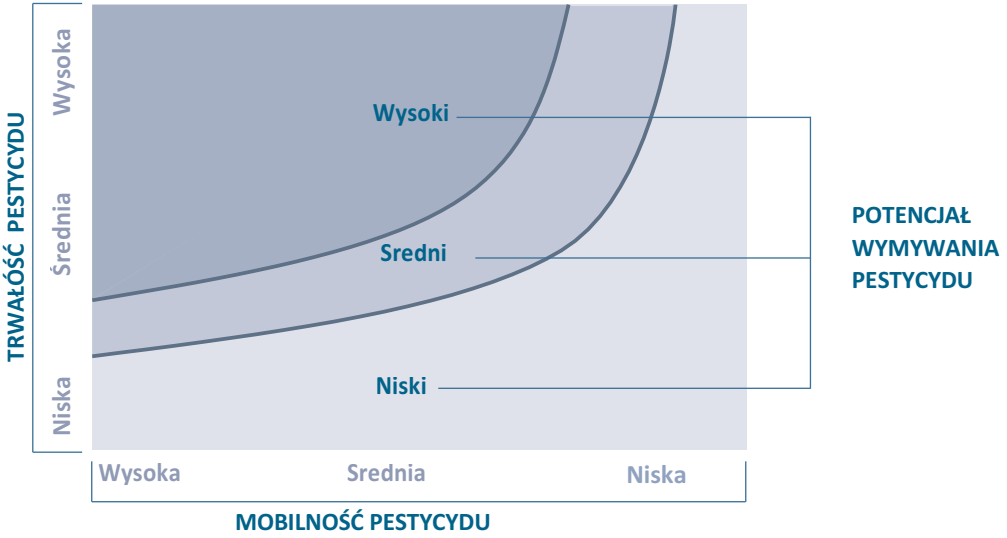
Kojarzenie adsorpcji i degradacji pestycydów

Wykazano, że przemieszczanie się pestycydów w glebie zależy od ich adsorpcji (mobilności) i degradacji (trwałości), przy czym ta ostatnia właściwość ma szczególne znaczenie dla mobilności średnio- i długoterminowej. Podjęto różne próby zilustrowania tej zależności, a jednym z przykładów jest współczynnik GUS (*groundwater ubiquity score*), który na podstawie mobilności i trwałości pestycydów wskazuje potencjalne prawdopodobieństwo przedostania się pestycydów do wód podziemnych. Współczynnik ten nie powinien być jednak stosowany jako kryterium decyzyjne w rolnictwie europejskim, ponieważ: (i) został opracowany na podstawie danych o glebach i klimacie w USA; (ii) ignoruje różnice w dawkach stosowanych pestycydów; (iii) w procesie rejestracji pestycydów w UE ich dopuszczenie jest możliwe tylko wtedy gdy z danych eksperymentalnych i modelowych wynika, że w typowych warunkach stosowania nie istnieje ryzyko przekroczenia dopuszczalnego stężenia substancji aktywnej w wodzie podziemnej, wynoszącego 0,1 µg/L. Niemniej jednak koncepcja GUS jest użyteczna do zilustrowania zależności potencjału wymywania pestycydów w glebie od mobilności i trwałości substancji (rys. 6).

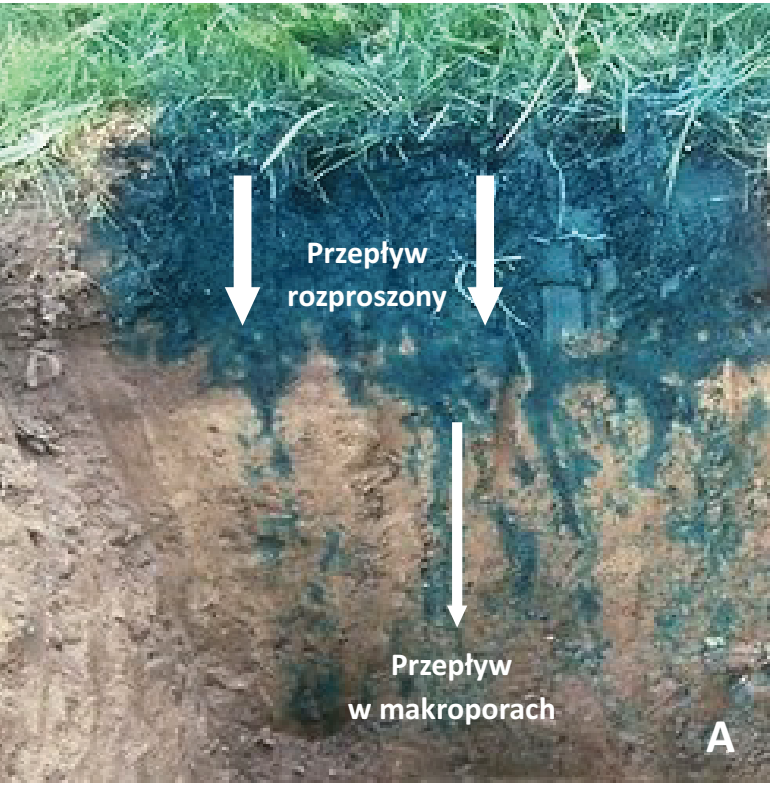
W praktyce ryzyko przemieszczania się pestycydów do głębszych warstw gleby zależy również od czasu jaki upływa od momentu jego zastosowania do wystąpienia znaczącego opadu deszczu. Jeśli czas ten jest krótki, to w glebie pozostanie więcej substancji do wymywania, a jej adsorpcja będzie słaba, ponieważ siła wiązania wielu pestycydów wzrasta z czasem. Oba procesy, zwłaszcza jeśli w glebie występują makropory, mogą powodować bardziej intensywny przepływ wody w głąb profilu glebowego. W rezultacie staranne planowanie zabiegów z użyciem pestycydów w relacji do spodziewanych, intensywnych opadów deszczu jest ważnym elementem dobrych praktyk ograniczających ryzyko wymywania pestycydów w glebie.

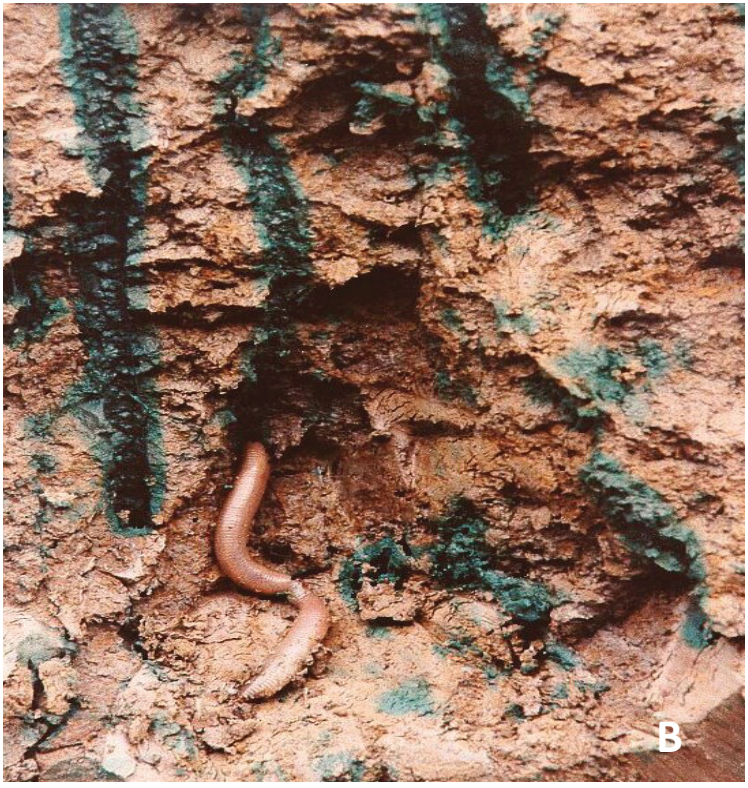
b) Warunki glebowe i klimatyczne

Głównym zadaniem tego poradnika jest upowszechnianie praktyk zapobiegających niedopuszczalnym stężeniom pestycydów w wodach powierzchniowych i podziemnych. Oceniając zagrożenia wynikające z drenażu i wymywania pestycydów w konkretnym miejscu (polu, gospodarstwie, zlewni) ważne jest ustalenie lokalnych warunków glebowych, krajobrazowych i klimatycznych, określających względną podatności pól na oddziaływanie tych procesów. Aby ułatwić określenia tej podatności zidentyfikowano trzy główne typy czynników glebowo-krajobrazowych, które wpływają na drenaż i wymywanie pestycydów: tekstura gleby, struktura gleby oraz system drenażowy.



Rys. 6. Związek między potencjałem wymywania pestycydów a jego trwałością i mobilnością w glebie (wg. współczynnika GUS)





Rys. 7. Rodzaje przepływu wody w profilu glebowym (A) oraz ślady przepływu w makroporach zaznaczone przy użyciu barwnika (B) [9]

Tekstura gleby

Wpływ tekstury gleby, określony na podstawie polowej pojemności wodnej, na zdolność magazynowania wody i szybkość jej przepływu został uwzględniony w schematów decyzyjnych (Tabela 4 i Tabela 8). Przyjęto w nich, że polowa pojemność wodna na poziomie 150 mm/cm jest wartością progową, od której wzrasta podatność gleby na przepływ wody. Woda opadowa wnika wtedy w głębsze warstwy gleby zwiększając ryzyko drenażu i wymywania pestycydów.

Struktura gleby

Wpływ struktury gleby na przepływ wody wynika z obecności pęknięć, szczególnie między agregatami, oraz bioporów, tzn. makroporów tworzonych przez dżdżownice i rośliny o silnym systemie korzeniowym. Tworzą one preferencyjne, szybkie drogi przemieszczania się pestycydów w glebie w odróżnieniu od wolniejszego przepływu rozproszonego (rys. 7). Zabiegi uprawowe mają istotny wpływ na modyfikację naturalnej struktury gleby. Uprawa bezorkowa lub ograniczona do płytkiego wzruszania gleby sprzyja rozwojowi i utrzymaniu większych i bardziej skupionych agregatów glebowych oraz związanego z nimi systemu makroporów.

Intensywna infiltracja wody przez makropory ogranicza ryzyko spływu powierzchniowego, ale zwiększa ilość pestycydów wprowadzanych w głąb profilu glebowego. Tradycyjne zabiegi uprawowe częściowo zamykają makropory spowalniając głęboką infiltrację wody. Kompromisem możne być płytka uprawa, blokująca makropory w wierzchniej warstwie gleby, gdzie przemieszczanie się wody ma charakter przepływu rozproszonego, który jest bardziej równomierny i przez to wolniejszy. Szybki przepływ wody w makroporach, których jest na ogół więcej w glebach o silniejszej strukturze, jest uważany za główny czynnik, zwiększający ryzyko drenażu pestycydów, oraz w mniejszym stopniu także ich wymywania, szczególnie do płytkich wód podziemnych. Powierzchniowe pęknięcia gleby i praktyki uprawowe znajdują swoje odzwierciedlenie w schematach decyzyjnych, do oceny podatności gleby na drenaż i wymywanie pestycydów.

System drenażowy

Rodzaj systemu odwadniającego w przypadku wód powierzchniowych oraz głębokość gleby lub jej strefy nienasyconej w przypadku wód podziemnych określają odległość, jaką pestycydy muszą pokonać aby przepływając przez profil glebowy dostać się do tych wód. Dlatego czynniki te są również uwzględniane w schematach decyzyjnych do oceny ryzyka drenażu i wymywania pestycydów. W celu utrzymania ogólnego charakteru tych schematów nie uwzględniono w nich innych czynników, takich jak pH gleby czy zawartość materii organicznej (z wyjątkiem gleb torfowych). Jeśli w jakiejś lokalizacji czynniki te są istotne konieczna będzie konsultacja z lokalnym specjalistą.

W końcu, przepływ wody przez glebę, w aspekcie warunków glebowych, istotnie zależy od praktyk agrotechnicznych. Choć rośliny okrywowe i uprawa bezorkowa (lub zredukowana) stymulują tworzenie makroporów to jednocześnie istotnie zwiększają zawartość materii organicznej i aktywność mikroorganizmów w próchnicznej warstwie gleby. Dlatego agrotechnika powinna zapewniać właściwą równowagę między poprawą kondycji gleby a ochroną czystości wód.

3. PRAWNE WYMAGANIA OCHRONY WODY

Ramowa dyrektywa wodna UE (RDW) ustanawia ramy prawne dla polityk wodnych w Unii Europejskiej, mające na celu ochronę wód podziemnych, powierzchniowych i przybrzeżnych wód morskich.

Spełnienie tego celu wymaga powszechnego i regularnego monitorowania jednolitych części wód pod kątem parametrów chemicznych i biologicznych, które stanowią podstawę do klasyfikacji wód od dobrego do złego stanu chemicznego i ekologicznego. Jeśli stan jest zły, rodzi to potrzebę ustanowienia planów działania w celu jego poprawy w ciągu 6–letnich cykli gospodarowania wodami w zlewniach. Najpóźniej do roku 2027 wszystkie części wód powinny być w dobrym stanie chemicznym i ekologicznym, co oznacza, że ustanowione plany wymagają skutecznego wdrożenia.

a) Dopuszczalna koncentracja pestycydów w wodzie pitnej i podziemnej

W latach 80. XX wieku ustanowiono w UE dopuszczalną wartość stężenia pojedynczej substancji aktywnej pestycydu w wodzie pitnej, wynoszącą 0,1 µg/L. Ta graniczna wartość nie została oparta na przesłankach zdrowotnych, będąc raczej rezultatem decyzji politycznej. Dotyczy ona wszystkich substancji aktywnych pestycydów i wszystkich istotnych toksykologicznie metabolitów tych substancji. Ponieważ w wielu państwach członkowskich woda podziemna jest głównym źródłem wody pitnej, często przy minimalnym stopniu oczyszczania, to wspomniana wyżej wartość graniczna została rozszerzona także na wody podziemne.

Zgodnie z wytycznymi Dyrekcji Generalnej ds. Zdrowia i Bezpieczeństwa Żywności Komisji Europejskiej (DG SANTE/221/2000) nieistotne metabolity pestycydów w wodzie pitnej lub wodach podziemnych nie są regulowane na poziomie UE. Jednak w kilku krajach członkowskich stosowana jest górna wartość progowa 10 µg/L jako kryterium progowe w legislacyjnych ocenach wód podziemnych.

Oceny dotyczące narażenia wody w UE dokonywane są przed wydaniem zezwolenia na dopuszczenie pestycydów do obrotu rynkowego, aby zminimalizować liczbę identyfikowanych pestycydów i metabolitów, których obecność w wodzie może przekroczyć dopuszczalne wartości stężeń. Jednak w perspektywie długoterminowej przekroczenia dopuszczalnego poziomu pestycydów na obszarach podatnych może prowadzić do lokalnych ograniczeń lub zakazów ich stosowania na poziomie krajowym.

b) Dopuszczalna koncentracja pestycydów w wodach powierzchniowych

W przypadku wód powierzchniowych obowiązują specyficzne dla poszczególnych substancji aktywnych normy jakości środowisk (*EQS – environmental quality standards*). Są one ustalane w oparciu o ekotoksykologiczne punkty docelowe w celu ochrony ekosystemów przed zanieczyszczeniem chemicznym. Unijne EQS zostały ustanowione dla wykazu substancji priorytetowych, obejmujących wybrane pestycydy i inne substancje antropogeniczne, i określają średnie roczne dopuszczalne wartości (EQS-AA) oraz maksymalne dopuszczalne wartości stężenia (EQS-MAC). Zazwyczaj średnią roczną wartość monitorowanych stężeń w wodzie powierzchniowej porównuje się z EQS-AA dla danej części wód i substancji w celu oceny zgodności EQS. Oprócz ogólnounijnych substancji priorytetowych państwa członkowskie UE określają krajowe, lub dotyczące zlewni, specyficzne substancje (np. inne pestycydy i inne substancje antropogeniczne) i ustalają dla nich dopuszczalne wartości stężeń w krajowych przepisach dotyczących wód powierzchniowych.

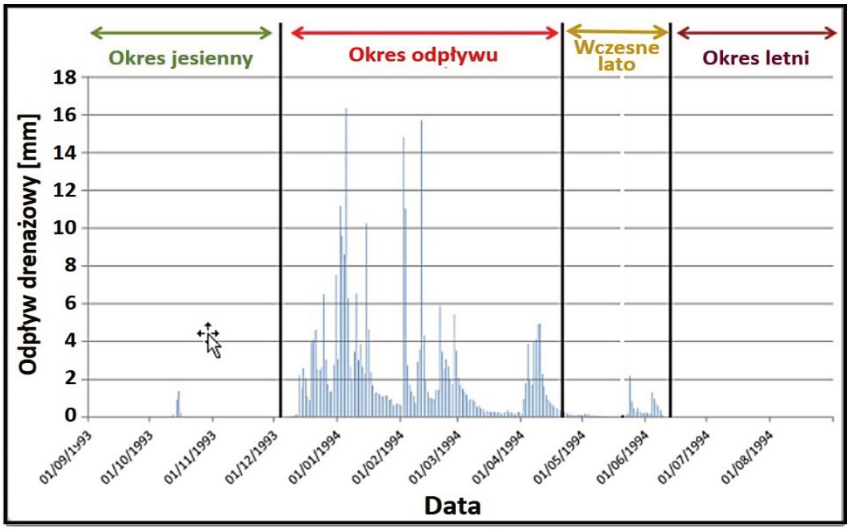
Dla jednolitych części wód powierzchniowych, wykorzystywanych do pozyskiwania wody pitnej, norma jakości wody pitnej (*DWQS – drinking water quality standard*) została oparta na istniejącej, ogólnej wartości dopuszczalnej dla wody pitnej gotowej do spożycia (0,1 µg/L). Należy przy tym uwzględnić współczynnik uzdatniania wody w oparciu o efektywność usuwania konkretnych substancji. Art. 7 RDW stwierdza również, że państwa członkowskie muszą podjąć działania zapobiegające pogorszeniu jakości wody przeznaczonej do uzdatniania oraz ograniczające potrzebę uzdatniania wody. Osiągnięcie tego celu może zrodzić potrzebę ustanowienia stref ochronnych, co z kolei może prowadzić do wdrożenia lokalnych ograniczeń stosowania pestycydów.

DOBRE PRAKTYKI W CELU OGRANICZENIA DRENAŻU PESTYCYDÓW

1 SYSTEMY DRENAŻOWE I KLUCZOWE CZYNNIKI

a) Wstęp

Podziemne systemy melioracyjne są stosowane w celu szybkiego odprowadzania nadmiaru wody z gleby i zapobiegania jej zaleganiu na polach. Nadmiar wody uszkadza glebę podczas zabiegów uprawowych oraz obniża plony, szczególnie gdy gleba jest zbyt mokra podczas zbioru. Woda zbierana przez systemy drenażowe spływa bezpośrednio do wód powierzchniowych, takich jak rowy, strumienie, rzeki, oraz stawy i jeziora. W Europie Zachodniej i Środkowej okres, w którym odpływ drenażowy jest ciągły, zwykle rozpoczyna się zimą i trwa do wiosny (rys. 8). Okres ten jest poprzedzony okresem jesiennym, a następnie okresem wczesnego lata, w których odpływ nie jest ciągły i występuje tylko po obfitych opadach deszczu. Rzeczywisty okres odpływu zależy od właściwości gleby i lokalnego klimatu, zwłaszcza rocznego rozkładu opadów.



Rys. 8. Roczny rozkład odpływów drenażowych z pól (przykład: pola doświadczalne Arvalis, La Jailliere, 1993/1994) [11]

Mokre gleby z powodu małej przepuszczalności profilu glebowego

Warstwy gleby o małej przepuszczalności utrudniają ruch wody w głąb profilu, prowadząc często do nasycenia gleby w strefie korzeniowej. W rezultacie wiosną gleby te dłużej wysychają i wolniej nagrzewają się, co niekorzystnie wpływa na zabiegi uprawowe, siew i wschody roślin. Na tego rodzaju gruntach, nasyconych zimą i wczesną wiosną oraz pozbawionych melioracji, często występuje spływ powierzchniowy [1].

Mokre gleby z powodu płytko występujących wód podziemnych

W glebach z płytko występującymi wodami podziemnymi zwierciadło wody podnosi się zimą i wczesną wiosną w wyniku infiltracji wód opadowych. Gdy poziom wody zbliża się do powierzchni gleby staje się ona zbyt mokra, aby prowadzić skuteczne zabiegi uprawowe oraz uzyskać prawidłowy wzrost roślin i dobre plony. System odwadniający ma na celu złagodzenie tych negatywnych skutków poprzez utrzymanie poziomu wód podziemnych w glebie na odpowiednim poziomie.

