

Mariusz Kucharski

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

WPLYW AGROTECHNIKI I WARUNKÓW POGODOWYCH NA ZACHOWANIE SIĘ HERBICYDÓW W ŚRODOWISKU*

Słowa kluczowe: herbicydy, pozostałości, dynamika rozkładu, gleba, roślina

Wstęp

Pomimo wielu ograniczeń stosowanie chemicznej ochrony jest niezbędnym i trwałym elementem w technologiach uprawy roślin rolniczych. Prawidłowo stosowane środki ochrony roślin (ś.o.r.) umożliwiają osiągnięcie wysokich i jakościowo dobrych plonów bez uszczerbku dla chronionej rośliny. Szeroki asortyment ś.o.r. pozwala na elastyczność w doborze metody i terminu zabiegu, a właściwy dobór substancji czynnych zapewnia wyeliminowanie zagrożenia dla rośliny uprawnej.

Ocena ryzyka dla zdrowia konsumentów oraz środowiska ma zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji o rejestracji środka ochrony roślin. Uzyskanie odpowiedniego zezwolenia umożliwia obrót i stosowanie danego preparatu w krajowej praktyce rolniczej. Dla oceny takiego ryzyka niezbędne są m.in. informacje o trwałości i szybkości rozkładu substancji czynnej środka oraz dane o poziomie pozostałości jakie mogą wystąpić w żywności, paszach czy środowisku w wyniku jego aplikacji. Dane takie uzyskuje się z kontrolowanych doświadczeń na wydzielonych uprawach roślin, z użyciem badanego środka zgodnie z przewidywaną instrukcją stosowania. W doświadczeniach tych muszą być uwzględnione przede wszystkim warunki ekstremalne, sprzyjające wystąpieniu najwyższych możliwych stężeń pozostałości. Zgodnie z definicją, pozostałości to część substancji czynnej preparatu i (lub) jego toksycznych metabolitów, która nie uległa rozkładowi.

Pestycydy mogą przedostawać się do środowiska w trakcie produkcji i transportu, podczas wykonywania zabiegu ochrony roślin, płukania i mycia sprzętu opryskującego-

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

go, jak również przez nieodpowiednie składowanie resztek i opakowań po preparatach. Herbicydy, podobnie jak i inne ś.o.r., po ich aplikacji, pod wpływem czynników środowiska ulegają rozkładowi. Poza rozkładem chemicznym i mikrobiologicznym, udział w procesie zanikania substancji czynnej w glebie ma sorpcja, przemieszczanie w głębsze warstwy gleby (poniżej strefy korzeniowej, a nawet do wód gruntowych) oraz pobieranie przez roślinę (9, 18, 28).

Dominacja poszczególnych procesów i ich szybkość zależą od rodzaju substancji czynnej, typu i aktywności biologicznej gleby oraz od warunków pogodowych i agrotechnicznych. Od ilości i szybkości zachodzących przemian, w efekcie końcowym, zależy poziom pozostałości poszczególnych substancji czynnych i ich metabolitów w roślinie, wodzie i glebie.

W warunkach polowych trudno jest rozdzielić wpływ warunków pogodowych i agrotechniki na zachowanie się herbicydów w glebie czy materiale roślinnym. Występujące czynniki mogą wzajemnie się znosić, jak też powodować wystąpienie nadmiernych pozostałości. Dzięki badaniom prowadzonym w warunkach kontrolowanych, istnieje możliwość doboru warunków prowadzenia doświadczeń tak, aby wyróżnić pojedyncze parametry mogące mieć wpływ na rozkład herbicydu i w efekcie końcowym na stężenie pozostałości.

Na podstawie wyników badań prowadzonych zarówno w warunkach polowych, jak też kontrolowanych, można scharakteryzować wpływ poszczególnych parametrów wpływających na szybkość rozkładu i pozostałości substancji czynnych herbicydów w glebie i uprawianej roślinie.

Do głównych czynników wpływających na szybkość rozkładu, a tym samym poziom pozostałości herbicydu w glebie i materiale roślinnym należy zaliczyć: właściwości fizykochemiczne substancji czynnej, warunki glebowo-klimatyczne oraz agrotechnikę.