Melioracja nawadnianych pól

W suchych regionach, na systematycznie nawadnianych polach parowanie wody może prowadzić do gromadzenia się soli w glebie. Jeśli sole te, zwłaszcza sód, osiągną toksyczny poziom to może to negatywnie wpływać na wzrost i plonowanie roślin. Należy wtedy stosować wyższe dawki nawodnieniowe niż wynika to z potrzeb roślin, aby wypłukać nagromadzone sole z gleby.

Rys 9. Ujścia podziemnych systemów melioracyjnych

b) Systemy drenażowe

W opisanych wyżej sytuacjach, wymagających melioracji podziemnych stosowane są dwa rodzaje systemów odwadniających: drenaż podstawowy i uzupełniający go drenaż dodatkowy.

Drenaż podstawowy

Do odprowadzania nadmiaru wody z gleb tradycyjnie wykorzystywano rowy odwadniające, kierujące wodę do naturalnych cieków i zbiorników wód powierzchniowych. Nowoczesne systemy drenażu podstawowego wykorzystują perforowane rury drenarskie z tworzywa sztucznego (PVC), zakopane co najmniej 50 cm pod powierzchnią gleby. Stanowią one około 80% systemów drenażowych w UE. Systemy te mają tę zaletę, że nie zakłócają zabiegów uprawowych na glebie.

Rys. 10. Tradycyjny rów melioracyjny

Ich budowa i układ zależy od przepuszczalności gleby. Najczęściej stosowany jest układ systematyczny (zwykły), charakteryzujący się regularnymi odstępami między równolegle ułożonymi, bocznymi rurami drenarskimi. Odprowadzają one wodę bezpośrednio, lub za pośrednictwem centralnego kolektora, do rowów melioracyjnych lub naturalnych cieków i zbiorników wodnych. Gleby o niskiej przepuszczalności, takie jak ciężkie iły, są odwadniane przy użyciu rur drenarskich ułożonych w małych odstępach, co 5–15 m, podczas gdy w glebach bardziej przepuszczalnych odstępy te sięgają nawet 40 m [13]. Rozstawa drenów zależy również od głębokości ich ułożenia, przy czym głębsze dreny zwykle układane są w większej rozstawie.

W przypadku gleb o ograniczonej przepuszczalności głębokość ułożenia drenów zależy od miąższości bardziej przepuszczalnych, górnych warstw gleby. Na wielu glebach ilastych podłoże jest tak nieprzepuszczalne, że układanie rur drenarskich głębiej niż 75 cm nie ma większego sensu. W takim przypadku na drenach układa się żwir, aby ułatwić zbieranie wody. Natomiast w przypadku gleb z płytko występującymi wodami podziemnymi głębokość drenażu może być ograniczona poziomem wody w kanale odpływowym. Jeśli nie ma tego rodzaju ograniczeń to w glebach bardziej przepuszczalnych dreny mogą być zainstalowane na głębokości nawet 120–150 cm.

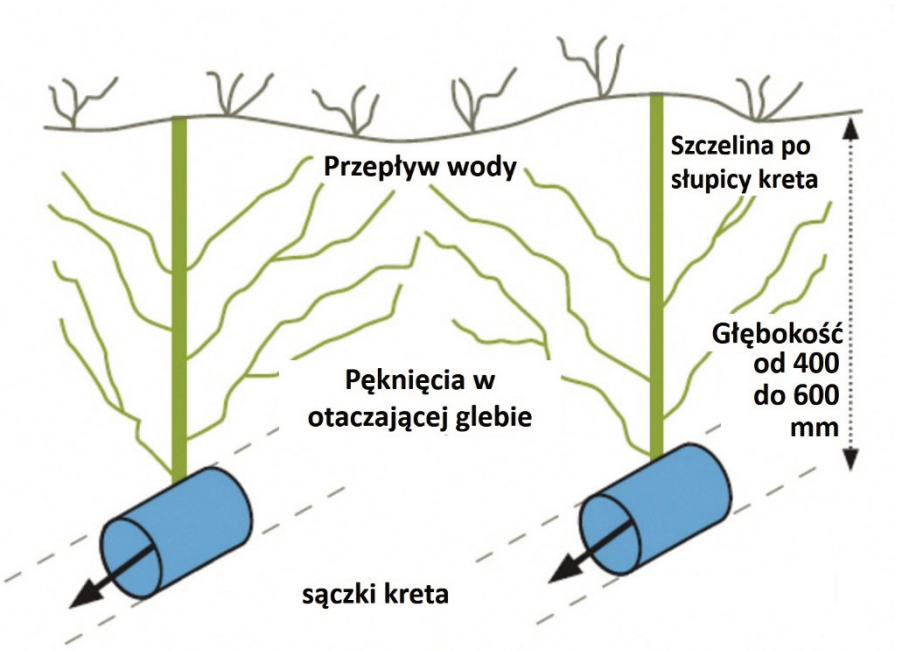
Drenaż dodatkowy

Systemy te są potrzebne tylko w przypadku profili glebowych o ograniczonej przepuszczalności, dla których teoretycznie wyznaczona rozstawa drenów byłaby bardzo gęsta i tym samym znacznie zwiększyłaby koszty systemu. Na tego rodzaju stanowiskach drenaż podglebia nad drenami można poprawić dzięki specjalnym, dodatkowym zabiegom drenażowym, takim jak głęboszowanie, rozluźniające zagęszczoną i nieprzepuszczalną warstwę gleby (np. podeszwę płużną), lub kretowanie, które tworzy podziemne kanały, spełniające rolę sączków odprowadzających wodę do drenów (rys. 12). Woda do sączków spływa szczelinami, tworzonymi przez słupicę przeciąganego kreta, i wzdłuż pęknięć gleby, które powstają podczas kretowania. Dodatkowy drenaż wykonywany jest w odstępach co 1–2 m, zwykle poprzecznie względem rur drenarskich, które układane są w rozstawie około 20–40 m [13]. Jeśli krecie sączki powstają w plastycznych glebach ilastych to mogą trwać od 2 do 10 lat. Zarówno kretowanie jak i głęboszowanie wykonuje się zwykle na głębokości od 40 do 60 cm.

Drenaż dodatkowy odprowadza wodę z warstwy gleby położonej nad rurami drenażu podstawowego, dlatego stężenie pestycydów w zbieranej tam wodzie może być większe niż w drenażu podstawowym.

c) Proces podejmowania decyzji

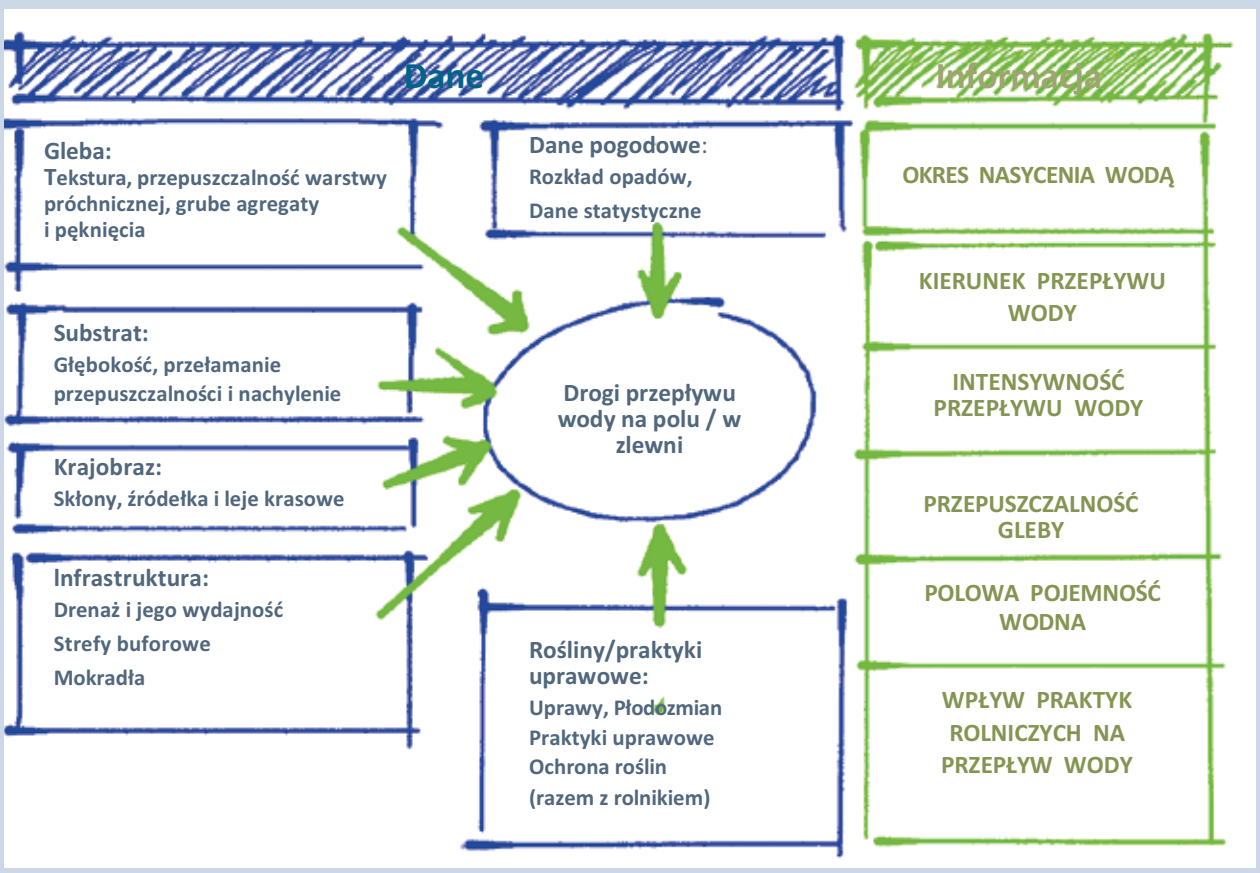
Głównym powodem, dla którego rolnicy inwestują w systemy odwadniające, jest przekształcenie podmokłych pastwisk na grunty orne, poszerzenie zakresu upraw lub znaczne zwiększenie plonów. Ze względu na potencjalny wpływ melioracji na środowisko instalacje drenażowe muszą być zaprojektowane i wykonane według specjalnego planu, biorącego pod uwagę wszystkie istotne czynniki środowiskowe. Ponadto należy mieć na uwadze skutki melioracji w zlewni, w tym także jej długofalowe następstwa w dole rzeki. Instalacja drenażu podstawowego jest decyzją długoterminową, przekraczającą zwykle 20 lat, więc dobre praktyki dotyczące stosunków wodno-powietrznych powinny mieć charakter trwałych zaleceń, a efektów tych praktyk należy oczekiwać w dłuższej perspektywie czasowej. Drenaż dodatkowy wymaga odtwarzania w glebie co 3 do 5 lat i wymaga mniejszych nakładów finansowych. Stąd efekt wdrożenia związanych z nim dobrych praktyk powinien być odczuwalny w krótszym okresie. Lokalne władze powinny się angażować w kontrolę inicjatyw i planów melioracyjnych oraz administrowanie publicznym finansowaniem inwestycji.



Rys. 12. Schemat drenażu dodatkowego, będącego efektem kretowania [14]

Określenie ruchu wody w glebie i krajobrazie

Dostępnych jest wiele informacji istotnych dla zrozumienia ruchu wody w glebie i zlewni. Można je uzyskać w serwisach internetowych oraz jednostkach administracji odpowiedzialnych za gospodarkę gruntami. Przed ich wykorzystaniem należy je zweryfikować podczas wizji lokalnej oraz poprzez audyt odpowiednich pól w zlewni.
Czasami informacje o starych systemach melioracyjnych na polach nie są dostępne z powodu krótkoterminowej dzierżawy gruntu, zmiany własności lub utraconych map. Dlatego w okresie odpływów drenażowych należy prowadzić s w terenie, aby sprawdzić, czy system melioracyjny działa i czy jest on w pełni operacyjny. Ocena jego funkcjonowania powinna obejmować monitorowanie czasu i objętości odpływu wody w relacji do intensywności i okresu trwania opadów deszczu. Należy także zbadać, gdzie znajdują się ujścia systemu drenażowego oraz dokąd płynie woda odprowadzana z pól: czy rozlewana jest na mokradłach, czy gromadzona w zbiorniku retencyjnym, czy kierowana jest bezpośrednio do rowu lub strumienia.



Rys. 13. Informacje wymagane do określenia ryzyka zanieczyszczenia wody na polu [1]

Schemat decyzyjny

Aby zidentyfikować różne scenariusze odwadniania pól i związane z nimi potencjalne ryzyko drenażu pestycydów do wód powierzchniowych opracowano schemat decyzyjny w formie tabeli (Tabela 4). Schemat ten ma na celu uproszczenie złożoności całego procesu identyfikacji scenariuszy i wynikających z nich zagrożeń dzięki zestawowi wspólnych kryteriów, które mają zastosowanie w całej Europie i w sposób ogólny odnoszą się do pestycydów. Po zdiagnozowaniu scenariuszy i odpowiadających im poziomów ryzyka należy wybrać odpowiednie środki zaradcze (tabela 5). W szczególności należy wziąć pod uwagę lokalne warunki klimatyczne, takie jak temperatura i rozkład opadów. Schemat decyzyjny może wymagać dostosowania do warunków środowiskowych właściwych dla danego kraju.

DOBRE PRAKTYKI = DIAGNOZA RYZYKA + WYBRANE ŚRODKI ZARADCZE (ZESTAW NARZĘDZI)

Tabela 4. Schemat decyzyjny – Diagnoza ryzyka drenażowego odpływu pestycydów

Melioracja z powodu słabej przepuszczalności gleby	Widoczne duże pęknięcia/makropory[1]			Wysokie ryzyko
	Duże pęknięcia/makropory pojawiają się co kilka lat	Wykonane głęboszowanie lub kretowanie		Wysokie ryzyko
		Brak głęboszowania lub kretowania	Il > 35%	Wysokie ryzyko
			Il 25-35%	Średnie ryzyko
			Il < 25%	Niskie ryzyko
Melioracja w celu kontroli płytko występujących wód podziemnych	Gleby mineralne	Pojawiają się duże pęknięcia/makropory		Wysokie ryzyko
		Duże pęknięcia/ makropory pojawiają się co kilka lat	PPW[3] < 150 mm	Wysokie ryzyko
			PPW 150–230 mm	Średnie ryzyko
			PPW > 230 mm	Niskie ryzyko
	Gleby torfowe[2]			Niskie ryzyko

[1] Pęknięcia/makropory ≥1 cm na powierzchni gleby

[2] Gleby torfowe: zawartość materii organicznej w warstwie próchniczne (ornej) ≥30%

[3] Polowa pojemność wodna w górnej warstwie gleby o miąższości 100 cm lub w warstwie położonej nad drenami, jeśli jest płytsza.

Jak korzystać ze schematów decyzyjnych – Tabela 4

Schemat decyzyjny należy czytać od lewej do prawej strony, wybierając w każdej kolumnie odpowiednią kategorię dla każdego parametru diagnostycznego. Po pierwsze, należy określić cel melioracji: a) zarządzanie wilgotnymi glebami o niskiej przepuszczalności, lub b) zarządzanie glebą z płytko występującym zwierciadłem wód podziemnych.

a) Na glebach o niskiej przepuszczalności przepływ wody przyśpieszają pęknięcia, które występują głównie na glebach ilastych z powodu silnego tworzenia agregatów, a szczególnie na iłach pęczniejących, które podczas suszenia kurczą się i pękają. Jeśli nie pojawiają się pęknięcia to ruch wody w takich glebach jest zwykle powolny. Głęboszowanie i kretowanie, oraz zawartość iłu, zwiększają ilość makroporów i prędkość przepływu wody, a zatem mogą zwiększać odpływ drenażowy, i w konsekwencji zwiększyć ryzyko obciążające dane pole.

b) Na polach z płytkimi wodami gruntowymi gleby o wysokiej zawartości materii organicznej (gleby torfowe) mają niską podatność na drenaż pestycydów. Gleby mineralne mogą mieć wysoką podatność, w zależności od tego, czy w glebie regularnie powstają duże pęknięcia. Poziomy ryzyka w glebach bez widocznych pęknięć są klasyfikowane od niskiego do wysokiego, w zależności od zdolności zatrzymywania wody (PPW) w górnej warstwie gleby, o miąższości 100 cm.

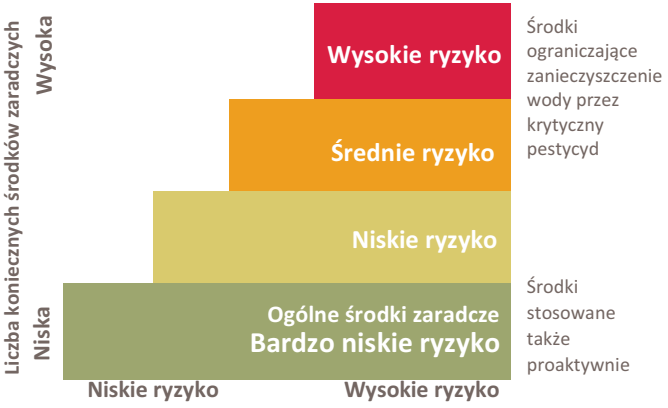
Schemat decyzyjny może wymagać dostosowania do lokalnych warunków glebowych i klimatycznych panujących w konkretnym rejonie. Warto przypomnieć, że diagnozowanie ryzyka drenażu pestycydów i wdrażanie dobrych praktyk wykonuje się przede wszystkim w reakcji na stwierdzenie niedopuszczalnych stężeń konkretnych pestycydów w wodach powierzchniowych. Ponieważ drenaż zależy od właściwości pestycydów i sposobu ich stosowania w zlewni, większość dobrych praktyk nie powinna być stosowana proaktywnie w odniesieniu do wszystkich odwadnianych pól i pestycydów. Należy raczej ukierunkować je na zmniejszenie częstotliwości stwierdzeń niedopuszczalnych stężeń określonych pestycydów.

3 DOBRE PRAKTYKI ZARZADZANIA RYZYKIEM DRENAŻU

Punktem wyjścia do opracowania dobrych praktyk w celu ograniczenia ryzyka drenażu pestycydów w zlewni jest stwierdzenie zanieczyszczenia wody, spowodowanego przez krytyczny pestycyd. Jeśli jest on stosowany na meliorowanych polach w zlewni to ryzyko drenażu należy określić dla wszystkich tych pól.

Pola, dla których zdiagnozowano niskie ryzyko drenażu nie wymagają podejmowania środków zaradczych lub jedynie kilka ogólnych, utrzymujących ten stan rzeczy. Tam gdzie stwierdzono wysokie ryzyko istnieje konieczność zastosowania większości lub nawet wszystkich dostępnych środków naprawczych. Zaleca się, aby diagnozowanie ryzyka i omówienie potencjalnych środków zaradczych przeprowadzić wspólnie z doradcą i gospodarzem pól, upewniając się przy tym, że wybrane środki są zbieżne z jego zamierzeniami i pasują do obecnego i planowanego systemu uprawy.

Przykład przedstawiony w tabeli 5 może posłużyć jako punkt wyjścia do omówienia odpowiednich środków lub ich kombinacji. Ostatecznie ich zdefiniowanie jest procesem interaktywnym, tzn. może zaistnieć potrzeba powtórzenia lub zmiany działań zależnie od uzyskanych efektów, potwierdzonych wynikami monitorowania czystości wód w zlewni.



Rys. 14. Proces tworzenia dobrych praktyk poprzez wybór środków zaradczych, zależnych od zdiagnozowanego ryzyka

Tabela 5. Schemat decyzyjny – środki zaradcze w powiązaniu z poziomami ryzyka drenażu pestycydów

Kategorie środków zaradczych	Ogólne środki zaradcze	Środki zaradcze dla NISKIEGO ryzyka*	Środki zaradcze dla ŚREDNIEGO ryzyka*	Środki zaradcze dla WYSOKIEGO ryzyka*
Termin zabiegów	Nie opryskuj przed spodziewanym obfitym opadem deszczu		Unikaj opryskiwania podczas okresów odpływu wody z pól	Rozważ stosowanie alternatywnych pestycydów
Obciążenie pola pestycydami	Rozważ zaprawianie nasion Rozważ opryskiwanie selektywne/placowe	Stosuj dawki dzielone Stosuj najniższe skuteczne dawki	Redukuj dawki pestycydów stosując mieszaniny zbiornikowe	
Rotacja pestycydów		Rozszerz rotację pestycydów w zlewni	Stosuj rotację pestycydów w konkretnych uprawach	Ogranicz stosowanie krytycznych pestycydów
Optymalizacja płodozmianu	Stosuj płodozmian optymalizujący kondycję roślin	Stosuj uprawy z palowo-wiązkowym systemem korzeniowym Stosuj przemiennie uprawy ozime i jare		
Zabiegi uprawowe				Rozważ zabiegi uprawowe likwidujące makropory
Rośliny okrywowe	Wybierz odpowiednie rośliny okrywowe			
Optymalizacja melioracji		Unikaj nadmiernego odwadniania		
Retencja wody				Stosuj zbiorniki retencyjne do zbierania wody z drenażu
Optymalizacja nawadniania	Oblicz wymaganą dawkę nawodnieniową	Optymalizuj nawadnianie w oparciu o pomiary wilgotności gleby		

* Dla tych poziomów ryzyka można stosować także środki zaradcze wymienione dla niższych poziomów (rys. 14).