Jak wspomniano wcześniej, jednym z parametrów ograniczających przydatność środka ochrony roślin do stosowania w praktyce jest jego wpływ na środowisko rolnicze. Substancje persystentne, charakteryzujące się powolnym rozkładem w glebie nie są dopuszczane do stosowania w ochronie roślin (4). Z tego względu dla każdego herbicydu należy wyznaczyć czas połowicznego rozkładu związku w glebie (DT_{50}), który jest ważnym wskaźnikiem decydującym o bezpieczeństwie dla środowiska. W zależności od okresu półrozpadu w glebie (DT_{50}), stosowane w praktyce rolniczej agrochemikalia można podzielić na: mało trwałe ($DT_{50} < 20$ dni), średnio trwałe ($DT_{50} - 20-90$ dni) i trwałe ($DT_{50} > 90$ dni); (7).

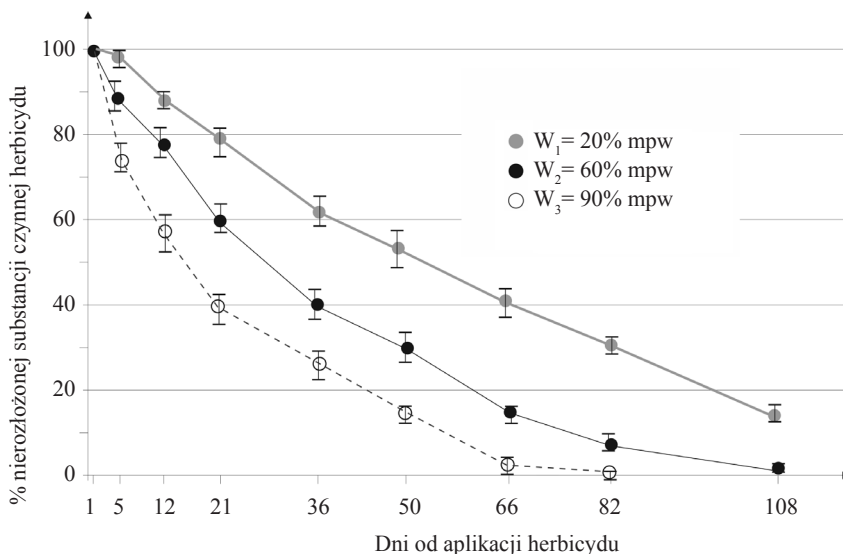
Prace nad wpływem typu gleby na rozkład substancji czynnej herbicydu wskazują, że przebieg i szybkość procesu zanikania są uzależnione od właściwości fizykochemicznych gleby oraz zawartości substancji organicznej (1, 6, 12). Jak wskazują wyniki badań (5, 8, 12, 29), na glebach zasobnych w substancję organiczną następuje szybszy rozkład herbicydów, czego skutkiem są niższe pozostałości oznaczane w czasie zbioru rośliny. Natomiast w glebach ubogich w substancję organiczną, jak również posiada-

jących w swym składzie wysoki udział frakcji piasku, obserwowany jest wolniejszy rozkład herbicydów. Gleby piaszczyste (lekkie) umożliwiają łatwiejszy transport herbicydu w profilu glebowym aż do wód gruntowych, co powoduje, że w warstwie ornej (w obszarze dostępności dla systemu korzeniowego rośliny) pozostałości są bardzo małe, co ogranicza też możliwość wystąpienia pozostałości w uprawianej roślinie. W przypadku gleb ciężkich obserwowane jest zjawisko sorpcji – molekuly substancji czynnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząstki gleby i nie są one dostępne (lub dostęp jest ograniczony) dla roślin.

Główną rolę w procesie rozkładu substancji czynnej herbicydu odgrywają mikroorganizmy glebowe. Prace nad oddziaływaniem herbicydów na właściwości gleby i rozwój mikroflory nie wykazały, by związki te, stosowane w zalecanych dawkach, w sposób trwały, wpływały ujemnie na środowisko glebowe (20, 21, 22, 23, 24, 25). Obserwowane zmiany liczebności poszczególnych grup mikroorganizmów są na ogół okresowe i po pewnym czasie następuje powrót do stanu pierwotnego. Obecność i liczebność mikroorganizmów jest powiązana z właściwościami gleby. Większość substancji czynnych herbicydów rozkładana jest przy udziale mikroorganizmów, co wskazuje, że w glebach zasobnych w mikroorganizmy rozkład jest szybszy, a tym samym poziom pozostałości w glebie i uprawianej roślinie powinien być niższy.