4 ZESTAW NARZĘDZI

1. Termin wykonania zabiegu

Termin stosowania pestycydów jest istotnym czynnikiem ryzyka, ponieważ najwyższe stężenia pestycydów są stwierdzane w pierwszych, następujących po zabiegach odpływach drenażowych. Na meliorowanych polach w zimie i wczesną wiosną często występuje okres o mniej więcej ciągłym odpływie wody (rys. 8), co wynika z niskich wskaźników ewapotranspiracji o tej porze roku (rys. 5). Ze względu na zmienność rocznego rozkładu opadów, początek i koniec okresu odpływu może się z roku na rok zmieniać o kilka tygodni. Na glebach z warstwą próchniczną wyposażoną w makropory (np. na pękających glebach ilastych) mogą wystąpić wyraźne pojedyncze odpływy wody jesienią i latem, gdy intensywne opady deszczu powodują jej szybkie przesiąkanie do systemu drenażowego.

Co robić?

Krytyczne pestycydy, tj. pestycydy, które w wyniku drenażu występują w wodach powierzchniowych zlewni w niedopuszczalnych stężeniach, należy stosować poza okresem stałego odpływu. W razie konieczności należy stosować alternatywne pestycydy. Ponadto nie należy planować i wykonywać zabiegów, gdy prognozowane są ulewne deszcze.

Jak to zrobić?

Uważnie przestudiuj etykietę środka ochrony roślin, aby ustalić, czy istnieją wymagania dotyczące terminu stosowania lub czy obowiązują ograniczenia jego stosowania na meliorowanych polach. Sprawdź również zalecenia dotyczące sposobu stosowania środka.

W przypadku pestycydów krytycznych, o ile to możliwe, należy unikać opryskiwania, gdy gleba jest mokra, czyli od późnej jesieni do wczesnej wiosny (w okresie odpływu wody). Przed zabiegiem upewnij się, że nie ma aktualnie odpływu wody z pola.

Sprawdź prognozę pogody i nie stosuj pestycydów krytycznych, jeśli w ciągu najbliższych 48 godzin przewidywany jest obfity opad deszczu (> 20 mm).

Sprawdź wilgotność gleby, i unikaj opryskiwania gdy jest ona bliska granicy nasycenia wodą, chyba że w najbliższych dniach nie przewiduje się opadów deszczu.

2. Obciążenie pola pestycydami

a) Redukcja dawek pestycydów

Skuteczność środka ochrony roślin zależy nie tylko od właściwości jego substancji aktywnej lecz także od szeregu czynników zewnętrznych, np. warunków klimatycznych, techniki stosowania, rodzaju gleby, wilgotności gleby, sposobu i stadium wzrostu uprawy, odmiany roślin, zwalczanych organizmów i fazy ich rozwoju. Zalecenia etykiety gwarantują poprawną skuteczność środka, biorąc pod uwagę zmienność czynników zewnętrznych. Jeśli są one korzystne dla działania środka to można zredukować jego dawkę bez obniżenia skuteczności.

Jeśli czynniki zewnętrzne są trudne do przewidzenia i kontrolowania to redukcja dawek pestycydów wiąże się z ryzykiem obniżenia ich skuteczności. W oparciu o swoje doświadczenie związane z konkretnym polem i uprawą wykonawca zabiegu może zredukować dawkę pestycydu uwzględniając akceptowalne ryzyko. Redukcję taką mogą umożliwiać także szczególne cechy odmianowe roślin, np. zwiększające ich odporność na choroby i szkodniki.

Należy jednak wziąć pod uwagę, że obniżenie dawki pestycydu może wywołać odporność szkodników lub patogenów, co pociąga za sobą potrzebę wykonywania częstszych zabiegów lub konieczność wykluczenia pestycydu z programu ochrony. Dlatego ewentualne redukcje dawek powinny być przedyskutowane z doradcami i, jeśli to możliwe, powinny dotyczyć produktów wieloskładnikowych lub zbiornikowych mieszanin substancji o różnych sposobach działania.

Co robić?

Dawki krytycznych pestycydów, tzn. takich, które w wyniku drenażu występują w wodach powierzchniowych zlewni w niedopuszczalnych stężeniach, należy ograniczyć do niezbędnego minimum.

Jak to zrobić?

Skonsultuj się z doradcą w sprawie minimalnych, skutecznych dawek krytycznego pestycydu. Jeśli to możliwe stosuj zbiornikowe mieszaniny substancji, które pozwalają obniżyć dawkę krytycznego pestycydu bez uszczerbku dla skuteczności zabiegu i bez ryzyka rozwoju odporności. Upewnij się czy nie ma przeciwskazań, co do mieszania substancji.

Tabela 6. Przegląd środków zaradczych ograniczających drenaż pestycydów do wód powierzchniowych

KATEGORIA ŚRODKÓW ZARADCZYCH	ŚRODKI ZARADCZE
Termin zabiegów[1]	Unikaj opryskiwania ***podczas okresów odpływu*** wody z pól i przed spodziewanym obfitym opadem deszczu. ***Rozważ stosowanie dostępnych metod/pestycydów alternatywnych.***
Obciążenie pola pestycydami[1]	Zredukuj dawki pestycydów. ***Stosuj mieszaniny pestycydów (różne substancje aktywne).*** Stosuj dawki dzielone (rozłóż obciążenie pola w czasie). Stosuj monitorowanie szkodników (wizualnie, automatycznie) i traktuj tylko porażone miejsca (opryskiwanie selektywne). Stosuj zaprawianie nasion.
Rotacja pestycydów[1]	Rozszerz zakres płodozmianu, aby zredukować zużycie pestycydów. ***Stosuj pestycydy rotacyjnie dla konkretnej uprawy w zlewni.*** ***Ogranicz stosowanie pestycydów na podatnych polach.***
Optymalizacja płodozmianu	Stosuj płodozmian żeby zoptymalizować kondycję roślin oraz: - stosuj naprzemiennie uprawy jare i ozime, - rozważ rośliny o palowo-wiązkowym systemie korzeniowym.
Zabiegi uprawowe[1]	***Jeśli problemem jest nadmierny odpływ wody rozważ przeprowadzenie co najmniej płytkiej uprawy żeby zlikwidować makropory na podatnych polach.***
Rośliny okrywowe	Stosuj rośliny okrywowe, które współgrają z płodozmianem: - zwróć uwagę na wartościowe rośliny okrywowe, - utrzymuj rośliny okrywowe w dobrej kulturze, - upewnij się, że rośliny okrywowe nie kolidują z właściwą uprawą.
Optymalizacja melioracji	Zaplanuj i wykonaj melioracyjną w sposób profesjonalny aby uniknąć nadmiernego odpływu wody.
Retencja wody[1]	***Stosuj zbiorniki retencyjne (np. stawy, mokradła) do gromadzenia wody odprowadzanej przez melioracyjną oraz do rozcieńczania i rozkładu pestycydów o wysokich stężeniach w spływającej wodzie.***
Optymalizacja nawadniania	Oblicz wymagane dawki nawodnieniowe (w oparciu o bilans wodny). Monitoruj wilgotność gleby żeby zoptymalizować program nawadniania.

[1] Praktyki zapisane pogrubioną kursywą powinny być stosowane w reakcji na niedopuszczalne stężenia krytycznych pestycydów w wodach powierzchniowych.

b) Dawki dzielone

Dawki dzielone to kolejne, przeprowadzone w sekwencji zabiegi z użyciem tego samego lub różnych pestycydów w obniżonych dawkach, zwykle stosowane do zwalczania wrażliwych chwastów we wczesnej fazie wzrostu. Zredukowane lecz powtarzane dawki zmniejszają stężenie pestycydów w wierzchniej warstwie gleby i rozkładają obecność substancji aktywnej na roślinach przez dłuższy czas. Jeśli krótko po zabiegu występują opady deszczu to nie istnieje duże ryzyko wysokich stężeń pestycydów w odpływie drenażowym.

Co robić?

Zamiast jednej pełnej dawki zastosuj krytyczny pestycyd w dwóch dawkach zredukowanych o połowę, zgodnie z instrukcją na etykiecie produktu.

Jak to zrobić?

Dawki dzielone wymagają uważnego monitorowania kolejnych etapów rozwoju szkodników oraz odpowiedniej wiedzy o właściwościach i sposobie działania stosowanych pestycydów. Należy wybrać odpowiedni termin zabiegu. Warto skonsultować się z doradcą.

Ograniczenia

Wadą dawek dzielonych jest konieczność wykonania co najmniej dwóch zabiegów, co powoduje wzrost kosztów i możliwe zagęszczenie gleby z powodu dodatkowych przejazdów maszyn. Późną jesienią i wczesną wiosną takie praktyki mogą być trudne do zrealizowania ze względu na dużą wilgotność gleb.

c) Opryskiwanie ukierunkowane i selektywne

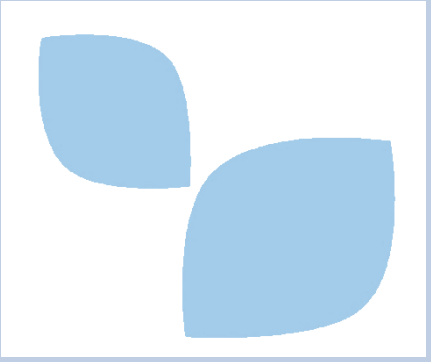
Wiele upraw ma charakter rzędowy, a agrofagi często występują miejscowo (ogniska chorób, skupiska szkodników, placowe zagęszczenia chwastów). Precyzyjne stosowanie pestycydów polega na ich nanoszeniu tylko tam gdzie konieczne: w przypadku roślin w sposób ukierunkowany, np. na rzędy roślin, a w odniesieniu do agrofagów selektywnie, tzn. tylko w miejscach porażenia roślin przez choroby i szkodniki lub w miejscach występowania chwastów. Oznacza to bardzo racjonalne wykorzystanie pestycydów i w efekcie istotne ograniczenie ich zużycia.

Nanoszenie ukierunkowane realizuje się przy użyciu opryskiwaczy rzędowych i pasowych, a selektywne z użyciem systemów identyfikacji obiektów (czujników) lub w oparciu o cyfrowe mapy aplikacji.

Selektywne i ukierunkowane techniki ochrony upraw są elementem rolnictwa precyzyjnego. Ta nowa technologia posiada także narzędzia umożliwiające przewidywanie, zabezpieczanie i podnoszenie plonów przy jednoczesnej optymalizacji stosowania środków ochrony roślin w ukierunkowany, kontrolowany i skuteczny sposób. Rozwój rolnictwa precyzyjnego, a zwłaszcza technik ochrony upraw, które racjonalizują stosowanie pestycydów, zapewnia szerokie możliwości rozwiązania problemów związanych z narażeniem środowiska poprzez ograniczenie ryzyka drenażu i i wymywania pestycydów w gleby.

Narzędzia wspomagania decyzji, w połączeniu z modelami prognozującymi choroby, które określają ryzyko i presję infekcji, mogą pomóc w optymalizacji dawek fungicydów w określonych miejscach na polu, minimalizując w ten sposób ich zużycie. Selektywne zwalczanie chwastów w oparciu o automatyczne systemy ich rozpoznawania i mapowania zapewnia kolejną szansę na racjonalne wykorzystanie pestycydów i mniejsze obciążenie środowiska.

Mapowanie podatności pola na zagrożenia jest kolejnym obiecującym podejściem do wyznaczenia ryzyka wymywania i drenażu w oparciu o specyficzne dla danego miejsca wskaźniki ryzyka, takie jak zawartość węgla organicznego, tekstura lub zdolność do infiltracji. Mapy te mogą pomóc rolnikom, doradcom i jednostkom administracji w identyfikacji terenów wysokiego ryzyka i podejmowaniu środków ograniczających specyficzne ryzyko dla danego miejsca.



Co robić?

Pasowe nanoszenie herbicydów

W uprawach rzędowych o wystarczająco szerokiej rozstawie rzędów chwasty w międzyrzędziach można zwalczać nanosząc totalnie działający herbicyd opryskiwaczem pasowym, wyposażonym w osłony chroniące rośliny uprawne. Z kolei zwalczanie chwastów za pomocą herbicydów selektywnych nanoszonych w rzędach upraw jest zwykle łączone z mechanicznym niszczeniem chwastów w międzyrzędziach. Pasowe nanoszenie herbicydów pozwala na istotne ograniczenie ich zużycia i zmniejszenie obciążania gleby.

Opryskiwanie selektywne

Celem jest selektywne opryskiwanie obiektów będących przedmiotem ochrony lub zwalczania. Wymaga to zastosowania specjalistycznego opryskiwacza z systemem identyfikacji obiektów. Taką strategię ochrony upraw można stosować tylko wtedy, gdy możliwe jest dokładne monitorowanie agrofagów.

Jak to zrobić?

W celu precyzyjnego stosowania środków ochrony roślin w uprawach rzędowych odpowiednio dostosuj swój opryskiwacz. W przypadku opryskiwania upraw zastosuj ukierunkowane na rzędy roślin rozpylacze, ramki lub mini-tunele, a w przypadku zwalczania chwastów użyj indywidualnych osłon na rozpylaczach prowadzonych w międzyrzędziach. Oblicz dawkę środka ochrony roślin w odniesieniu do faktycznie traktowanej powierzchni w rzędach lub w międzyrzędziach.

Kluczem do selektywnego nanoszenia pestycydów jest staranne monitorowanie i mapowanie agrofagów aby precyzyjnie określić cel opryskiwania. Lokalizacja ognisk infekcji patogena, miejsc inwazji szkodnika lub skupisk chwastów jest przenoszona na cyfrowe mapy GIS, które są następnie czytane przez system GPS sterujący pracą opryskiwacza. Szkodniki o dużej ruchliwości, np. niektóre owady, są trudne do skutecznego zwalczania przy użyciu tego rodzaju systemów. W przypadku zwalczania chwastów wykorzystywane są czujniki spektralne lub systemy wizyjne do ich wykrywania i lokalizowania.

Ograniczenia

Selektywna ochrony roślin wymaga zastosowania zaawansowanej i kosztownej technologii. Jej wykorzystanie wymaga z kolei wiedzy i umiejętności technicznych.

d) Zaprawianie nasion

Zaprawianie nasion jest najbezpieczniejszą, z punktu widzenia środowiska, formą stosowania pestycydów. Ponieważ są one nanoszone tylko na nasiona przed wysiewem to ich dawka w przeliczeniu na hektar pola jest wielokrotnie niższa od dawek stosowanych w tradycyjnej formie opryskiwania upraw. Zaprawy chronią rośliny we wczesnym stadium wzrostu przed szkodnikami i chorobami.

Co robić?

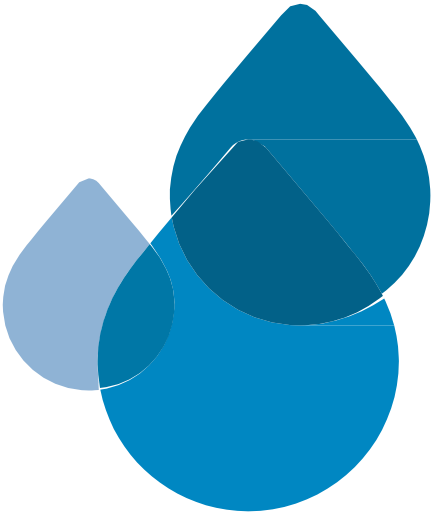
Używaj nasion zaprawianych profesjonalnie, co gwarantuje odpowiednią dawkę pestycydu i minimalizuje narażenie środowiska na jego działanie. Do siewu stosuj sprzęt minimalizujący znoszenie pyłu uwalnianego z nasion.

Jak to zrobić?

Kupuj nasiona zaprawione w firmie nasiennej. Upewnij się, że stosowany sprzęt minimalizuje uwalnianie się i znoszenie pestycydu z nasion podczas siewu. Stosuj siewniki odsysające uwalniane pestycydy i zapobiegające jego znoszeniu.

Ograniczenia

Zaprawianie materiału siewnego łączy wybór nasion z wyborem sposobu ochrony roślin. Technologię tę należy stosować tylko wtedy, gdy istnieje konieczność stosowania określonego sposobu chemicznej ochrony upraw w ciągu sezonu.



3. Optymalizacja doboru I rotacja pestycydów w zlewni

a) Rotacja pestycydów w skali zlewni

W obszarze zlewni wszystkie meliorowane pola mogą przyczynić się do zanieczyszczenia wody podczas okresu odpływu drenażowego lub po silnych opadach deszczu. Stwierdzenia obecności pestycydów w wodach powierzchniowych często korelują z terminami stosowania niektórych pestycydów w zlewni. Odpowiedni płodozmian, np. w cyklu 3– lub 4– letnim, na polach zlewni zmniejsza obszar traktowany krytycznymi pestycydami, ponieważ określone pestycydy są przeznaczone do ochrony określonych roślin uprawnych przed właściwymi im szkodnikami lub chorobami (np. herbicydy dla buraków cukrowych, zbóż i kukurydzy zwykle się nie pokrywają). Jeśli dla danej uprawy dostępnych jest kilka pestycydów przeznaczonych do zwalczania określonego szkodnika czy patogena, to w kolejnych zabiegach należy stosować różne substancje (rotacja pestycydów), aby nie dopuścić do rozwoju odporności agrofagów.

Co robić?

W rejonach, w których zanieczyszczenie spowodowane drenażem pestycydów stanowi problem, zaleca się stosowanie płodozmianu, i tym samym zróżnicowanych terminów siewu zmianowanych upraw. Upewnij się przy tym, że dla upraw tych w żadnym okresie nie stosuje się krytycznego pestycydu, jako dominującego środka ochrony roślin. Jeśli w zlewni dominuje jeden lub dwa gatunki roślin uprawnych to wśród uprawiających je rolników należy różnicować pestycydy stosowane dla tych upraw.

Jak to zrobić?

Biorąc pod uwagę przesłanki agrotechniczne i ekonomiczne oraz uwzględniając problem zanieczyszczenia wód powierzchniowych w wyniku drenażu pestycydów należy zoptymalizować płodozmian na poziomie zlewni, czyli w porozumieniu z wszystkimi rolnikami na jej terenie, tak aby osiągnąć możliwie najdłuższy cykl rotacji upraw. Pozwoli to uniknąć dominacji jednej uprawy i związanych z jej ochroną pestycydów. W przypadku, gdy jedna lub dwie uprawy pozostają dominujące w zlewni, należy wprowadzić dla nich rotację pestycydów, aby zminimalizować obciążenie pól krytycznym pestycydem w tym samym czasie. Podstawą wyboru i stosowania pestycydów na każdą uprawę i każdego agrofaga są zalecenia zawarte na etykiecie środka ochrony roślin.

Ograniczenia

Uzgodnienie wśród rolników zróżnicowania upraw w zlewni może napotkać trudności z powodu czynników ekonomicznych (np. zbyt plonów) i agrotechnicznych (np. dostępność technologii), które należy rozwiązać w pierwszej kolejności. Rotacja środków ochrony roślin w przypadku określonych upraw może być utrudniona ze względu na ograniczoną dostępność skutecznych i zarejestrowanych środków ochrony roślin dla niektórych agrofagów.

Efekty dobrych praktyk zależą od koordynacji działań na poziomie zlewni. Działania te powinny prowadzić lokalne władze, lub doradcy we współpracy z rolnikami.

b) Dobór pestycydów / ograniczone stosowanie na stanowiskach wrażliwych

W niektórych zlewniach mimo przestrzegania dobrych praktyk i zaleceń doradztwa w zakresie stosowania pestycydów nie udaje się zapobiec zanieczyszczeniu wód powierzchniowych w wyniku drenażu. Może nawet dojść do naruszenia norm jakości środowiska (EQS) lub przekroczenia dopuszczalnych stężeń pewnych pestycydów w wodzie pitnej z uwzględnieniem istniejących procesów uzdatniania wody. Wyniki monitorowania wody pozwalają na identyfikację pestycydów, będących powodem niedopuszczalnych stężeń w wodach powierzchniowych przy stosowaniu aktualnych praktyk. Oprócz zanieczyszczeń miejscowych, które należy traktować priorytetowo, takie sytuacje powstają w efekcie najbardziej niekorzystnych kombinacji czynników terenowych, warunków klimatycznych i właściwości pestycydów. W takich przypadka konieczne jest podjęcie specjalnych działań, których celem jest zapewnienie wymaganych norm jakości wody.

- Lokalne, dobrowolne lub obowiązkowe, ograniczenia w stosowaniu pestycydów na niektórych obszarach wrażliwych, wykraczające poza wymagania określone na etykiecie pestycydów – konieczne i wystarczające działanie prowadzące do spełnienia wymaganych norm dla wód powierzchniowych.
- Lokalne, dobrowolne lub obowiązkowe, zaniechanie stosowania pestycydów krytycznych na niektórych obszarach wrażliwych, gdy ryzyko przekroczenia norm jakości dla wody przy jakimkolwiek zastosowaniu tych pestycydów jest uważane za zbyt wysokie.

Podatność pól na zanieczyszczenia wynikające z drenażu pestycydów można z grubsza oszacować za pomocą wskaźników ryzyka. Należy je skonsultować z lokalnymi doradcami.

Nie można określić jednolitego trybu podejmowania decyzji o lokalnych ograniczeniach lub zakazie stosowania pestycydów, ponieważ zależy to od specyfiki sytuacji. Jednak w oparciu o istniejące doświadczenia często można znaleźć rozwiązania sprawiające, że odpowiednie do sytuacji stosowanie pestycydów uwzględnia zarówno ochronę czystości wody, jak i produktywność upraw.

Producenci pestycydów udzielają zaleceń w zakresie stosowania pestycydów o krytycznych właściwościach substancji aktywnych (np. o mobilności i trwałości w glebie), aby uniknąć nadmiernego przepływu odcieków w glebie traktowanych pól. Zalecenia te znajdują się czasem na etykietach pestycydów. Można je także upowszechniać za pośrednictwem ulotek, informacji prasowych oraz poprzez system dystrybucji. Rolnicy powinni stosować się do tych zaleceń i skonsultować się z doradcami w zakresie ochrony roślin w celu uzyskania szczegółowych informacji.

Co robić?

Na obszarach, gdzie problemem jest zanieczyszczenie wód powierzchniowych konkretnym pestycydem, zasięgnij porady na temat jego stosowania i postępuj zgodnie z zaleceniami i ewentualnymi ograniczeniami dla obszarów wrażliwych.

Jak to zrobić?

W przypadku identyfikacji pestycydów stwarzających problem na obszarach wrażliwych zalecane jest ograniczenie ich stosowania na tych obszarach. Należy przestrzegać oficjalnych zaleceń doradców w zakresie ochrony roślin lub służb ochrony środowiska, oraz, w stosownych przypadkach, także zasad zarządzania gospodarstwem. W każdym przypadku podstawą prawną wyboru i sposobu stosowania pestycydu na danej uprawie jest instrukcja na etykiecie. Jej przestrzeganie gwarantuje skuteczność biologiczną produktu i zgodność jego stosowania z wymogami prawnymi.

Ograniczenia

Zastrzeżenia co do stosowania, a szczególnie zalecenia dotyczące niestosowania pestycydów, mogą ograniczać skuteczność alternatywnych metod ochrony roślin dla danej uprawy. Rozważ różne warianty płodozmianu na wrażliwych polach, aby uniknąć takich sytuacji w przyszłości.

4. Optymalizacja płodozmianu

Płodozmian jest systemem zagospodarowania ziemi uprawnej, opartym na zaplanowanym na wiele lat następstwie roślin po sobie na tym samym polu. Celem płodozmianu jest osiągnięcie korzyści agrotechnicznych, ekonomicznych i środowiskowych, a w szczególności utrzymanie żyzności gleby i dobrej kondycji upraw.

Dla rolnika wybór płodozmianu jest ważną decyzją agrotechniczną. Decyduje ona o nakładach pracy w ciągu roku, krótko- i długoterminowej rentowności, potrzebnych maszynach, żyzności i strukturze gleby, praktykach uprawowych, gromadzeniu się materii organicznej i presji szkodników. Ponadto ma wpływ na aspekty środowiskowe, takie jak przepływ wody w glebie i na jej powierzchni. Zasadniczo płodozmian jest rozumiany, jako sekwencyjna uprawa różnych roślin na danym polu, lub szerzej jako różnorodność upraw na różnych polach określonego obszaru/zlewni. Różnorodność tą uzyskuje się zwykle dzięki stosowaniu różnych schematów płodozmianu na różnych polach.

Mając na uwadze ograniczenie drenażu pestycydów zoptymalizowanie płodozmianu przynosi następujące korzyści:

Rys. 15. Płodozmian zapobiega dominacji pewnych upraw, zwiększając tym samym różnorodność stosowanych pestycydów.

Poprawa sorpcji i rozkładu pestycydów w glebie
Aktywność biologiczna gleby koncentruje się w jej warstwie próchnicznej, zasobnej w materię organiczną. Sprzyja ona rozkładowi pestycydów i zwiększa zdolność gleby do ich adsorpcji. Do wzrostu zawartości materii organicznej w glebie przyczynia się wysoki poziomie resztek pożniwnych oraz włączenie do płodozmianu roślin okrywowych.

Ograniczenie zużycia pestycydów dzięki integrowanej ochronie roślin
Ubogi płodozmian prowadzi zwykle do kumulacji specyficznych dla pewnych uprawy patogenów, szkodników i chwastów. Ze względu na zdrowotność roślin dobrą praktyką jest zróżnicowanie płodozmianu, co pozwala na stosowanie pestycydów w sposób ukierunkowany na cel. Decyzje dotyczące płodozmianu zależą w dużej mierze od czynników ekonomicznych, które pozostają często poza bezpośrednim wpływem rolnika.

Co robić?

Prowadź płodozmian, który jest najbardziej zróżnicowany oraz który pasuje do twojego systemu uprawy i wymagań ekonomicznych. Stosuj naprzemiennie uprawy ozime i jare, rośliny z palowym i wiązkowym systemem korzeniowym oraz zboża i rośliny okopowe. Rośliny strączkowe w płodozmianie zapewniają dodatkowe korzyści zwiększając zawartości azotu i aktywność biologiczną gleby. Rotacja roślin zależy w dużej mierze od warunków klimatycznych i rodzaju gleby. Przykładem zróżnicowanego płodozmianu byłaby pszenica ozima/jęczmień, a następnie kukurydza, soja i groch/buraki cukrowe.

Jak to zrobić?

Zawartość materii organicznej w glebie można wzbogacić, pozostawiając po zbiorze dużą ilość resztek pożniwnych (system korzeniowy, resztki słomy, rośliny okrywowe). Na podstawie zebranych plonów można obliczyć ilość pozostałych w glebie resztek organicznych, które mają na celu utrzymanie lub zwiększenie zawartości materii organicznej w jej warstwie próchnicznej (patrz: tabele agrotechniczne). Liczbę upraw w rotacji, które są żywicielami tych samych patogenów/szkodników, należy zminimalizować, w przeciwnym razie mogłoby to doprowadzić do gromadzenia się nicieni lub tworzenia rezerwuarów patogenów grzybowych. W planowaniu płodozmianu należy uwzględnić także zwalczanie chwastów, ponieważ łatwość ich kontrolowania zależy od rodzaju uprawy. Skorzystaj ze sprawdzonych lokalnie schematów płodozmianu i płynących z nich korzyści, polegających na skutecznej ochronie roślin.

5. Uprawa gleby

Uprawa konserwująca, polegająca na zredukowaniu lub rezygnacji z zabiegów uprawowych, skutecznie ogranicza spływ powierzchniowy i erozję gleby. Bieżąca wiedza sugeruje jednak, że uprawa konserwująca może prowadzić do zwiększenia drenażu pestycydów, ze względu na szybszy i bardziej intensywny odpływ wody do drenów przez makropory istniejące w glebach o drobnej strukturze i niezakłóconym profilu glebowym. Tak więc sposób uprawy gleby wpływa na prędkość powierzchniowego i podpowierzchniowego przemieszczania się substancji rozpuszczonych w wodzie, i tym samym na udział spływu lub drenażu w zanieczyszczeniu wód.

Oznacza to, że ograniczona uprawa gleby lub jej brak w odmienny sposób wpływa na spływ powierzchniowy i drenaż pestycydów. Jeśli spływ powierzchniowy występuje na meliorowanym polu to jego zapobieganie ma pierwszeństwo przed ograniczaniem drenażu, ponieważ stężenia pestycydów i krótkoterminowe obciążenia wody są zwykle wyższe w przypadku spływu. Ponadto zapobieganie erozji, która może towarzyszyć spływowi powierzchniowemu ma ogromne znaczenie dla rolników. W związku z tym ograniczenie uprawy gleby należy odradzać tylko, jeśli:

(i) spływ powierzchniowy nie stanowi problemu,

(ii) odpływ wody przez makropory musi być ograniczony w celu powstrzymania drenażu pestycydów.

(Pozycje literatury: od 16 do 43)

Rys. 16. Uprawa gleby wpływa na jej porowatość (ograniczona uprawa w mniejszym stopniu zakłóca naturalną strukturę gleby)

Co robić?

Jeśli stosowane pestycydy, w wyniku drenażu, zanieczyszczają wody w zlewni to na meliorowanych i podatnych na odpływ wody glebach należy przed siewem przeprowadzić przynajmniej płytką uprawę gleby, aby ograniczyć przepływ wody przez makropory. Dotyczy to tylko pól, na których uprawa konserwująca nie jest środkiem koniecznym do ograniczania spływu powierzchniowego.

Jak to zrobić?

Pierwszym krokiem jest diagnoza ryzyka spływu powierzchniowego, aby wykluczyć potrzebę stosowania uprawy konserwującej. Jeśli jakiś pestycyd stosowany w zlewni stanowi problem ze względu na intensywność odpływu wody, a ryzyko drenażu na polu zostało zdiagnozowane, jako wysokie (patrz narzędzie do diagnozowania ryzyka drenażu), to należy odradzać rezygnację z uprawy gleby. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pól na powierzchni, których gleba ma tendencję do pękania.

Oprócz ograniczania spływu powierzchniowego konserwująca uprawa gleby jest również korzystna dla żyzności gleby, ponieważ chroni jej materię organiczną. Dlatego decyzję o stosowaniu płytkiej uprawy należy podjąć tylko wtedy, gdy oczywistym jest, że stosowanie jakiegoś pestycydu (pestycydów) na meliorowanych polach jest przyczyną niedopuszczalnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

6. Rośliny okrywowe

Rośliny okrywowe należy uważać za integralną część płodozmianu, która musi spełniać potrzeby uprawy głównej i wymagania całego systemu uprawy. W systemach uprawy rośliny okrywowe są często uprawiane latem lub jesienią, po zbiorze plonu upraw ozimych, a przed siewem lub sadzeniem upraw jarych. W uprawach wieloletnich, takich jak winnice i sady, są one również uprawiane między rzędami roślin.

Rośliny okrywowe zapewniają następujące korzyści:

- minimalizacja skutków okresu odłogowania – ochrona gleby przed bezpośrednim działaniem czynników atmosferycznych (deszczu, wiatru, promieniowania słonecznego), i tym samym poprawa stabilności agregatów i ograniczenie erozji,
- równoważenie wilgotności gleby poprzez ewapotranspirację i ochrona gleby przed wysychaniem poprzez zacienienie,
- zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie, a tym samym poprawa struktury gleby oraz wzrost poziomu składników odżywczych (zielony nawóz), zdolności wymiany kationów i zdolności do zatrzymywania wody w glebie,

- stymulowanie aktywności biologicznej w glebie i umożliwienie zwalczania niektórych szkodników,
- ograniczenie ryzyka przepływu składników pokarmowych i pestycydów do wód podziemnych lub systemu drenażowego dzięki zwiększonej sorpcji gleby i zdolności do zatrzymywania wody,
- poprawa produktywności uprawy głównej i potencjalnie rentowności produkcji rolniczej, w zależności od kosztów siewu i uprawy roślin okrywowych.

Co robić?

Aby zapewnić korzyści dla rolników i środowiska należy wziąć pod uwagę cztery kluczowe aspekty roślin okrywowych:

a) Dobór gatunków

Mieszanki zielonych roślin okrywowych muszą być dobrane tak, aby pasowały do systemu uprawy i spełniały oczekiwania rolnika. Często oparte są na gatunkach roślin kapustnych, strączkowych, trawach i zbożach lub kombinacji tych gatunków. Rośliny okrywowe muszą pasować do płodozmianu lub uprawy wieloletniej, a terminy siewu muszą być dobrane tak, aby zapewnić prawidłowe wschody przy minimalnych ubocznych efektach dla uprawy głównej (np. konkurencji o składniki odżywcze).

b) Zaawansowanie rozwoju

Ponieważ rośliny okrywowe często wymagają mieszanki nasion, należy dołożyć starań, aby zapewnić ich prawidłowy siew. Można je wysiewać rzędowo lub rozrzutowo w zależności od gatunków roślin, rodzaju sprzętu i warunków polowych.

c) Uprawa

Osiągnięcie pełnych korzyści wymaga prawidłowej uprawy roślin okrywowych, obejmującej stosowanie nawozów i pestycydów oraz koszenie lub wypas zwierząt.

d) Przeciwskazania

Rośliny okrywowe często trzeba zlikwidować przed wysiewem upraw głównych. Można to uzyskać w sposób naturalny, przez wymrożenie roślin w zimie, za pomocą herbicydów, poprzez wypas zwierząt, a także przez wałowanie lub wprowadzenie do gleby. Ma to istotny wpływ na wschody i wzrost upraw następczych. Na przykład likwidacja roślin okrywowych na ciężkich glebach wiosną często wymaga wcześniejszego odsłonięcia łanu roślin, aby umożliwić wyschnięcie i ogrzanie gleby i terminowe wschody uprawy głównej.

Rys. 17. Uprawa główna wschodząca na reszkach roślin okrywowych

Jak to zrobić?

Jeśli do płodozmianu lub uprawy wieloletniej włączone zostają rośliny okrywowe to zalecana jest konsultacja z doradcą, który pomoże dostosować je do lokalnych warunków glebowych i pogodowych, z uwzględnieniem stosowanego systemu uprawy. Rolę doradczą spełniają także firmy nasienne oraz serwisy internetowe [44, 45].

Rośliny okrywowe często wysiewa się późnym latem lub jesienią, po zbiorach upraw ozimych, takich jak pszenica, jęczmień czy rzepak, i uprawia się do siewu upraw jarych, takich jak kukurydza, słonecznik, pszenica, jęczmień czy burak cukrowy. Kluczowymi gatunkami w mieszankach roślin okrywowych mogą być trawy, takie jak owies lub życica, które rosną szybko i korzenią się płytko, co sprzyja skutecznej transpiracji i rozwojowi ziarnistej struktury na powierzchni gleby. Trawy dobrze się mieszają z gatunkami roślin okrywowych, które tworzą głębsze systemy korzeniowe, poprawiające strukturę niższych warstw gleby. Należą do nich gatunki kapustne, takie jak gorczyca i rzodkiew, a także rośliny strączkowe, szczególnie te, które nadają się do siewu jesiennego i zwiększają aktywność mikrobiologiczną gleby.

Późną jesienią, po zbiorach upraw jarych może być już za późno na siew roślin okrywowych. Wtedy można je wsiać na wiosnę w uprawę główną, np. żyto lub rośliny strączkowe w kukurydzę, dla której w stadium od ośmiu do dziesięciu liści rośliny te nie stanowią już istotnej konkurencji.

W uprawach wieloletnich, szczególnie w suchym klimacie, pokrycie gleby szatą roślinną jest częściej potrzebne, aby zapobiec erozji i spływowi powierzchniowemu pestycydów niż ich drenażowi. W miejscach, w których występuje nadmiar wody, a nie jej niedobór, mieszanki koniczyny dobrze współgrają z uprawami wieloletnimi, takimi jak sady i winnice.

Wraz z rosnącym zainteresowaniem roślinami okrywowymi zwiększa się ich dostępność w postaci mieszanek oferowanych przez firmy nasienne. Zainteresowanie to wynika także z faktu, że rośliny okrywowe stanowią istotny element obszarów proekologicznych, wymaganych w ramach Wspólnej Polityki Rolnej UE, i zapewniają dywersyfikację upraw w gospodarstwach.

Skuteczność roślin okrywowych w zmniejszaniu wymywania azotanów z gleby jest dobrze udokumentowana. Dwa kluczowe procesy wyjaśniające zmniejszone wymywanie azotu to jego pobieranie przez rośliny okrywowe oraz transpiracja, ograniczająca odpływ wody z gleby. Pestycydy podlegają podobnym procesom, chociaż ich pobieranie przez rośliny (fitoakumulacja) ma mniejsze znaczenie niż obniżanie wilgotności gleby. Istotną rolę odgrywa za to zwiększenie aktywności mikrobiologicznej wierzchniej warstwy gleby, gdzie następuje intensyfikacja rozkładu pestycydów i tym samym ograniczenie ich drenażu i wymywania.

Ograniczenia

Warto być świadomym ograniczeń związanych ze stosowaniem roślin okrywowych. Należy je, zatem uprawiać w sposób zapewniający rolnikom korzyści netto. Wzrost produktywności upraw następczych musi przewyższać koszty siewu, uprawy i likwidacji roślin okrywowych, z uwzględnieniem środków z tytułu dotacji.

Planując uprawę roślin okrywowych należy się liczyć z dostępnością dodatkowych zasobów pracy ludzkiej i uwzględnić ją w zarządzaniu gospodarstwem. Ponadto rośliny okrywowe zwiększają transpirację, co wiąże się z ograniczeniem ich stosowania na polach z deficytem wody, aby nie doprowadzić do przesuszenia gleby przed siewem upraw głównych. Rozwiązaniem może być wcześniejsza likwidacja roślin okrywowych. Można ją także rozważyć na glebach bardzo wilgotnych, na których obecność roślin okrywowych sprawia, że w okresie siewu upraw jarych gleba jest niewystarczająco ciepła do ich szybkiego wschodu.

Resztki roślin okrywowych mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia następczych upraw głównych, np. w wyniku presji chorób grzybowych lub ślimaków. Jednak prawidłowo dobrane rośliny okrywowe tłumią wzrost chwastów oraz ograniczają rozwój nicieni, innych szkodników i patogenów.

Tabela 7. Przegląd przykładowych roślin okrywowych [44]

PRZYKŁADOWE GATUNKI	**KAPUSTNE** **Gorczyca, Rzodkiew, Rzepa**	**STRĄCZKOWE** **Wyka, Koniczyna**	**TRAWY I ZBOŻA** **Owies, Żyto, Życica**
KORZYŚCI	Rośliny kapustne szybko rosną jesienią. Agrotechnika roślin jest dobrze rozpoznana na podstawie doświadczeń z uprawy rzepaku. Uprawa z wykorzystaniem standardowych maszyn	Rośliny strączkowe wiążą azot, co poprawia żyzność gleby i jest korzystne dla upraw następczych. Ilość wprowadzonego do gleby azotu zależy od gatunku i wzrostu roślin oraz temperatury. W przypadku roślin zimujących jest raczej niewielki.	Zboża i trawy zapewniają dobrą i wczesną okrywę gleby (ważne na glebach podatnych na erozję). Dodatkową korzyścią jest intensywne korzenienie.
WŁAŚCIWOŚCI	Wysiewane jesienią gatunki roślin kapustnych zapewniają dobrą okrywę gleby i głęboki system korzeniowy, co ogranicza ryzyko wymywania pestycydów i poprawia strukturę gleby. Niektóre z nich mają właściwości biofumigacyjne.	Oprócz wiązania azotu, podobnie jak większość roślin okrywowych, korzenie roślin strączkowych poprawiają strukturę gleby. Rozwój systemu korzeniowego zależy od gatunku, warunków polowych i czasu uprawy.	W przypadku siewu jesiennego gatunki te szybko rosną. Niektóre z nich oferują szerszy zakres terminów siewu niż rośliny kapustne i strączkowe.
SIEW	Często wysiewa się je późnym latem, w czasie zbliżonym do rzepaku. Dokładną datę siewu powinny wyznaczać warunki polowe i odmiana roślin.	Rośliny strączkowe rosną wolniej niż kapustne, więc w celu okrycia gleby jesienią trzeba je zasiać wcześniej, najlepiej na przełomie lipca i sierpnia. Wzmocni to wzrost roślin i zwiększy wiązanie azotu.	Terminy siewu różnią się w zależności od gatunku roślin i mogą rozciągać się od lipca do września.
UWAGI	Dobre jesienne wschody mają kluczowe znaczenie dla maksymalizacji wzrostu roślin, szczególnie tam, gdzie głównym celem jest poprawa struktury gleby i zatrzymanie azotu. Weź pod uwagę potencjalne konflikty wynikające z rotacji roślin, np. kiła kapusty w przypadku rotacji z warzywami kapustnymi lub rzepakiem.	Istnieje możliwość konfliktu w rotacji z innymi roślinami strączkowymi.	Uprawa podobna do jesiennych zbóż i traw. Mogą działać jako zielony pomost dla szkodników i chorób zbóż.