Temperatura i wilgotność gleby

Wyższa temperatura i odpowiednia wilgotność gleby powodują, że rozkład herbicydu jest szybszy, a tym samym niższe są jego pozostałości (15, 26, 27). Odpowiednie warunki klimatyczne sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów uczestniczących w rozkładzie biologicznym, jak również przyspieszają rozkład chemiczny. Na podstawie wyników uzyskanych z doświadczenia prowadzonego w warunkach kontrolowanych (15), w którym oceniano rozkład fluazifopu w glebie o różnej wilgotności stwierdzono, że najszybszy rozkład obserwowany był przy najwyższym uwilgotnieniu gleby [90% maksymalnej pojemności wodnej (mpw)] – rys. 1. Porównując wyniki tego doświadczenia można zauważyć, że różnice w czasie połowicznego rozkładu (DT_{50}) tej substancji, w zależności od wilgotności gleby sięgają 37 dni. DT_{50} dla wilgotności 20% mpw wynosił 54, dla wilgotności 60% mpw – 29, a dla wilgotności 90% mpw tylko 17 dni. Po 82 dniach od aplikacji herbicydu nie stwierdzono wykrywalnych pozostałości w glebie o wilgotności równej 90% mpw. Podobne wyniki uzyskali inni badacze. W a l k e r i A l l e n (30), badając rozkład propyzamidu, metrybuzyny i linuronu stwierdzili, że półokres rozpadu tych związków w glebie, w temperaturze 20°C i przy wilgotności równej połowie maksymalnej pojemności wodnej, wynosił dla propyzamidu – 35, metrybuzyny – 36 i linuronu – 74 dni, a przy niskiej wilgotności (20% mpw) odpowiednio 90, 97 i 142 dni.

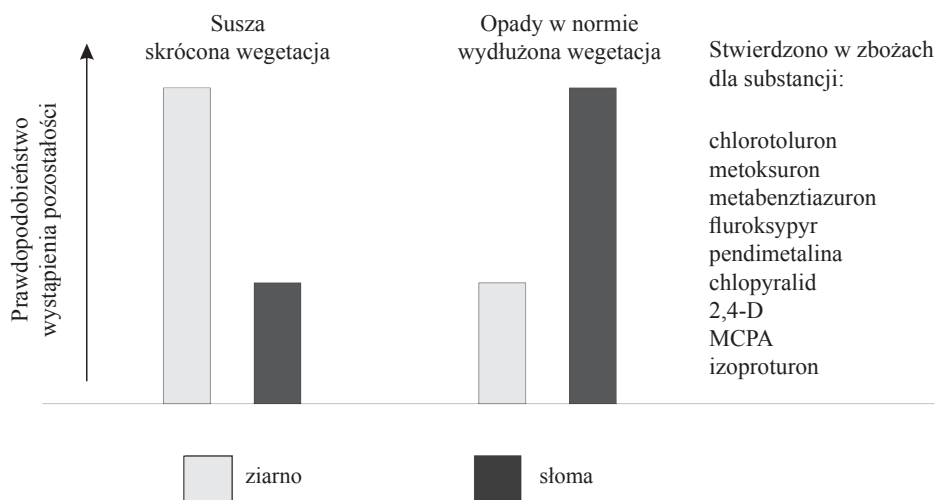


Rys. 1. Krzywe rozkładu fluażifopu. Pionowe odcinki reprezentują błąd standardowy wartości średniej dla 3 powtórzeń.

Źródło: badania własne (15)

Duże znaczenie na przebieg rozkładu i ewentualne „umiejscowienie” pozostałości mają okresowe, istotne niedobory wody w glebie. Niedostateczna wilgotność gleby w okresie wykonywania zabiegów herbicydowych może powodować słabe działanie preparatów. Rozwój roślin i chwastów jest wtedy znacząco spowolniony, środek jest pobierany w ograniczonym stopniu i ulega rozkładowi, co powoduje, że konieczne jest wykonanie zabiegów uzupełniających, wprowadzających dodatkową dawkę herbicydów do środowiska.

Jak wykazano w badaniach, wystąpienie suszy w okresie dojrzewania zbóż powoduje skrócenie okresu wegetacji i zwiększoną kumulację pozostałości herbicydów w ziarnie. W sezonach, gdzie nie obserwowano w tym okresie nadmiernego spadku wilgotności, czas wegetacji był wydłużony i pozostałości w ziarnie zbóż były znacząco niższe od tych, które wykrywano w glebie i słomie (rys. 2).