7. Optymalizacja melioracji

Na glebach, w których nadmiar wody negatywnie wpływa na wzrost roślin i przejezdność pól melioracja może być przydatnym sposobem utrzymania lub zwiększenia produktywności upraw. Odwadnianie pól może być wymagane w sytuacji, gdy słabo przepuszczalna lub nieprzepuszczalna warstwa podglebia utrudnia odprowadzenie nadmiaru wody z powierzchni, a także w dolinach rzecznych, gdzie w profilu glebowym występują płytkie wody podziemne. Może ono skutecznie zmniejszyć nasycenie gleby i tym samym ograniczyć spływ powierzchniowy.

Chociaż melioracja może korzystnie wpływać na regulację stosunków wodnych w glebie, to należy unikać nadmiernego odwadniania (tj. bardziej intensywnego niż jest to konieczne ze względu na uprawę roślin), ponieważ może to zwiększyć odpływ pestycydów do wód powierzchniowych. Na niektórych glebach bogatych w ił i pył, gdzie przepuszczalność wody jest szczególnie mała konieczne jest okresowe (np. co 4–6 lat) wykonanie uprawowych zabiegów odwadniających, tzn. głęboszowanie lub kretowanie (odwadnianie wtórne). Głęboszowanie polega na przeciągnięciu lemiesza przez zagęszczoną glebę, aby rozluźnić jej strukturę i stworzyć sieć szczelin. Podczas kretowania w podglebiu tworzony jest kanał, który pełni rolę dodatkowego systemu drenażowego. Zabiegi wtórnego odwadniania przeprowadzane prostopadle do układu drenów, ułatwiają przepływ wody do głównej sieci drenarskiej. Może to jednak zwiększyć odpływ pestycydów, szczególnie w sezonach następujących krótko po wykonaniu zabiegów wtórnego odwadniania.

Co robić?

Melioracja pól (sieć drenarska i odwadnianie wtórne) powinna być zaprojektowana tak, aby po odprowadzeniu minimalnej koniecznej ilości wody glebowej, zapewnić możliwość pracy maszyn oraz odpowiednie warunki dla wzrostu i dobrego plonowania roślin.

Jak to zrobić?

Projektując system melioracyjny należy zwrócić uwagę czy głębokość i rozstawa drenów są dobrane odpowiednio do właściwości gleby i ukształtowania terenu. Konieczna jest przy tym znajomość krajowych wytycznych dotyczących projektowania i instalacji systemów odwadniających, zgodnych z wytycznymi FAO [46].

Odpływy instalacji odwadniającej nie powinny być położone płycej ani bliżej siebie, niż wynikałoby to z potrzeb odpowiedniej regulacji stosunków wodnych w glebie.

Tam, gdzie konieczne jest wtórne odwadnianie, zabiegi głęboszowania i kretowania należy przeprowadzać w możliwie długich odstępach czasu, aby nie zwiększać podatności gleby na szybkie wymywanie pestycydów.

Należy unikać kombinacji upraw i stosowanych na nich pestycydów o wysokim ryzyku drenażu krótko po wykonaniu zabiegów wtórnego odwadniania.

Jeśli zatem jakaś roślina w płodozmianie wymaga użycia pestycydów o dużym ryzyku drenażu to należy się upewnić, że nie będzie uprawiana w sezonie bezpośrednio po zabiegu wtórnego odwadniania.

Ograniczenia

Projekt melioracji pól można dostosować lub zmienić tylko wtedy, gdy instalowany jest nowy system drenażu lub gdy stary nie działa i należy go wymienić. Wtórne odwadnianie za pomocą zabiegów głęboszowania i kretowania można odnawiać co 5+ lat, podczas gdy głęboko położone dreny można wymienić co kilka dekad.

8. Struktury retencyjne

Struktury retencyjne, takie jak sztuczne mokradła, są zazwyczaj tworzone w zlewni w celu ochrony znajdujących się w dole rzeki terenów przed zalaniem w wyniku nawałnicowych opadów deszczu lub ochrony zbiorników i cieków wodnych przed zanieczyszczeniem w wyniku spływu powierzchniowego pestycydów. Można je również wykorzystać do gromadzenia wody z systemów drenażowych. Tego rodzaju struktury retencyjne są zwykle wypełnione wodą tylko w okresach odpływu wody z pól. Ich podstawową funkcją jest:

(i) gromadzenie, naturalna remediacja i odparowanie wody odprowadzanej z pól w wyniku spływu powierzchniowego i drenażu,

(ii) uwalnianie substancji odżywczych i pestycydów z wody,

(iii) gromadzenie osadów zbieranych z pół w wyniku erozji (ma mniejsze znaczenie w przypadku zbierania wody z systemu melioracyjnego).

Istniejące struktury retencyjne zbierające wodę ze spływu powierzchniowego wykorzystane są również do zbierania wody z drenażu. Tworzenie osobnych struktur, przeznaczonych tylko do gromadzenia wody z drenażu generuje koszty nieproporcjonalne do efektów ograniczania ryzyka zanieczyszczenia wody.

Sztuczne mokradła często przypominają okresowo zalane stawy, utworzone w taki sposób, aby maksymalnie wydłużyć w nich drogę przepływu wody (np. meandry powolnych strumieni), a odpływ regulować za pomocą jazu. Więcej informacji na temat systemów retencyjnych można znaleźć broszurze TOPPS Run-off BMP [1].

W zlewniach istnieją często naturalne mokradła w postaci regularnie zalewanych łąk lub lasów łęgowych. Obiekty te mogą być klasyfikowane, jako obszary chronione, i dlatego możliwość ich wykorzystania do gromadzenia wody drenażowej i ochrony naturalnych zbiorników i cieków wodnych przed zanieczyszczeniem należy ustalić z lokalnymi władzami.

Co robić?

Wodę odpływającą z terenów podatnych na drenaż pestycydów należy zatrzymywać w istniejących strukturach retencyjnych. Inwestycje w nowe struktury są zwykle podejmowane z inicjatywy i za zgodą lokalnych władz, które zarządzają zlewniami w celu zaspokojenia potrzeb wodnych i poprawy lub utrzymania dobrej jakości wody. Inicjatywy takie poprzedzane są wnikliwą diagnozą sytuacji, aby najlepiej określić zakres oddziaływania, lokalizację, rodzaj i objętość obiektu w zależności od warunków klimatycznych, które determinują strumień odpływu drenażowego z przyłączonego obszaru. Budowa i utrzymanie struktur zbierających wodę odpływającą z wielu pól wymaga współdziałania wielu podmiotów i wspólnego podejścia do ochrony wód w zlewni.

Jak to zrobić?

Struktury retencyjne muszą być wystarczająco duże, jeśli mają prawidłowo spełniać swoje funkcje. Przyjmuje się, że powinny zatrzymać od 2 do 5 mm odpływu wody drenażowej z przyłączonych pól. Faktyczna ilość zbieranej wody zależy od warunków klimatycznych i powierzchni meliorowanego obszaru. Jeśli dostępność gruntów w zlewni na to pozwala to struktury retencyjne mogą zajmować powierzchnię stanowiącą do 1 do 2% powierzchni zlewni. W przeciwieństwie do spływu powierzchniowego nie można oczekiwać, że zatrzymają większą część wody drenażowej, ponieważ okres jej odpływu zwykle trwa miesiące (od późnej jesieni do wiosny) i może przekraczać objętość odpowiadającą 100 mm niemal ciągłego przepływu. Jednak czas i odległość przepływu wody w strukturze retencyjnej można zoptymalizować, przez zastosowanie jazów lub barier.

Struktury retencyjne powinny spowalniać infiltrację wody w głąb profilu glebowego, i tym samym opóźniać przenikanie składników pokarmowych i pestycydów do płytkich wód podziemnych. W tym celu brzegi i dno zbiorników retencyjnych powinny być wyłożone materiałem z wierzchniej warstwy gleby, najlepiej gliną lub glebą o drobnej strukturze, odłożoną podczas wykonywania wykopu.

Brzegi zbiorników retencyjnych powinny być stabilizowane poprzez utrzymanie na nich gęstej roślinności odpornej na regularne zalewanie i warunki beztlenowe w strefie korzeniowej. Roślinność ta spowalnia przepływ wody oraz częściowo usuwa z niej składniki pokarmowe, pestycydy i osady. Gatunki roślin spełniających te funkcje to przede wszystkim trzciny i trawy, które sprawdziły się w systemach gromadzenia wody opadowej i naturalnego oczyszczania ścieków. W miarę upływu czasu zbiorniki retencyjne obrastają spontanicznie rozwijającymi się roślinami różnych gatunków, które należy utrzymywać w stanie zapewniającym optymalne usuwanie osadów i substancji oraz spowalnianie przepływu wody.

W celu utrzymania zdolności retencyjnych i infiltracji wody w zbiornikach konieczne jest okresowe usuwanie naniesionych osadów glebowych, np. raz w roku lub gdy ilość osadów przekroczy 20% objętości zbiornika. W skład usuwanych osadów wchodzą głównie zerodowane cząstki gleby i materiał organiczny. Można je zatem rozrzucić na powierzchni pola.

Struktury retencyjne powinny być lokalizowane w krytycznych punktach, gdzie łatwo jest przechwycić i gromadzić wodę odpływającą z pól podatnych na drenaż pestycydów. Ich wielkość powinna zapewniać przyjęcie oczekiwanej objętości wody drenażowej w normalnych warunkach.

Podstawowe parametry zbiorników retencyjnych to:

- **Objętość:** możliwość przyjęcia co najmniej od 2 do 5 mm odpływu z przyłączonych pól. W zależności od podatności meliorowanych pól na drenaż pestycydów podmokłe tereny mogą wymagać zbiorników retencyjnych o większej objętości (> 5 mm).
- **Głębokość:** od 0,2 do 1,0 m przy średniej głębokości 0,5 m po zalaniu wodą (regulacja jazem na ujściu zbiornika).
- **Brzegi:** nie zbyt strome, aby zapewnić drogi ucieczki dla małych zwierząt.
- **Długość:** możliwie najdłuższa droga przepływu wody (tj. długi czas retencji) – przepływ meandrujący z wykorzystaniem spowalniających barier lub zapór.
- **Roślinność brzegowa:** miejscowe, nieinwazyjne gatunki, które są przystosowane do nieregularnego zalewania (np. *Typha latifolia, Sparganium erectum, Carex* spp.).

Rys. 18. Sztuczne mokradła do zbierania wody drenażowej

Rys. 19. Zarośnięty kanał do zbierania wody drenażowej

Skuteczność

Hydrofobowe pestycydy są na ogół lepiej zatrzymywane w strukturach retencyjnych, ponieważ dobrze się wiążą z cząsteczkami gleby w zawiesinie wodnej lub w osadach dennych, oraz z materiałem roślinnym. Bardziej polarne pestycydy są uważane za problematyczne, zwłaszcza w zlewniach wykorzystywanych do produkcji wody pitnej, ponieważ nie można ich łatwo usunąć podczas procesów jej uzdatniania (np. podczas filtracji z wykorzystaniem węgla aktywowanego). Skuteczność eliminacji związków polarnych i umiarkowanie polarnych w strukturach retencyjnych szacuje się na poziomie od 20 do 70%, podczas gdy w przypadku związków silnie sorbowanych skuteczność może osiągnąć od 90 do 100%.

Ograniczenia

Struktury retencyjne są antropogenicznymi, infrastrukturalnymi instalacjami, utworzonymi w celu gromadzenia i oczyszczania wody drenażowej i spływowej z osadów, substancji pokarmowych i pestycydów. Dlatego wszelkie regulacje dotyczące ochrony ekosystemów i siedlisk, będące w sprzeczności z funkcjonalnością tych struktur, powinny być skonsultowane z lokalnymi władzami ochrony środowiska. Należy zadbać o to, by pierwotny cel struktur retencyjnych został zachowany, nawet jeśli zostaną one zasiedlone przez gatunki zagrożone, ponieważ ich zadaniem jest zapewnienie szerszej ochrony jakości wody, a nie stworzenie ekosystemu wymagającego ochrony.

9. Optymalizacja nawadniania

Obfite nawadnianie pól, przekraczające zapotrzebowanie roślin uprawnych na wodę i zdolność jej utrzymania w glebie, może przyczyniać się do wzrostu drenażu pestycydów w zlewni. Aby tego uniknąć na meliorowanych polach należy stosować zoptymalizowane systemy nawadniania, np. nawadnianie kroplowe. Jest ono najczęściej stosowane w uprawach o dużej wartości ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne potrzebne do jego założenia.

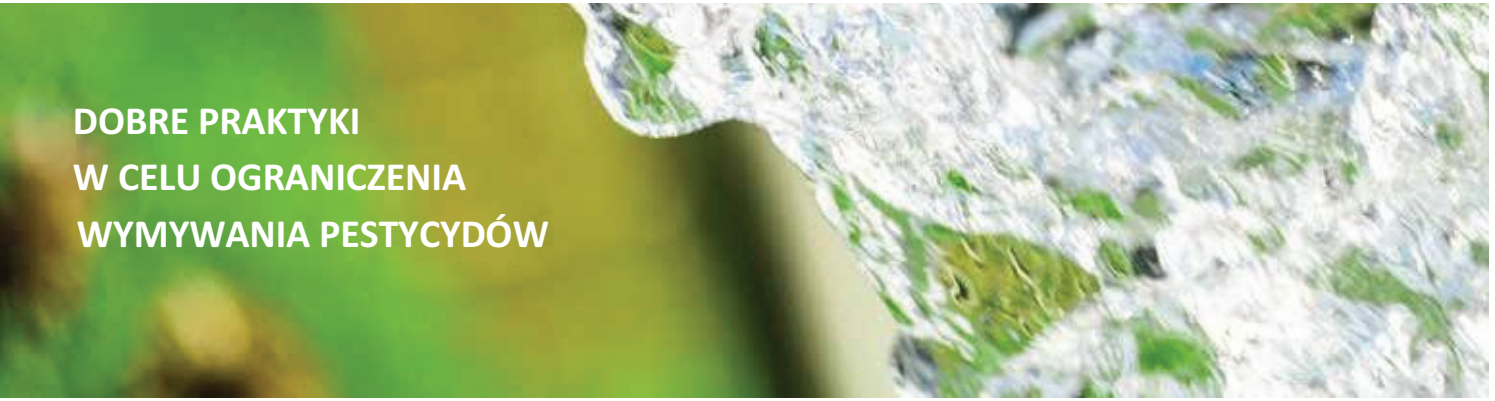
Co robić?

Aby zminimalizować przenikanie wody z gleby do sytemu drenażowego, konieczne jest racjonalne gospodarowanie wodą poprzez stosowanie zoptymalizowanych systemów nawadniania (rys. 20). Planowanie terminów i dawek nawodnieniowych powinno uwzględniać zawartość wody w glebie, zdolność gleby do utrzymywania wody oraz potrzeby wodne roślin uprawnych w stosunku do faktycznej ewapotranspiracji.

Jak to zrobić?

Punktem wyjścia jest codzienne monitorowanie wilgotności gleby i ewapotranspiracji w powiązaniu z prognozowaną ilością opadów. Na podstawie tych danych można obliczyć potrzeby wodne upraw, zawartość wody w glebie i konieczną ilość wody do nawadniania. Komercyjnie dostępne są systemy zarządzania nawadnianiem, obejmujące narzędzia wspomagania decyzji i układy sterujące instalacją nawodnieniową. W sezonie irygacyjnym należy regularnie sprawdzać odpływy drenażowe i w razie ich stwierdzenia odpowiednio reagować.

Rys. 20. Zoptymalizowany system nawodnieniowy



DOBRE PRAKTYKI W CELU OGRANICZENIA WYMYWANIA PESTYCYDÓW

1 KLUCZOWE CZYNNIKI WYMYWANIA

W kontekście dobrych praktyk na rzecz ochrony wody wymywanie definiuje się, jako przemieszczanie się substancji z wodą glebową do wód podziemnych. W rolnictwie potencjalnie wymywanymi zanieczyszczeniami są w głównej mierze azotany i niektóre pestycydy.

Zasilanie wód podziemnych ma zwykle miejsce zimą i wczesną wiosną. Obfite opady deszczu i ograniczona ewapotranspiracja powodują przenikanie wody w głąb profilu glebowego. Ten sezonowy schemat przepływu wody jest szczególnie ważny w przypadku bardziej mobilnych pestycydów, co do których ograniczone stosowanie może się stać koniecznym wymogiem.

Wymywanie jest zwykle silniejsze i szybsze na glebach piaszczystych, które mają niską zdolność zatrzymywania wody i wyższą przepuszczalność. Natomiast ruch wody w cięższych glebach, np. glinie ilastej, jest zwykle bardzo powolny. Jednak w niektórych glebach ilastych, w zależności od rodzajów i zawartości iłu, podczas okresów suszy mogą otwierać się na powierzchni gleby głębokie pęknięcia, co ułatwia szybki preferencyjny przepływ wody do głębszych warstw profilu.

Kluczowe czynniki wpływające na proces wymywania pestycydów zostały opisane w rozdziale zawierającym informacje ogólne. Najważniejsze z nich zestawione są w trzech grupach:

a) **Właściwości pestycydów (substancji aktywnych)**
   - trwałość w glebie (DT50)
   - mobilność w glebie (współczynniki adsorpcji Kd/K_{OC})

b) **Warunki klimatyczne**
   - średnia temperatura gleby po zabiegu
   - średnia wilgotność gleby po zabiegu (rozkład opadów)
   - roczne zasilanie wód podziemnych

c) **Właściwości gleby**
   - tekstura gleby
   - struktura gleby (agregacja, makropory)
   - aktywność biologiczna (zawartość materii organicznej, napowietrzanie)
   - zdolność sorpcyjna (obecność iłu i materii organicznej, jako kluczowych składników)

Na wymywanie pestycydów wpływa wiele czynników i ich złożone interakcje, co utrudnia określenie dokładnego potencjału wymywania w konkretnej sytuacji. Niezależnie od właściwości substancji należy się skupić na kluczowych czynnikach wpływających na względne ryzyko wymywania pestycydów pod względem warunków glebowych i klimatycznych, a mianowicie:

(i) głębokość wód podziemnych,

(ii) struktura gleby, w tym wpływ zabiegów uprawowych,

(iii) specjalne typy gleby,

(iv) zdolność zatrzymywania wody w glebie, na którą wpływa jej tekstura.

2. DIAGNOZA RYZYKA

Wybór dobrych praktyk mających na celu ograniczenie wymywania pestycydów do wód podziemnych powinien być poprzedzony diagnozą ryzyka w skali zlewni i pola. W tym celu opracowano schemat decyzyjny obejmujący różne sytuacje polowe i uwzględniający kryteria oceny ryzyka, które mają zastosowanie w całej Europie w odniesieniu do pestycydów.

Po zdiagnozowaniu istniejącej sytuacji można oszacować wynikające z niej ryzyko wymywania pestycydów. W następnym kroku należy wybrać odpowiednie środki ograniczające to ryzyko, biorąc pod uwagę także lokalne warunki klimatyczne, np. rozkład opadów i temperaturę powietrza.

Schemat decyzyjny może wymagać dostosowania do warunków środowiskowych właściwych dla danego kraju.

DOBRE PRAKTYKI = DIAGNOZA RYZYKA + WYBRANE ŚRODKI ZARADCZE (ZESTAW NARZĘDZI)

Tabela 8. Schemat decyzyjny – Diagnoza potencjalnego ryzyka podatności pola na wymywanie pestycydów

Płytkie[1] wody podziemne	Widoczne duże pęknięcia/makropory[2]		Wysokie ryzyko
	Duże pęknięcia/makropory pojawiają się co kilka lat	Siew bez orki	Wysokie ryzyko
		PPW[3] < 150 mm	Wysokie ryzyko
		PPW 150–230 mm	Średnie ryzyko
		PPW > 230 mm	Niskie ryzyko
		Gleba torfowa[4]	Niskie ryzyko
Głębokie wody podziemne	Płytka gleba[5] na skale okruchowej		Wysokie ryzyko
	Inna gleba	Siew bez orki	Średnie ryzyko
		PPW < 150 mm	Średnie ryzyko
		PPW > 150 mm	Niskie ryzyko

[1] Woda podziemna ≤ 1 m pod powierzchnią gleby kilka razy w roku

[2] Pęknięcia/makropory ≥1 cm na powierzchni gleby

[3] Polowa pojemność wodna w górnej warstwie gleby o miąższości 100 cm lub w warstwie położonej nad drenami, jeśli jest płytsza

[4] Gleba z zawartością ≥ 30% materii organicznej w warstwie próchnicznej (ornej)

[5] Gleba o warstwie ornej < 30 cm; zwykle tylko warstwa próchniczna leżąca na skale okruchowej (np. rendzina na krasie)

Jak korzystać ze schematów decyzyjnych – Tabela 8

Schemat decyzyjny należy czytać od lewej do prawej strony, wybierając w każdej kolumnie odpowiednią kategorię dla każdego parametru diagnostycznego. Po pierwsze, należy określić głębokość wód podziemnych: płytkie (≤ 1 m) lub głębokie.

Następnie, w przypadku płytkich wód podziemnych, należy zaznaczyć obecność lub brak makroporów. W przypadku głębszych wód podziemnych gleby wysokiego ryzyka identyfikują się z płytką warstwa próchniczną na skale okruchowej.

Ostateczne ustalenie poziomu ryzyka dokonywane jest na podstawie informacji o polowej pojemności wodnej gleby, praktykach uprawowych i obecności gleby torfowej w warstwie próchnicznej.

Oprócz czynników ujętych w tabeli na podatność gleby na wymywanie pestycydów do wód podziemnych będą miały wpływ lokalne warunki klimatyczne, a szczególnie rozkład opadów i temperatura powietrza.

Wdrożenie dobrych praktyk może zmniejszyć ryzyko wymywania pestycydów i powinno być stosowane zwłaszcza na obszarach podatnych na to zjawisko, na których warunki pedoklimatyczne (dotyczące mikroklimatu gleby) i praktyki rolnicze sprzyjają przenikaniu wody glebowej do wód podziemnych.

Przekroczenie dopuszczalnego stężenia pestycydów w wodach podziemnych może prowadzić do ograniczenia stosowania lub ostatecznie do zakazu stosowania tych pestycydów na mocy decyzji administracyjnej. Pestycydy w wodach podziemnych utrzymują się dłużej niż w wodach powierzchniowych ze względu na niską temperaturę, brak światła słonecznego, małą aktywność mikrobiologiczną i powolny przepływ, a zatem mogą być powodem problemów średnio- i długoterminowych. Ryzyko zanieczyszczenia wód podziemnych pestycydami jest oceniane podczas procesu rejestracyjnego, co ma zapewnić ich bezpieczne stosowanie w najgorszym przypadku. Czasami na etykietach pestycydów zamieszczane są informacje o ograniczeniach stosowania na obszarach podatnych na ich wymywanie.

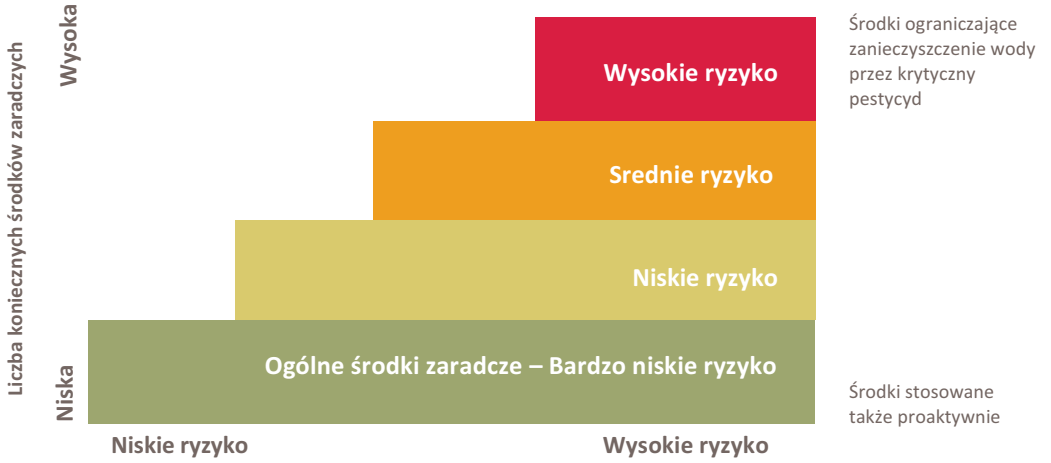
Schemat decyzyjny może wymagać dostosowania do warunków panujących w danym kraju z uwzględnieniem lokalnych warunków glebowych i klimatycznych.

Należy podkreślić, że diagnoza ryzyka wymywania i wdrożenie środków zaradczych powinny być wykonywane w reakcji na stwierdzenie niedopuszczalnych stężeń konkretnych pestycydów w wodach podziemnych zlewni. Ponieważ wymywanie pestycydów w dużym stopniu zależy od właściwości pestycydów, stosowanych dawek i lokalnych warunków klimatycznych, środki zaradcze nie powinny być stosowane proaktywnie na wszystkich polach i w odniesieniu do wszystkich pestycydów lecz reaktywnie, dla konkretnych pól i pestycydów, w razie stwierdzenia przekroczeń wartości progowych.

3. DOBRE PRAKTYKI ZARZADZANIA RYZYKIEM WYMYWANIA

Profil ryzyka wymywania pestycydów można nakreślić przeprowadzając analizę schematu decyzyjnego (Tabela 8).

Pola, dla których zdiagnozowano niskie ryzyko wymywania nie wymagają podejmowania środków zaradczych lub jedynie kilka ogólnych, utrzymujących ten stan rzeczy. Tam gdzie stwierdzono wysokie ryzyko istnieje konieczność zastosowania większości lub nawet wszystkich dostępnych środków naprawczych. Zaleca się, aby diagnozowanie ryzyka i omówienie potencjalnych środków zaradczych przeprowadzić wspólnie z doradcą i gospodarzem pól, upewniając się przy tym, że wybrane środki są zbieżne z jego zamierzeniami i pasują do obecnego i planowanego systemu uprawy. Większość praktyk zapobiegających wymywaniu jest zbieżna z tymi, jakie zaproponowano dla ograniczania drenażu.



Rys. 21. Proces tworzenia dobrych praktyk poprzez wybór środków zaradczych, zależnych od zdiagnozowanego ryzyka

Przykład przedstawiony w tabeli 9 może posłużyć, jako punkt wyjścia do omówienia odpowiednich środków lub ich kombinacji. Ostatecznie ich zdefiniowanie jest procesem interaktywnym, tzn. może zaistnieć potrzeba powtórzenia lub zmiany działań zależnie od uzyskanych efektów, potwierdzonych wynikami monitorowania czystości wód podziemnych. Należy jednak pamiętać, że wymywanie jest procesem średnio- lub długotrwałym, a zatem ewentualne zanieczyszczenia wód podziemnych mogą być niezauważalne w ciągu jednego roku.

4. ZESTAW NARZĘDZI

1. Termin wykonania zabiegu

Termin stosowania pestycydów w relacji do okresu zasilania wód podziemnych (od jesieni do wczesnej wiosny) ma kluczowe znaczenie, ponieważ w tym czasie występuje ciągły przepływ wody w głąb profilu glebowego, a warunki pogodowe nie sprzyjają rozkładowi pestycydów. Ze względu na zmienność rocznego rozkładu opadów, początek i koniec okresu odpływu może się z roku na rok zmieniać o kilka tygodni.

Co robić?

Krytyczne pestycydy, tj. pestycydy, które w wyniku wymywania trafiają do wód podziemnych w niedopuszczalnych stężeniach, należy stosować poza okresem zasilania tych wód. W razie konieczności należy stosować alternatywne pestycydy.

Jak to zrobić?

Uważnie przestudiuj etykietę środka ochrony roślin, aby ustalić, czy istnieją wymagania dotyczące terminu stosowania. Sprawdź również zalecenia dotyczące sposobu stosowania środka.
O ile to możliwe unikaj stosowania krytycznych pestycydów od późnej jesieni do wiosny ponieważ jest to okres zasilania wód podziemnych.

2. Obciążenie pola pestycydami

a) Redukcja dawek pestycydów

Skuteczność środka ochrony roślin zależy nie tylko właściwości jego substancji aktywnej, lecz także od szeregu czynników zewnętrznych, np. warunków klimatycznych, techniki stosowania, rodzaju gleby, wilgotności gleby, sposobu i stadium wzrostu uprawy, odmiany roślin, zwalczanych organizmów i fazy ich rozwoju.

Zalecenia etykiety gwarantują poprawną skuteczność środka, biorąc pod uwagę zmienność czynników zewnętrznych. Jeśli są one korzystne dla działania środka to można zredukować jego dawkę bez obniżenia skuteczności. Jeśli czynniki zewnętrzne są trudne do przewidzenia i kontrolowania to redukcja dawek pestycydów wiąże się z ryzykiem obniżenia ich skuteczności. W oparciu o swoje doświadczenie związane z konkretnym polem i uprawą wykonawca zabiegu może zredukować dawkę pestycydu uwzględniając akceptowalne ryzyko. Redukcję taką mogą umożliwiać także szczególne cechy odmianowe roślin, np. zwiększające ich odporność na choroby i szkodniki.

Należy jednak wziąć pod uwagę, że obniżenie dawki pestycydu może wywołać odporność szkodników lub patogenów, co pociąga za sobą potrzebę wykonywania częstszych zabiegów lub konieczność wykluczenia pestycydu z programu ochrony. Dlatego ewentualne redukcje dawek powinny być przedyskutowane z doradcami i, jeśli to możliwe, powinny dotyczyć produktów wieloskładnikowych lub zbiornikowych mieszanin substancji o różnych sposobach działania.

Co robić?

Dawki krytycznych pestycydów, należy ograniczyć do niezbędnego minimum, rozważając stosowanie mieszanin substancji tam gdzie to możliwe.

Jak to zrobić?

Skonsultuj się z doradcą w sprawie minimalnych, skutecznych dawek pestycydów. Jeśli to możliwe stosuj zbiornikowe mieszaniny substancji, które pozwalają obniżyć dawkę krytycznego pestycydu bez uszczerbku dla skuteczności zabiegu i bez ryzyka rozwoju odporności. Upewnij się czy nie ma przeciwskazań, co do mieszania substancji.

Tabela 9. Schemat decyzyjny – Środki zaradcze w powiązaniu z poziomami ryzyka wymywania pestycydów

Kategorie środków zaradczych	Ogólne środki zaradcze	Środki zaradcze dla NISKIEGO ryzyka*	Środki zaradcze dla ŚREDNIEGO ryzyka*	Środki zaradcze dla WYSOKIEGO ryzyka*
Termin zabiegów			Unikaj opryskiwania podczas okresów zasilania wód podziemnych	Rozważ stosowanie alternatywnych pestycydów
Obciążenie pola pestycydami	Rozważ zaprawianie nasion Rozważ opryskiwanie selektywne/placowe	Stosuj dawki dzielone Stosuj najniższe skuteczne dawki	Redukuj dawki pestycydów stosując mieszaniny zbiornikowe	
Rotacja pestycydów			Stosuj rotację pestycydów z roku na rok w skali zlewni	Ogranicz stosowanie krytycznych pestycydów
Optymalizacja płodozmianu	Stosuj płodozmian optymalizujący kondycję roślin	Stosuj uprawy z palowo-wiązkowym systemem korzeniowym Stosuj przemiennie uprawy ozime i jare		
Zabiegi uprawowe				Rozważ zabiegi uprawowe likwidujące makropory
Rośliny okrywowe	Wybierz odpowiednie rośliny okrywowe			
Optymalizacja nawadniania	Oblicz wymaganą dawkę nawodnieniową	Optymalizuj nawadnianie w oparciu o pomiary wilgotności gleby		

* Dla tych poziomów ryzyka można stosować także środki zaradcze wymienione dla niższych poziomów (rys. 21)..

b) Dawki dzielone

Dawki dzielone to kolejne, przeprowadzone w sekwencji zabiegi z użyciem tego samego lub różnych pestycydów w obniżonych dawkach, zwykle stosowane do zwalczania wrażliwych chwastów we wczesnej fazie wzrostu. Zredukowane, lecz powtarzane dawki zmniejszają stężenie pestycydów w wierzchniej warstwie gleby i rozkładają obecność substancji aktywnej na roślinach przez dłuższy czas. Jeśli krótko po zabiegu występują opady deszczu to nie istnieje duże ryzyko wysokich stężeń wymywanych pestycydów.

Co robić?

Zamiast jednej pełnej dawki zastosuj pestycyd w dwóch dawkach zredukowanych o połowę, zgodnie z instrukcją na etykiecie produktu.

Jak to zrobić?

Dawki dzielone wymagają uważnego monitorowania kolejnych etapów rozwoju szkodników oraz odpowiedniej wiedzy o właściwościach i sposobie działania stosowanych pestycydów. Należy wybrać odpowiedni termin zabiegu. Warto skonsultować się z doradcą.

Ograniczenia

Wadą dawek dzielonych jest konieczność wykonania co najmniej dwóch zabiegów, co powoduje wzrost kosztów i możliwe zagęszczenie gleby z powodu dodatkowych przejazdów maszyn. Późną jesienią i wczesną wiosną takie praktyki mogą być trudne do zrealizowania ze względu na dużą wilgotność gleb.

c) Opryskiwanie ukierunkowane i selektywne

Wiele upraw ma charakter rzędowy, a agrofagi często występują miejscowo (ogniska chorób, skupiska szkodników, placowe zagęszczenia chwastów). Precyzyjne stosowanie pestycydów polega na ich nanoszeniu tylko tam gdzie konieczne: w przypadku roślin w sposób ukierunkowany, np. na rzędy roślin, a w odniesieniu do agrofagów selektywnie, tzn. tylko w miejscach porażenia roślin przez choroby i szkodniki lub w miejscach występowania chwastów. Oznacza to bardzo racjonalne wykorzystanie pestycydów i w efekcie istotne ograniczenie ich zużycia.

Nanoszenie ukierunkowane realizuje się przy użyciu opryskiwaczy rzędowych i pasowych, a selektywne z użyciem systemów identyfikacji obiektów (czujników) lub w oparciu o cyfrowe mapy aplikacji.

Selektywne i ukierunkowane techniki ochrony upraw są elementem rolnictwa precyzyjnego. Ta nowa technologia posiada także narzędzia umożliwiające przewidywanie, zabezpieczanie i podnoszenie plonów przy jednoczesnej optymalizacji stosowania środków ochrony roślin w ukierunkowany, kontrolowany i skuteczny sposób. Rozwój rolnictwa precyzyjnego, a zwłaszcza technik ochrony upraw, które racjonalizują stosowanie pestycydów, zapewnia szerokie możliwości rozwiązania problemów związanych z narażeniem środowiska poprzez ograniczenie ryzyka drenażu i i wymywania pestycydów w gleby.

Narzędzia wspomagania decyzji, w połączeniu z modelami prognozującymi choroby, które określają ryzyko i presję infekcji, mogą pomóc w optymalizacji dawek fungicydów w określonych miejscach na polu, minimalizując w ten sposób ich zużycie. Selektywne zwalczanie chwastów w oparciu o automatyczne systemy ich rozpoznawania i mapowania zapewnia kolejną szansę na racjonalne wykorzystanie pestycydów i mniejsze obciążenie środowiska.

Mapowanie podatności pola na zagrożenia jest kolejnym obiecującym podejściem do wyznaczenia ryzyka wymywania i drenażu w oparciu o specyficzne dla danego miejsca wskaźniki ryzyka, takie jak zawartość węgla organicznego, tekstura lub zdolność do infiltracji. Mapy te mogą pomóc rolnikom, doradcom i jednostkom administracji w identyfikacji terenów wysokiego ryzyka i podejmowaniu środków ograniczających specyficzne ryzyko dla danego miejsca.

Co robić?

Pasowe nanoszenie herbicydów

W uprawach rzędowych o wystarczająco szerokiej rozstawie rzędów chwasty w międzyrzędziach można zwalczać nanosząc totalnie działający herbicyd opryskiwaczem pasowym, wyposażonym w osłony chroniące rośliny uprawne. Z kolei zwalczanie chwastów za pomocą herbicydów selektywnych nanoszonych w rzędach upraw jest zwykle łączone z mechanicznym niszczeniem chwastów w międzyrzędziach. Pasowe nanoszenie herbicydów pozwala na istotne ograniczenie ich zużycia i zmniejszenie obciążania gleby.

Opryskiwanie selektywne

Celem jest selektywne opryskiwanie obiektów będących przedmiotem ochrony lub zwalczania. Wymaga to zastosowania specjalistycznego opryskiwacza z systemem identyfikacji obiektów. Taką strategię ochrony upraw można stosować tylko wtedy, gdy możliwe jest dokładne monitorowanie agrofagów.

Jak to zrobić?

W celu precyzyjnego stosowania środków ochrony roślin w uprawach rzędowych odpowiednio dostosuj swój opryskiwacz. W przypadku opryskiwania upraw zastosuj ukierunkowane na rzędy roślin rozpylacze, ramki lub mini-tunele, a w przypadku zwalczania chwastów użyj indywidualnych osłon na rozpylaczach prowadzonych w międzyrzędziach. Oblicz dawkę środka ochrony roślin w odniesieniu do faktycznie traktowanej powierzchni w rzędach lub w międzyrzędziach.

Kluczem do selektywnego nanoszenia pestycydów jest staranne monitorowanie i mapowanie agrofagów aby precyzyjnie określić cel opryskiwania. Lokalizacja ognisk infekcji patogena, miejsc inwazji szkodnika lub skupisk chwastów jest przenoszona na cyfrowe mapy GIS, które są następnie czytane przez system GPS sterujący pracą opryskiwacza. Szkodniki o dużej ruchliwości, np. niektóre owady, są trudne do skutecznego zwalczania przy użyciu tego rodzaju systemów. W przypadku zwalczania chwastów wykorzystywane są czujniki spektralne lub systemy wizyjne do ich wykrywania i lokalizowania.

Ograniczenia

Selektywna ochrony roślin wymaga zastosowania zaawansowanej i kosztownej technologii. Jej wykorzystanie wymaga z kolei wiedzy i umiejętności technicznych.

d) Zaprawianie nasion

Zaprawianie nasion jest najbezpieczniejszą, z punktu widzenia środowiska, formą stosowania pestycydów. Ponieważ są one nanoszone tylko na nasiona przed wysiewem to ich dawka w przeliczeniu na hektar pola jest wielokrotnie niższa od dawek stosowanych w tradycyjnej formie opryskiwania upraw. Zaprawy chronią rośliny we wczesnym stadium wzrostu przed szkodnikami i chorobami.

Co robić?

Używaj nasion zaprawianych profesjonalnie, co gwarantuje odpowiednią dawkę pestycydu i minimalizuje narażenie środowiska na jego działanie. Do siewu stosuj sprzęt minimalizujący znoszenie pyłu uwalnianego z nasion.

Jak to zrobić?

Kupuj nasiona zaprawione w firmie nasiennej. Upewnij się, że stosowany sprzęt minimalizuje uwalnianie się i znoszenie pestycydu z nasion podczas siewu. Stosuj siewniki odsysające uwalniane pestycydy i zapobiegające jego znoszeniu.

Ograniczenia

Zaprawianie materiału siewnego łączy wybór nasion z wyborem sposobu ochrony roślin. Technologię tę należy stosować tylko wtedy, gdy istnieje konieczność stosowania określonego sposobu chemicznej ochrony upraw w ciągu sezonu.