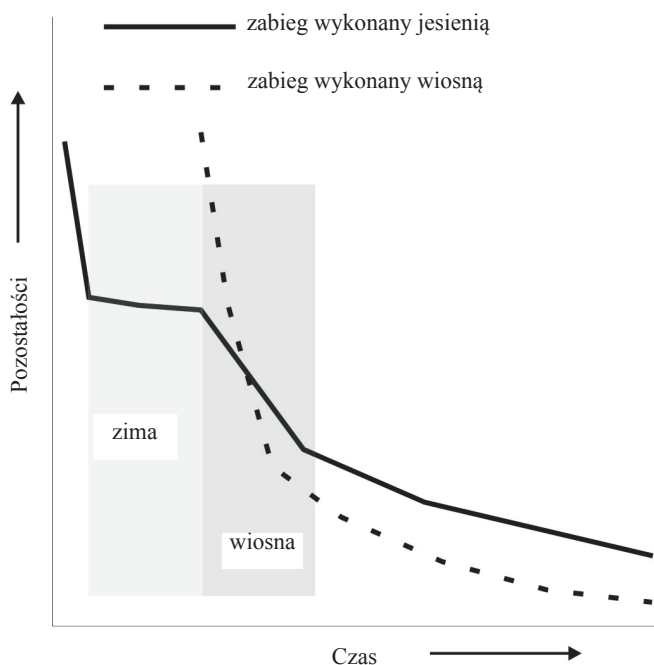


Rys. 2. Wpływ suszy na poziom i rozmieszczenie pozostałości

Źródło: rysunek poglądowy na podstawie badań własnych

Termin wykonania zabiegu herbicydowego

W uprawie oziminy istotny wpływ, na tempo rozkładu, ma także termin stosowania herbicydu (3, 10, 16). Po wykonaniu zabiegu w okresie jesiennym, w początkowym okresie większość preparatu dostaje się do gleby. Do momentu, gdy temperatura gleby jest dostatecznie wysoka, rozkład substancji biologicznie czynnej zachodzi stosunkowo szybko (rys. 3). W okresie zimowym, gdy temperatura gleby wyraźnie się obniża, procesy życiowe mikroorganizmów ulegają zahamowaniu, a rozkład herbicydu praktycznie zostaje zatrzymany. Wiosną w miarę ogrzewania się gleby, aktywność mikroorganizmów glebowych wzrasta i proces rozkładu herbicydu ponownie ulega przyspieszeniu. Jeżeli porównamy przebieg dynamiki rozkładu tej samej substancji czynnej herbicydu aplikowanego wiosną i jesienią, to można zauważyć, że herbicyd stosowany jesienią w okresie wiosny rozkłada się wolniej niż zastosowany wiosną. Powodowane jest to tym, że w okresie późnojesiennym i zimowym rozkład ulega zatrzymaniu, ale w tym czasie cząsteczki substancji czynnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząstki gleby. Sprawia to, że na wiosnę są one trudniej dostępne dla mikroorganizmów. W takim przypadku, pomimo znacznie wcześniejszego terminu aplikacji herbicydu, pozostałości oznaczone w czasie zbioru rośliny nie muszą być znacząco różne. Z góry nie można założyć, że aplikacja jesienna będzie powodowała, że pozostałości będą niższe.



Rys. 3. Wpływ terminu wykonania zabiegu na rozkład herbicydu w glebie

Źródło: rysunek poglądowy na podstawie badań własnych

Na podstawie badań (17) prowadzonych w latach 2000-2002 na plantacjach pszenicy ozimej, gdzie aplikowano herbicydy zawierające chlorotoluron i izoproturon, powschodowo, jesienią i na obiektach opryskiwanych wiosną po ruszeniu wegetacji stwierdzono, że aplikacja wiosenna powodowała (w większości przypadków) znaczący wzrost stężenia substancji czynnych herbicydów w glebie w stosunku do obiektów, na których herbicyd aplikowano jesienią. W przypadku zabiegów wykonanych wiosną, okres od aplikacji herbicydu do zbioru jest o około 5-6 miesięcy krótszy, co powoduje, że substancja czynna herbicydu nie zdąży się rozłożyć w takim stopniu, jak po zabiegu wykonanym jesienią. Okres od jesiennej aplikacji do zbioru pszenicy ozimej jest na tyle długi, by spodziewać się, że analiza chemiczna nie wykaze pozostałości w glebie lub ich stężenie będzie na poziomie oznaczalności metody analitycznej.

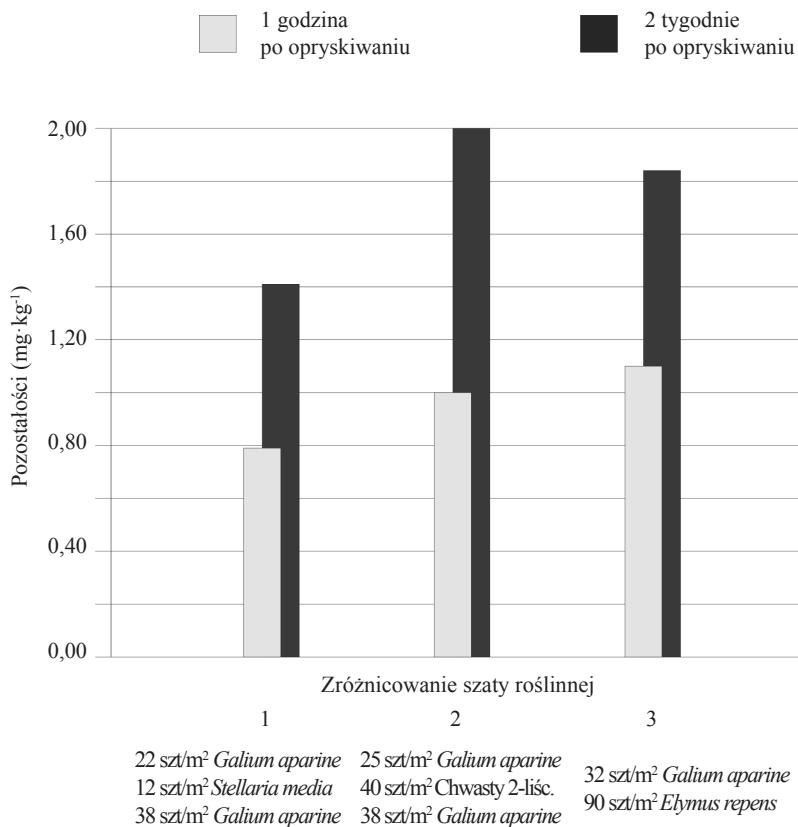
Jak wykazały przeprowadzone badania (2, 19), termin stosowania herbicydów może różnicować poziom pozostałości substancji czynnych w glebie, jednak głównym czynnikiem decydującym o wyborze odpowiedniego sposobu aplikacji jest skuteczność stosowanego środka w zwalczaniu chwastów.

Wpływ pokrywy roślinnej

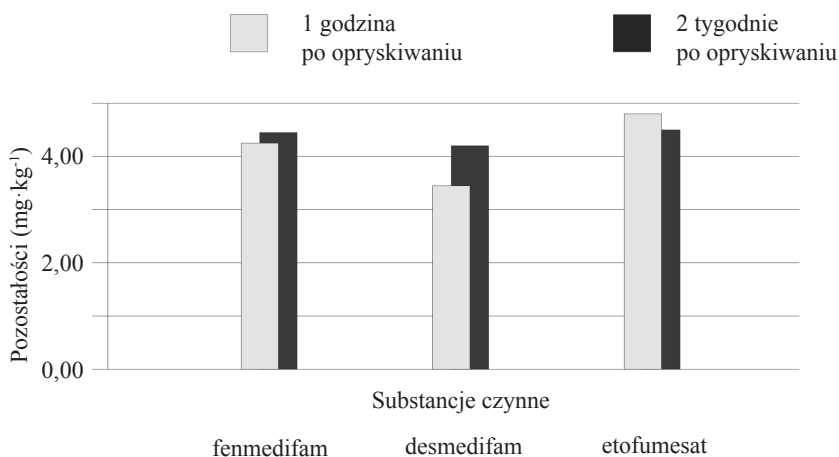
Różnice stanu i stopnia pokrycia gleby przez rośliny uprawne i chwasty w momencie aplikacji herbicydu powodują, że do gleby przedostają się różne ilości herbicydu. Różny jest też czas reakcji chwastów na działanie środka chwastobójczego, w zależności od substancji czynnej herbicydu i gatunku chwastów.