Tabela 10. Przegląd środków zaradczych ograniczających wymywanie pestycydów do wód podziemnych

KATEGORIA ŚRODKÓW ZARADCZYCH	ŚRODKI ZARADCZE
Termin zabiegów[1]	Unikaj opryskiwania krótko ***przed i podczas okresów zasilania wód podziemnych*** oraz przed spodziewanym obfitym opadem deszczu. ***Rozważ stosowanie dostępnych metod/pestycydów alternatywnych.***
Obciążenie pola pestycydami[1]	Zredukuj dawki pestycydów. ***Stosuj mieszaniny pestycydów (różne substancje aktywne).*** Stosuj dawki dzielone (rozłóż obciążenie pola w czasie). Stosuj monitorowanie szkodników (wizualnie, automatycznie) i traktuj tylko porażone miejsca (opryskiwanie selektywne). Stosuj zaprawianie nasion.
Rotacja pestycydów[1]	***Stosuj pestycydy rotacyjnie z roku na rok na podatnych polach.*** ***Stosuj pestycydy rotacyjnie w skali w zlewni.*** ***Ogranicz stosowanie pestycydów na podatnych polach.***
Optymalizacja płodozmianu	Stosuj płodozmian żeby zoptymalizować kondycję roślin oraz: - stosuj naprzemiennie uprawy jare i ozime, - rozważ rośliny o palowo-wiązkowym systemie korzeniowym.
Zabiegi uprawowe[1]	***Jeśli problemem jest wymywanie pestycydów rozważ przeprowadzenie co najmniej płytkiej uprawy żeby zlikwidować makropory na podatnych polach***
Rośliny okrywowe	Stosuj rośliny okrywowe, które współgrają z płodozmianem: - zwróć uwagę na wartościowe rośliny okrywowe, - utrzymuj rośliny okrywowe w dobrej kulturze, - upewnij się, że rośliny okrywowe nie kolidują z właściwą uprawą.
Optymalizacja nawadniania	Oblicz wymagane dawki nawodnieniowe (w oparciu o bilans wodny) Monitoruj wilgotność gleby żeby zoptymalizować program nawadniania.

[1] Praktyki zapisane pogrubioną kursywą powinny być stosowane w reakcji na niedopuszczalne stężenia krytycznych pestycydów w wodach podziemnych.

3. Optymalizacja doboru i rotacja pestycydów w zlewni

a) Rotacja pestycydów w skali pola

Jeśli w zlewni pojawia się problemem zanieczyszczenia wód podziemnych pestycydami to przyczyną mogą być pola podatne na wymywanie pestycydów z gleby. Jest to zwykle proces długotrwały i zależy od rodzaju substancji i właściwości gleby. Systematyczne stosowanie krytycznych pestycydów na podatnych polach może prowadzić do ich ciągłego przenikania w głąb profilu glebowego. Należy zatem ograniczyć ich stosowanie do jednego zabiegu co drugi lub trzeci rok. W ten sposób zmniejszy się ryzyko długoterminowego zanieczyszczenia wód podziemnych.

Co robić?

Krytyczny pestycyd stwarzający problem zanieczyszczenia wód podziemnych należy stosować rotacyjnie na polach podatnych na jego wymywanie (tzn. nie co sezon). Ponadto należy stosować płodozmian i rotację pestycydów dla poszczególnych upraw, w zależności od całego systemu produkcji roślinnej.

Jak to zrobić?

Skonsultuj się z doradcami i dystrybutorami pestycydów w sprawie alternatywnych rozwiązań, aby uniknąć zbyt częstego stosowania tej samej substancji aktywnej. Dostosuj płodozmian tak, aby krytyczne pestycydy nie były stosowane o każdej porze roku. W tym względzie przestrzegaj również wskazówek producentów pestycydów dotyczących ich prawidłowego stosowania.

b) Rotacja pestycydów w skali zlewni

Wiele pól może przyczynić się do zanieczyszczenia wód podziemnych w zlewni. Odpowiednio zaplanowany płodozmian, np. w cyklu 3– lub 4–letnim, prowadzony na poszczególnych polach może zmniejszyć ogólną ilość krytycznego pestycydu stosowanego w sezonie w porównaniu z monokulturą lub 2–letnim cyklem zmianowania roślin. Rodzaj stosowanych pestycydów jest, bowiem powiązany z uprawami i występującymi w nich agrofagami. Tymczasem programy ochrony różnych upraw, np. buraków cukrowych, zbóż i kukurydzy, nie pokrywają się. W przypadku danej uprawy użycie pestycydów można również zmieniać w zależności od dostępnych produktów, zarejestrowanych do zwalczania określonego agrofaga. W perspektywie długoterminowej rotacyjne stosowanie pestycydów zmniejsza także prawdopodobieństwo rozwoju odporności szkodników, patogenów i chwastów na działanie konkretnych substancji.

Co robić?

Na obszarach, na których zanieczyszczenie wód podziemnych stanowi problem, zaleca się stosowanie płodozmianu z udziałem roślin o różnych terminach siewu (jesień lub wiosna), gwarantujących, że w każdej porze roku żaden z krytycznych pestycydów nie będzie odgrywał dominującej roli. Jeśli w zlewni dominuje jedna lub dwie uprawy, to pośród wszystkich uprawiających je rolników należy zróżnicować rodzaj stosowanych pestycydów.

Jak to zrobić?

W zlewniach z pozostałościami pestycydów w wodach podziemnych rolnicy powinni zoptymalizować płodozmian, aby osiągnąć możliwie najdłuższy cykl zmianowania roślin. Aby uniknąć zbyt dużego udziału jednej uprawy w zlewni, należy współpracować i dążyć do porozumienia między plantatorami, i w ten sposób uzyskać odpowiednie zróżnicowanie upraw. W przypadku jednej lub dwóch dominujących upraw w zlewni, należy na podstawie porozumienia miedzy plantatorami wprowadzić rotację pestycydów, aby zminimalizować ryzyko jednoczesnego stosowania pestycydów krytycznych. Podstawą wyboru i stosowania pestycydów na każdą uprawę i każdego agrofaga są zalecenia zawarte na etykiecie środka ochrony roślin.

Ograniczenia

Uzgodnienie wśród rolników zróżnicowania upraw w zlewni może napotkać trudności z powodu czynników ekonomicznych (np. zbyt plonów) i agrotechnicznych (np. dostępność technologii), które należy rozwiązać w pierwszej kolejności. Rotacja środków ochrony roślin w przypadku określonych upraw może być utrudniona ze względu na ograniczoną dostępność skutecznych i zarejestrowanych środków ochrony roślin dla niektórych agrofagów. Efekty dobrych praktyk zależą od koordynacji działań na poziomie zlewni. Działania te powinny prowadzić lokalne władze, lub doradcy we współpracy z rolnikami.

c) Dobór pestycydów / ograniczone stosowanie na stanowiskach wrażliwych

W niektórych zlewniach mimo przestrzegania dobrych praktyk i zaleceń doradztwa w zakresie stosowania pestycydów nie udaje się zapobiec zanieczyszczeniu wód podziemnych. Może nawet dojść do naruszenia norm jakości wody i przekroczenia dopuszczalnego stężenia substancji aktywnej w wodach podziemnych, wynoszącego 0,1 µg/L. Wyniki monitorowania wody pozwalają na identyfikację pestycydów, będących powodem przekroczeń wartości progowych jakości wody przy stosowaniu aktualnych praktyk. Oprócz zanieczyszczeń miejscowych, które należy traktować priorytetowo, takie sytuacje powstają w efekcie najbardziej niekorzystnych kombinacji czynników terenowych, warunków klimatycznych i właściwości pestycydów. W takich przypadka konieczne jest podjęcie specjalnych działań, których celem jest zapewnienie wymaganych norm jakości wody.

- Lokalne, dobrowolne lub obowiązkowe, ograniczenia w stosowaniu pestycydów w niektórych obszarach wrażliwych, wykraczające poza wymagania określone na etykiecie pestycydów – konieczne i wystarczające działanie prowadzące do spełnienia wymaganych norm dla wód podziemnych.
- Lokalne, dobrowolne lub obowiązkowe, zaniechanie stosowania pestycydów krytycznych na niektórych obszarach wrażliwych, gdy ryzyko przekroczenia norm jakości dla wody przy jakimkolwiek zastosowaniu tych pestycydów jest uważane za zbyt wysokie.

Nie można określić jednolitego trybu podejmowania decyzji o lokalnych ograniczeniach lub lub zakazie stosowania pestycydów, ponieważ zależy to od specyfiki sytuacji. Jednak w oparciu o istniejące doświadczenia często można znaleźć rozwiązania sprawiające, że odpowiednie do sytuacji stosowanie pestycydów uwzględnia zarówno ochronę czystości wody, jak i produktywność upraw.

Producenci pestycydów udzielają zaleceń w zakresie stosowania pestycydów o krytycznych właściwościach substancji aktywnych (np. o mobilności i trwałości w glebie), aby uniknąć zanieczyszczenia wód podziemnych na podatnym obszarze. Zalecenia te znajdują się czasem na etykietach pestycydów. Można je także upowszechniać za pośrednictwem ulotek, informacji prasowych oraz poprzez system dystrybucji. Rolnicy powinni stosować się do tych zaleceń i skonsultować się z doradcami w zakresie ochrony roślin w celu uzyskania szczegółowych informacji.

Co robić?

Na obszarach, gdzie problemem jest zanieczyszczenie wód podziemnych konkretnym pestycydem, zasięgnij porady na temat jego stosowania i postępuj zgodnie z zaleceniami i ewentualnymi ograniczeniami dla obszarów wrażliwych.

Jak to zrobić?

W przypadku identyfikacji pestycydów stwarzających problem na obszarach wrażliwych zalecane jest ograniczenie ich stosowania na tych obszarach. Należy przestrzegać oficjalnych zaleceń doradców w zakresie ochrony roślin lub służb ochrony środowiska, oraz, w stosownych przypadkach, także zasad zarządzania gospodarstwem. W każdym przypadku podstawą prawną wyboru i sposobu stosowania pestycydu na danej uprawie jest instrukcja na etykiecie. Jej przestrzeganie gwarantuje skuteczność biologiczną produktu i zgodność jego stosowania z wymogami prawnymi.

Ograniczenia

Zastrzeżenia co do stosowania, a szczególnie zalecenia dotyczące niestosowania pestycydów, mogą ograniczać skuteczność alternatywnych metod ochrony roślin dla danej uprawy. Rozważ różne warianty płodozmianu na wrażliwych polach, aby uniknąć takich sytuacji w przyszłości.

4. Optymalizacja płodozmianu

Płodozmian jest systemem zagospodarowania ziemi uprawnej, opartym na zaplanowanym na wiele lat następstwie roślin po sobie na tym samym polu. Celem płodozmianu jest osiągnięcie korzyści agrotechnicznych, ekonomicznych i środowiskowych, a w szczególności utrzymanie żyzności gleby i dobrej kondycji upraw.

Dla rolnika wybór płodozmianu jest ważną decyzją agrotechniczną. Decyduje ona o nakładach pracy w ciągu roku, krótko- i długoterminowej rentowności, potrzebnych maszynach, żyzności i strukturze gleby, praktykach uprawowych, gromadzeniu się materii organicznej i presji szkodników. Ponadto ma wpływ na aspekty środowiskowe, takie jak przepływ wody w glebie i na jej powierzchni.

Mając na uwadze ograniczenie drenażu pestycydów zoptymalizowanie płodozmianu przynosi następujące korzyści:

Poprawa sorpcji i rozkładu pestycydów w glebie
Aktywność biologiczna gleby koncentruje się w jej warstwie próchnicznej, zasobnej w materię organiczną. Sprzyja ona rozkładowi pestycydów i zwiększa zdolność gleby do ich adsorpcji. Do wzrostu zawartości materii organicznej w glebie oraz jej aktywności biologicznej przyczynia się wysoki poziomie resztek pożniwnych oraz włączenie do płodozmianu roślin okrywowych.

Ograniczenie zużycia pestycydów dzięki integrowanej ochronie roślin
Ubogi płodozmian prowadzi zwykle do kumulacji specyficznych dla pewnych uprawy patogenów, szkodników i chwastów. Ze względu na zdrowotność roślin dobrą praktyką jest zróżnicowanie płodozmianu, co pozwala na stosowanie pestycydów w sposób ukierunkowany na cel. Decyzje dotyczące płodozmianu zależą w dużej mierze od czynników ekonomicznych, które pozostają często poza bezpośrednim wpływem rolnika.

Co robić?

Prowadź płodozmian, który jest najbardziej zróżnicowany oraz który pasuje do twojego systemu uprawy i wymagań ekonomicznych. Stosuj naprzemiennie uprawy ozime i jare, rośliny z palowym i wiązkowym systemem korzeniowym oraz zboża i rośliny okopowe. Rośliny strączkowe w płodozmianie zapewniają dodatkowe korzyści zwiększając zawartości azotu i aktywność biologiczną gleby. Rotacja roślin zależy w dużej mierze od warunków klimatycznych i rodzaju gleby. Przykładem zróżnicowanego płodozmianu byłaby pszenica ozima/jęczmień, a następnie kukurydza, soja i groch/buraki cukrowe.

Jak to zrobić?

Zawartość materii organicznej w glebie można wzbogacić, pozostawiając po zbiorze dużą ilość resztek pożniwnych (system korzeniowy, resztki słomy, rośliny okrywowe). Na podstawie zebranych plonów można obliczyć ilość pozostałych w glebie resztek organicznych, które mają na celu utrzymanie lub zwiększenia zawartości materii organicznej w jej warstwie próchnicznej (patrz: tabele agrotechniczne).
Liczbę upraw w rotacji, które są żywicielami tych samych patogenów/szkodników, należy zminimalizować, w przeciwnym razie mogłoby to doprowadzić do gromadzenia się nicieni lub tworzenia rezerwuarów patogenów grzybowych. W planowaniu płodozmianu należy uwzględnić także zwalczanie chwastów, ponieważ łatwość ich kontrolowania zależy od rodzaju uprawy. Skorzystaj ze sprawdzonych lokalnie schematów płodozmianu i płynących z nich korzyści, polegających na skutecznej ochronie roślin.

5. Uprawa gleby

Uprawa konserwująca, polegająca na zredukowaniu lub rezygnacji z zabiegów uprawowych, skutecznie ogranicza spływ powierzchniowy i erozję gleby. Bieżąca wiedza sugeruje jednak, że uprawa konserwująca może prowadzić do zwiększenia wymywania pestycydów do wód podziemnych, ze względu na szybszy i bardziej intensywny przepływ wody przez makropory istniejące w glebach o drobnej strukturze i niezakłóconym profilu glebowym.

Oznacza to, że ograniczona uprawa gleby lub jej brak w odmienny sposób wpływa na spływ powierzchniowy i wymywanie pestycydów. Jeśli na polu występuje spływ powierzchniowy to jego zapobieganie ma pierwszeństwo przed ograniczaniem wymywania, ponieważ stężenia pestycydów i krótkoterminowe obciążenia wody są zwykle wyższe w przypadku spływu. Ponadto zapobieganie erozji, która może towarzyszyć spływowi powierzchniowemu ma ogromne znaczenie dla rolników. W związku z tym ograniczenie uprawy gleby należy odradzać tylko, jeśli:

(i) spływ powierzchniowy nie stanowi problemu,

(ii) zanieczyszczenie wody podziemnej przez makropory musi być ograniczone dla krytycznego pestycydu stosowanego na danym polu.

Co robić?

Jeśli stosowane pestycydy, w wyniku ich wymywania, zanieczyszczają wody podziemne w zlewni należy przed siewem przeprowadzić przynajmniej płytką uprawę gleby, aby ograniczyć przepływ wody przez makropory. Dotyczy to tylko pól, na których uprawa konserwująca nie jest środkiem koniecznym do ograniczania spływu powierzchniowego.

Jak to zrobić?

Pierwszym krokiem jest diagnoza ryzyka spływu powierzchniowego, aby wykluczyć potrzebę stosowania uprawy konserwującej. Jeśli jakiś pestycyd stosowany w zlewni stanowi problem ze względu na zanieczyszczenie wód podziemnych, a ryzyko wymywania pestycydów zostało zdiagnozowane, jako wysokie (patrz narzędzie do diagnozowania ryzyka wymywania), to należy odradzać rezygnację z uprawy gleby. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pól, na powierzchni, których gleba ma tendencję do pękania.

Oprócz ograniczania spływu powierzchniowego konserwująca uprawa gleby jest również korzystna dla żyzności gleby, ponieważ chroni jej materię organiczną. Dlatego decyzję o stosowaniu płytkiej uprawy należy podjąć tylko wtedy, gdy oczywistym jest, że stosowanie jakiegoś pestycydu (pestycydów) na podatnych polach jest przyczyną niedopuszczalnego zanieczyszczenia wód podziemnych.

6. Rośliny okrywowe

Rośliny okrywowe należy uważać za integralną część płodozmianu, która musi spełniać potrzeby uprawy głównej i wymagania całego systemu uprawy. W systemach uprawy rośliny okrywowe są często uprawiane latem lub jesienią, po zbiorze plonu upraw ozimych, a przed siewem lub sadzeniem upraw jarych. W uprawach wieloletnich, takich jak winnice i sady, są one również uprawiane między rzędami roślin.

Rośliny okrywowe zapewniają następujące korzyści:

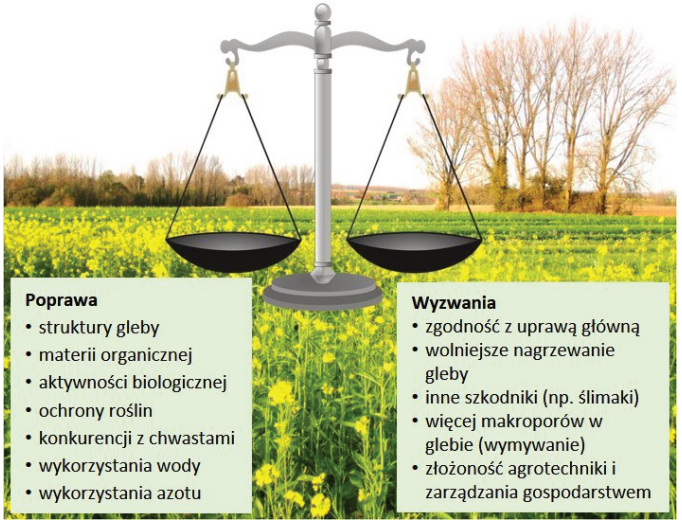
- minimalizacja skutków okresu odłogowania – ochrona gleby przed bezpośrednim działaniem czynników atmosferycznych (deszczu, wiatru, promieniowania słonecznego), i tym samym poprawa stabilności agregatów i ograniczenie erozji,
- równoważenie wilgotności gleby poprzez ewapotranspirację i ochrona gleby przed wysychaniem poprzez zacienienie,
- zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie, a tym samym poprawa struktury gleby oraz wzrost poziomu składników odżywczych (zielony nawóz), zdolności wymiany kationów i zdolności do zatrzymywania wody w glebie,
- stymulowanie aktywności biologicznej w glebie i umożliwienie zwalczania niektórych szkodników,
- ograniczenie ryzyka przepływu składników pokarmowych i pestycydów do wód podziemnych lub systemu drenażowego dzięki zwiększonej sorpcji gleby i zdolności do zatrzymywania wody,
- poprawa produktywności uprawy głównej i potencjalnie rentowności produkcji rolniczej, w zależności od kosztów siewu i uprawy roślin okrywowych.

Co robić?

Aby zapewnić korzyści dla rolników i środowiska należy wziąć pod uwagę cztery kluczowe aspekty roślin okrywowych:

a) Dobór gatunków

Mieszanki zielonych roślin okrywowych muszą być dobrane tak, aby pasowały do systemu uprawy i spełniały oczekiwania rolnika. Często oparte są na gatunkach roślin kapustnych, strączkowych, trawach i zbożach lub kombinacji tych gatunków. Rośliny okrywowe muszą pasować do płodozmianu lub uprawy wieloletniej, a terminy siewu muszą być dobrane tak, aby zapewnić prawidłowe wschody przy minimalnych ubocznych efektach dla uprawy głównej (np. konkurencji o składniki odżywcze).



Rys. 22. Prawidłowo uprawiane rośliny okrywowe przynoszą wiele korzyści

b) Zaawansowanie rozwoju

Ponieważ rośliny okrywowe często wymagają mieszanki nasion, należy dołożyć starań, aby zapewnić ich prawidłowy siew. Można je wysiewać rzędowo lub rozrzutowo w zależności od gatunków roślin, rodzaju sprzętu i warunków polowych.

c) Uprawa

Osiągnięcie pełnych korzyści wymaga prawidłowej uprawy roślin okrywowych, obejmującej stosowanie nawozów i pestycydów oraz koszenie lub wypas zwierząt.

d) Przeciwskazania

Rośliny okrywowe często trzeba zlikwidować przed wysiewem upraw głównych. Można to uzyskać w sposób naturalny, przez wymrożenie roślin w zimie, za pomocą herbicydów, poprzez wypas zwierząt, a także przez wałowanie lub wprowadzenie do gleby. Ma to istotny wpływ na wschody i wzrost upraw następczych. Na przykład likwidacja roślin okrywowych na ciężkich glebach wiosną często wymaga wcześniejszego odsłonięcia łanu roślin, aby umożliwić wyschnięcie i ogrzanie gleby i terminowe wschody uprawy głównej.