Krople cieczy użytkowej preparatu chwastobójczego padają na powierzchnię roślin i glebę. W przypadku niedostatecznej przyczepności do powierzchni rośliny część preparatu zostaje zmyta na glebę razem z kroplami rosy lub deszczu. Zróżnicowany stopień pokrycia gleby przez rośliny w momencie wykonywania zabiegu i właściwości cieczy użytkowej wpływają w znaczący sposób na ilość substancji czynnej, która dociera do powierzchni gleby. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki oznaczeń zawartości w glebie chlorotoluronu stosowanego w formie preparatu Dicuran 80 WP w uprawie pszenicy. W zależności od występujących gatunków chwastów i ich liczby, do gleby docierają różne ilości substancji czynnej, pomimo jednakowych dawek herbicydu. Różnice sięgają $0,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jeszcze większe zróżnicowanie poziomu pozostałości w glebie obserwowano 2 tygodnie po opryskiwaniu. We wszystkich przypadkach odnotowano wzrost zawartości chlorotoluronu w glebie spowodowany zmywaniem preparatu z roślin. Poziom pozostałości wzrastał nawet o $1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Efekt działania „parasola roślinnego” można zaobserwować również w innych uprawach. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki oznaczeń fenmedifamu, desmedifamu i etofumesatu stosowanych w formie preparatu Betanal Progress AM 180 EC w uprawie buraka cukrowego. W przypadku zastosowania tego herbicydu jednorazowo w dawce $6 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ w godzinę po aplikacji do gleby przedostaje się $4,21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fenmedifamu, $3,45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ desmedifamu i $4,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ etofumesatu. W uprawie buraka cukrowego zmywanie z powierzchni roślin jest znikome i po dwóch tygodniach odnotowano zwiększenie pozostałości fenmedifamu o $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, desmedifamu o $0,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a w przypadku etofumesatu nastąpiło zmniejszenie o $0,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

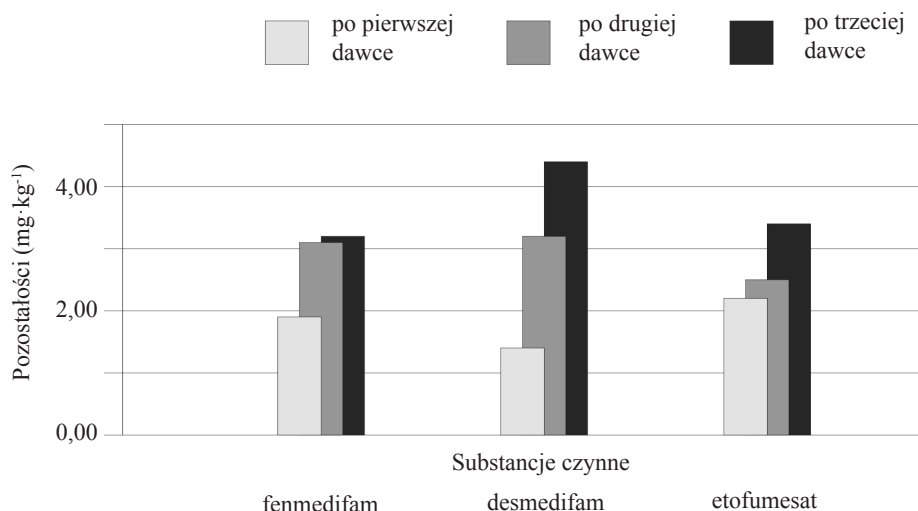


Rys. 4. Wpływ zróżnicowanej szaty roślinnej na pozostałości w glebie preparatu Dicuran 80 WP
 Źródło: badania własne



Rys. 5. Wpływ terminu aplikacji na pozostałości w glebie składników preparatu Betanal Progress AM 180 EC
 Źródło: badania własne