Jak to zrobić?

Jeśli do płodozmianu lub uprawy wieloletniej włączone zostają rośliny okrywowe to zalecana jest konsultacja z doradcą, który pomoże dostosować je do lokalnych warunków glebowych i pogodowych, z uwzględnieniem stosowanego systemu uprawy. Rolę doradczą spełniają także firmy nasienne oraz serwisy internetowe [44, 45].

Rośliny okrywowe często wysiewa się późnym latem lub jesienią, po zbiorach upraw ozimych, takich jak pszenica, jęczmień czy rzepak, i uprawia się do siewu upraw jarych, takich jak kukurydza, słonecznik, pszenica, jęczmień czy burak cukrowy. Kluczowymi gatunkami w mieszankach roślin okrywowych mogą być trawy, takie jak owies lub życica, które rosną szybko i korzenią się płytko, co sprzyja skutecznej transpiracji i rozwojowi ziarnistej struktury na powierzchni gleby. Trawy dobrze się mieszają z gatunkami roślin okrywowych, które tworzą głębsze systemy korzeniowe, poprawiające strukturę niższych warstw gleby. Należą do nich gatunki kapustne, takie jak gorczyca i rzodkiew, a także rośliny strączkowe, szczególnie te, które nadają się do siewu jesiennego i zwiększają aktywność mikrobiologiczną gleby.

Późną jesienią, po zbiorach upraw jarych może być już za późno na siew roślin okrywowych. Wtedy można je wsiać na wiosnę w uprawę główną, np. żyto lub rośliny strączkowe w kukurydzę, dla której w stadium od ośmiu do dziesięciu liści rośliny te nie stanowią już istotnej konkurencji.

W uprawach wieloletnich, szczególnie w suchym klimacie, pokrycie gleby szatą roślinną jest częściej potrzebne, aby zapobiec erozji i spływowi powierzchniowemu pestycydów niż ich wymywaniu. W miejscach, w których występuje nadmiar wody, a nie jej niedobór, mieszanki koniczyny dobrze współgrają z uprawami wieloletnimi, takimi jak sady i winnice.

Wraz z rosnącym zainteresowaniem roślinami okrywowymi zwiększa się ich dostępność w postaci mieszanek oferowanych przez firmy nasienne. Zainteresowanie to wynika także z faktu, że rośliny okrywowe stanowią istotny element obszarów proekologicznych, wymaganych w ramach Wspólnej Polityki Rolnej UE, i zapewniają dywersyfikację upraw w gospodarstwach.

Skuteczność roślin okrywowych w zmniejszaniu wymywania azotanów z gleby jest dobrze udokumentowana. Dwa kluczowe procesy wyjaśniające zmniejszone wymywanie azotu to jego pobieranie przez rośliny okrywowe oraz transpiracja, ograniczająca odpływ wody z gleby. Pestycydy podlegają podobnym procesom, chociaż ich pobieranie przez rośliny (fitoakumulacja) ma mniejsze znaczenie niż obniżanie wilgotności gleby. Istotną rolę odgrywa za to zwiększenie aktywności mikrobiologicznej wierzchniej warstwy gleby, gdzie następuje intensyfikacja rozkładu pestycydów i tym samym ograniczenie ich drenażu i wymywania.

Ograniczenia

Warto być świadomym ograniczeń związanych ze stosowaniem roślin okrywowych. Należy je zatem uprawiać w sposób zapewniający rolnikom korzyści netto. Wzrost produktywności upraw następczych musi przewyższać koszty siewu, uprawy i likwidacji roślin okrywowych, z uwzględnieniem środków z tytułu dotacji.

Planując uprawę roślin okrywowych należy się liczyć z dostępnością dodatkowych zasobów pracy ludzkiej i uwzględnić ją w zarządzaniu gospodarstwem. Ponadto rośliny okrywowe zwiększają transpirację, co wiąże się z ograniczeniem ich stosowania na polach z deficytem wody, aby nie doprowadzić do przesuszenia gleby przed siewem upraw głównych. Rozwiązaniem może być wcześniejsza likwidacja roślin okrywowych. Można ją także rozważyć na glebach bardzo wilgotnych, na których obecność roślin okrywowych sprawia, że w okresie siewu upraw jarych gleba jest niewystarczająco ciepła do ich szybkiego wschodu.

Resztki roślin okrywowych mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia następczych upraw głównych, np. w wyniku presji chorób grzybowych lub ślimaków. Jednak prawidłowo dobrane rośliny okrywowe tłumią wzrost chwastów oraz ograniczają rozwój nicieni, innych szkodników i patogenów.

7. Optymalizacja nawadniania

Obfite nawadnianie pól, przekraczające zapotrzebowanie roślin uprawnych na wodę i zdolność jej utrzymania w glebie, może przyczyniać się do wzrostu wymywania pestycydów do wód podziemnych. Aby tego uniknąć należy stosować zoptymalizowane systemy nawadniania, np. nawadnianie kroplowe. Jest ono najczęściej stosowane w uprawach o dużej wartości ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne potrzebne do jego założenia.

Co robić?

Aby zminimalizować przenikanie wody z gleby do wód podziemnych lub systemu drenażowego, konieczne jest racjonalne gospodarowanie wodą poprzez stosowanie zoptymalizowanych systemów nawadniania. Planowanie terminów i dawek nawodnieniowych powinno uwzględniać zawartość wody w glebie, zdolność gleby do utrzymywania wody oraz potrzeby wodne roślin uprawnych w stosunku do faktycznej ewapotranspiracji.

Jak to zrobić?

Punktem wyjścia jest codzienne monitorowanie wilgotności gleby i ewapotranspiracji w powiązaniu z prognozowaną ilością opadów. Na podstawie tych danych można obliczyć potrzeby wodne upraw, zawartość wody w glebie i konieczną ilość wody do nawadniania. Komercyjnie dostępne są systemy zarządzania nawadnianiem, obejmujące narzędzia wspomagania decyzji i układy sterujące instalacją nawodnieniową.

A

Agregaty glebowe
Różnego kształtu i wielkości gruzełki o różnej trwałości, które powstały w glebie na skutek łączenia się pojedynczych ziaren mineralnych, które przylegają do siebie silniej niż do otaczających cząstek. Stanowią one strukturę gleby.

D

Drenaż
Naturalne lub sztuczne usuwanie wody glebowej i powierzchniowej z pól. Zadaniem system drenażowego jest sprzyjająca wzrostowi roślin regulacja stosunków wodnych w glebie poprzez zapobieganie zaleganiu wody na polach i nasyceniu gleby wodą.

Diagnoza ryzyka
Identyfikacja problemów potencjalnie prowadzących do strat

DT50 – Okres połowicznego zaniku
Parametr charakteryzujący trwałość substancji, wyrażający czas potrzebny do zredukowania stężenia substancji w wyniku jej rozkładu o połowę.

DWQS (*Drinking water quality standard*) – Normy jakości wody pitnej
Parametry jakości dla wody pitnej ustalane przez kraje, związki krajów (np. UE) lub organizacje (np. WHO).

E

EQS (*Environmental quality standards*) – Normy jakości środowiska
Maksymalne dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń dla poszczególnych elementów środowiska (wody, powietrza, gleby), określane poprzez akty prawne poszczególnych państw. W UE ustalone są EQS dla substancji priorytetowych i innych zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych w celu zapewnienia ich poprawnej jakości chemicznej i ekologicznej.

Ewaporacja (parowanie)
Proces zmiany stanu skupienia, przechodzenia z fazy ciekłej danej substancji (np. wody) w fazę gazową (parę) zachodzący z reguły na powierzchni cieczy. W środowisku woda odparowuje ze zbiorników i cieków wodnych, gleby, roślin i innych obiektów.

Ewapotranspiracja

Proces parowania terenowego (np. w obrębie użytku zielonego), obejmujący transpirację (parowanie z komórek roślinnych) oraz ewaporację (parowanie z gruntu).

G

Glina zwałowa (lodowcowa)
Skała ilasta, rodzaj gliny, zazwyczaj niewarstwowany materiał osadowy powstający z błota morenowego, składający się z grubszych frakcji. Na glinę zwałową składa się materiał, wmarznięty niegdyś w lodowiec, który po stopieniu lodu został osadzony na skałach podłoża.

K

Kd *(soil adsorption* coefficient) / K_{OC} *(organic carbon-water partition coefficient)*
Współczynniki potencjału sorpcyjnego gleby. Podstawowe parametry charakteryzujące mobilność i trwałość substancji chemicznych w glebie. Wyrażają ilość substancji chemicznej adsorbowanej w glebie na styku woda/cząstki stałe frakcji mineralnej i tlenków (Kd) oraz frakcji węgla organicznego materii organicznej (K_{OC}).

M

Materia organiczna w glebie
Organiczna część gleby składająca się z resztek roślinnych i zwierzęcych w różnym stadium rozkładu, humusu glebowego (kwasów humusowych i humin) oraz organicznych produktów działalności życiowej organizmów glebowych, tzw. nieswoistych substancji organicznych. Materia organiczna wywiera pozytywny wpływ na fizyczne i chemiczne właściwości gleby, a także na zdolność gleby do spełniania regulacyjnych funkcji ekosystemowych. Jej obecność jest uważana za krytyczną dla jakości gleby.

N

Nasycenie gleby
Stan gleby, w którym wszystkie pory wypełnione są wodą i nie zawierają powietrza

O

Ocena narażenia
Proces oceny lub pomiaru wielkości, częstotliwości i czasu trwania stężeń w środowisku dla substancji chemicznych, takich jak pestycydy

Odpływ drenażowy
Objętościowy przepływ wody do systemu drenażowego.

P

Pestycyd krytyczny
Pestycyd, którego niedopuszczalne stężenia stwierdzane są w wodach powierzchniowych i podziemnych z powodu łatwego odpływu drenażowego i/lub wymywania, będących efektem właściwości substancji i czynników środowiskowych oraz ich współdziałania.

pF wartość
Wskaźnik określający siłę ssącą gleby, wynikającą z jej porowatości (logarytm dziesiętny ciśnienia hydrostatycznego wyrażonego wysokością słupa wody w cm). Przy wartości pF > 4,2 rośliny nie są w stanie pobrać wody z gleby.

Podglebie
Warstwa gleby znajdująca się pod warstwą orną.

PPW – Polowa pojemność wodna
Ilość wody, jaka może być przechowywana pomimo grawitacji przez glebę przez 2 dni po dłuższym okresie opadów lub po nawodnieniu.

Przepływ preferencyjny
Nierównomierny i często wartki przepływ wody z rozpuszczonymi w niej substancjami przez glebę, najczęściej przez jej makropory (np. korytarze dżdżownic, kanały korzeni, pęknięcia gleby).

Przepuszczalność
Parametr określający prędkość przenikania wody przez warstwę gleby, wyrażany w jednostkach prędkości (m/s), zależny od właściwości gleby.

Punkt trwałego więdnięcia
Zawartość wody w glebie, przy której rośliny trwale więdną i nie mogą odzyskać turgoru po umieszczeniu w nasyconej atmosferze na 12 godzin. Więdnięcie to ustępuje jedynie, gdy zawartość wody w glebie wzrośnie.

R

Ramowa Dyrektywa Wodna
Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Porządkuje i koordynuje istniejące europejskie ustawodawstwo wodne, mając na celu ochronę wody przed zanieczyszczeniem u jej źródła.

Schemat decyzyjny
Strukturalny system wspomagania decyzji w formie tabeli.

S

Sorpcja
Proces wiązania substancji na powierzchni cząstek ciał stałych

Substancje priorytetowe
Substancje wymienione w dyrektywie w sprawie norm jakości środowiska (2008/105/EC).

Tekstura gleby
Klasyfikacja gleby na podstawie udziału frakcji iłu, pyłu i piasku.

T

Transpiracja
Czynne parowanie wody z nadziemnych części roślin (liście, pędy, kwiaty) przez: aparaty szparkowe (transpiracja szparkowa), skórkę (transpiracja kutykularna) i przetchlinki (transpiracja przetchlinkowa).

Uprawa konserwująca
Sposób uprawy, mający na celu ochronę gleby przed degradacją oraz zachowanie jej produktywności.

U

Woda niedostępna
Woda silnie związana w glebie siłami kapilarnymi, nie poddającymi się sile ssącej korzeni roślin.

W

WPR UE
Wspólna Polityka Rolna Unii Europejskiej

Wymywanie
Wnikanie wody opadowej, lub z innych źródeł, do gleby i rozpuszczanie zawartych w niej substancji chemicznych (np. nawozów, pestycydów), a następnie przemieszczanie roztworu w głąb profilu glebowego, do wód podziemnych.

Zarządzanie ryzykiem
Identyfikacja, ocena i ustalanie priorytetów ryzyka, a następnie skoordynowane działania w celu minimalizacji, monitorowania i kontroli prawdopodobieństwa lub następstw negatywnych zdarzeń, lub maksymalizacji efektów potencjalnych możliwości.

Z

LITERATURA

1 www.TOPPS-life.org

2 www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/office/ssr7/profile/?cid=nrcs142p2_047970

3 www.science-scene.org/blog/exploring-soil-texture

4 https://extension.psu.edu/soil-quality

5 https://de.wikipedia.org/wiki/Porenvolumen_(Boden)

6 http://soilquality.org.au

7 Saxton and Rawls, 2006

8 https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/09 soil-water-dynamics-103089121

9 http://soilandwater.bee.cornell.edu/research/pfweb/educators/intro/macroflow.htm

10 http://www.voluntaryinitiative.org.uk/

11 Arvalis pers. information

12 www.enorasis.eu/uploads/files/Water%20Governance/5. JRC46748_Report_Irrigation_EUR_23453_EN.pdf

13 M. Robinson 1990: Impact of improved land drainage on river flows, Report 113; Inst Hydrology Robinson 1990

14 www.landcareresearch.co.nz/publications/newsletters/soil/issue-24/productive-pastures

15 TOPPS_ www,TOPPS-life.org (Arvalis Institut du Végétal)

16 Alletto L, et al. (2012). Tillage and fallow period manage- ment effects on the fate of the herbicide isoxaflutole in an irrigated continuous-maize field. Agriculture Ecosys- tems & Environment 153:40-49.

17 Buhler DD, et al. (1993). Water quality – atrazine and alachlor losses from subsurface tile drainage of a clay loam soil. Journal of Environmental Quality 22:583-588.

18 Clay SA, et al. (1998). Application method: impacts on atrazine and alachlor movement, weed control, and corn yield in three tillage systems. Soil & Tillage Research 48:215-224.

19 Elliott, J.A., et al. (2000). Leaching rates and preferential flow of selected herbicides through tilled and untilled soil. Journal of Environmental Quality 29:1650-1656.

20 Essington, M.E., D.D. Tyler, and G.V. Wilson (1995). Fluometuron behavior in long-term tillage plots. Soil Science 160:405-414.

21 Fomsgaard, I.S., N.H. Spliid, and G. Felding (2003a). Leaching of pesticides through normal-tillage and low- tillage soil - A lysimeter study. I. Isoproturon. Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes 38:1-18.

22 Fomsgaard, I.S., N.H. Spliid, and G. Felding (2003b). Leaching of pesticides through normal-tillage and low- tillage soil - A lysimeter study. II. Glyphosate. Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes 38:19-35.

23 Fortin, J., et al. (2002). Preferential bromide and pesticide movement to tile drains under different cropping practices. Journal of Environmental Quality 31:1940-1952.

24 Gaynor JD, Mactavish DC, Findlay WI (1992). Surface and subsurface transport of atrazine and alachlor from a Brookston clay loam under continuous corn production. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 23:240-245.

25 Gaynor JD, Mactavish DC, Findlay WI (1995). Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface run-off from 3 tillage treatments in corn. Journal of Environmental Quality 24:246-256.

26 Gaynor, J.D., et al. (2001). Tillage, intercrop, and con- trolled drainage-subirrigation influence atrazine, metri- buzin, and metolachlor loss. Journal of Environmental Quality 30:561-572.

27 Gish, T.J., et al. (1991). Impact of pesticides on shallow groundwater quality. Transactions of the Asae 34:1745-1753.

28 Gish, T.J., et al. (1995). Herbicide leaching under tilled and no-tillage fields. Soil Science Society of America Journal 59:895-901.

29 Giuliano, S., et al. (2016). Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: A multi-criteria assessment. European Journal of Agronomy 76:160-175.

30 Hall, J.K. and R.O. Mumma (1994). Dicamba mobility in conventionally tilled and non-tilled soil. Soil & Tillage Research 30:3-17.

31 Hall, J.K., R.O. Mumma, and D.W. Watts (1991). Leaching and run-off losses of herbicides in a tilled and untilled field. Agriculture Ecosystems & Environment 37:303-314.

32 Isensee, A.R., R.G. Nash, and C.S. Helling (1990). Effect of conventional vs no-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. Journal of Environmental Quality 19:434-440.

33 Isensee, A.R. and A.M. Sadeghi (1995). Long-term effect of tillage and rainfall on herbicide leaching to shallow groundwater. Chemosphere 30:671-685.

34 Kanwar, R.S., T.S. Colvin, and D.L. Karlen (1997). Ridge, moldboard, chisel, and no-till effects on tile water quality beneath two cropping systems. Journal of Production Agriculture 10:227-234.

35 Logan, T.J., D.J. Eckert, and D.G. Beak (1994). Tillage, crop and climatic effects on run-off and tile drainage losses of nitrate and 4 herbicides. Soil & Tillage Research 30:75-103.

36 Masse, L., et al. (1996). Tile effluent quality and chemical losses under conventional and no tillage .2. Atrazine and metolachlor. Transactions of the Asae 39:1673-1679.

37 Masse, L., et al. (1998). Groundwater quality under conventional and no tillage: II. Atrazine, deethylatrazine, and metolachlor. Journal of Environmental Quality 27:877- 883.

38 Potter, T.L., D.D. Bosch, and T.C. Strickland (2015). Tillage impact on herbicide loss by surface run-off and lateral subsurface flow. Science of the Total Environment 530:357-366.

39 Ritter, W.F., A.E.M. Chirnside, and R.W. Scarborough (1996). Movement and degradation of triazines, alachlor, and metolachlor in sandy soils. Journal of Environmental Science and Health Part a-Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control 31:2699-2721.

40 Rothstein, E., et al. (1996). Atrazine fate on a tile drained field in northern New York: A case study. Agricultural Water Management 31:195-203.

41 Steenhuis, T.S., et al. (1990). Preferential movement of pesticides and tracers in agricultural soils. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce 116:50-66.

42 Watts, D.W. and J.K. Hall (1996). Tillage and application effects on herbicide leaching and run-off. Soil & Tillage Research 39:241-257.

43 Weber, J.B., K.A. Taylor, and G.G. Wilkerson (2006). Soil cover and tillage influenced metolachlor mobility and dissipation in field lysimeters. Agronomy Journal 98:19-25.

44 https://cereals.ahdb.org.uk/media/655816/is41-opportunities-for-cover-crops-in-conventional-arable-rotations.pdf;

45 http://www.agricology.co.uk/sites/default/files/NIAB-TAG%20Cover%20Crops_lowres.pdf).

46) Van der Molen, W.H., Martínez Beltrán, J., Ochs, W.J. (2007). Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems. FAO Irrigation and Drainage Paper 62, Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy, p230.

47 EU-Life Artwet project (LIFE 06 ENV/F/000133).

48 R Don Wauchope, Simon Yeh, Jan BHJ Linders, Regina Kloskowski, Keiji Tanaka, Baruch Rubin, Arata Katayama, Werner Kordel, Zev Gerstl, Michael Lane, John B Unsworth
Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. Pest Manag Sci. 2002; 58(5); 419-445.

NOTATKI

TOPPS
Water Protection

European
Crop Protection

European Crop Protection Association
E.C.P.A.
6 Avenue E. Van Nieuwenhuyse,
B-1160 Brussels, Belgium.
tel: +32 2 663 15 50
fax: +32 2 663 15 60
ecpa@ecpa.eu

InHort
INSTYTUT OGRODNICTWA

Instytut Ogrodnictwa
Konstytucji 3 Maja 1/3
96-100 Skierniewice
Tel.: +48 46 833 20 21
Fax: +48 46 833 32 28
www.inhort.pl

ISBN 978-83-65903-27-3