Bardzo wyraźny efekt działania okrywy roślinnej można zaobserwować, jeżeli herbicyd stosowany jest w kilku kolejnych zabiegach. Na rysunku 6 przedstawiono zmiany wielkości pozostałości w glebie po zastosowaniu herbicydu Betanal Progress AM 180 EC w trzech kolejnych zabiegach po $2,0 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ każdy. Opryskiwanie kolejnymi dawkami wykonywano w odstępach dwutygodniowych. Po zastosowaniu pierwszej dawki do gleby przedostało się: $1,90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fenmedifamu, $1,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ desmedifamu i $2,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ etofumesatu. Zastosowanie drugiej dawki spowodowało wzrost zawartości tych substancji do: $3,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fenmedifamu, $3,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ desmedifamu i $2,50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ etofumesatu. Trzecia dawka herbicydu spowodowała wzrost pozostałości do: $3,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fenmedifamu, $4,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ desmedifamu i $3,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ etofumesatu. Można zauważyć, że pomimo stosowania każdorazowo tej samej dawki herbicydu przyrost pozostałości w glebie maleje. Powodem tego jest wzrost roślin buraka. Kolejne zabiegi herbicydowe trafiają na coraz szczelniejszą pokrywę roślinną, która zatrzymuje na sobie krople preparatu. W przypadku stosowania dzielonych dawek herbicydu jedynie w pierwszym zabiegu do gleby docierają znaczne ilości preparatu. Kolejne zabiegi trafiają w większości na powierzchnię roślin. Jest to zjawisko korzystne zwłaszcza w przypadkach herbicydów o działaniu dolistnym. Herbicyd, który pozostał na roślinach wnika do ich wnętrza przez blaszki liściowe. Możliwe są również sytuacje, w których roślina nie pobiera substancji czynnej lub pobieranie jest znikome. Odporność rośliny na daną substancję determinują dwa czynniki: pobieranie i zdolność metabolizowania. Rośliny wrażliwe pobierają i nie metabolizują w dostatecznym stopniu i czasie substancji czynnej herbicydu. Następuje wówczas zakłócenie procesów życiowych i roślina ginie. Rośliny odporne nie pobierają lub pobierają i metabolizują substancję czynną herbicydu tak, by zniwelować jej wpływ na procesy życiowe. Opisany mechanizm powoduje, że poziom pozostałości w obu grupach roślin jest różny.



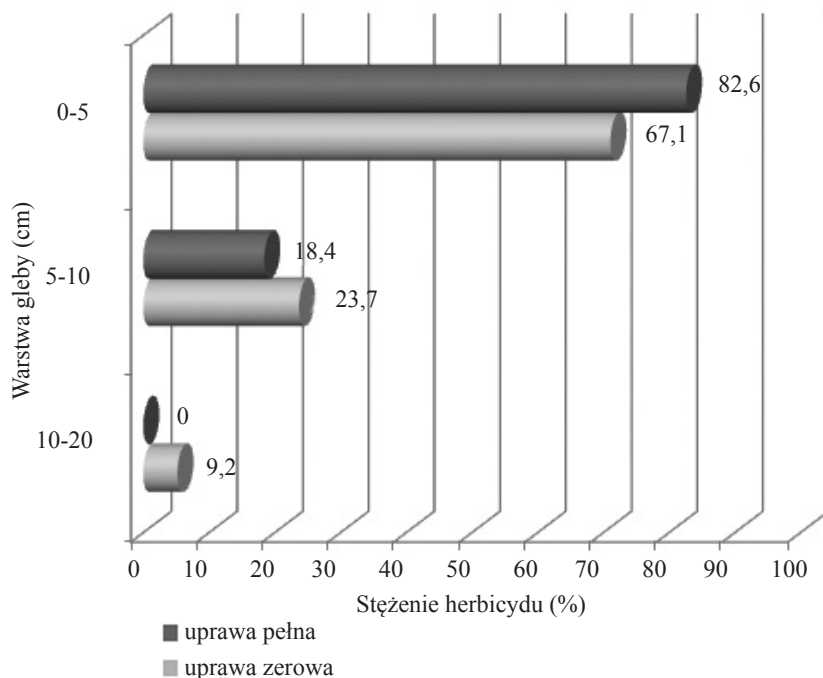
Rys. 6. Wpływ sposobu aplikacji na pozostałości w glebie preparatu Betanal Progress AM 180 EC

Źródło: badania własne

Uprawa roli

W ostatnich latach prowadzonych jest wiele badań nad ograniczeniem zabiegów uprawowych. Eliminacja lub znaczne ograniczenie uprawy gleby powoduje, że wykluczamy jeden z ważniejszych zabiegów ograniczających zachwaszczenie. Powoduje to, że musimy wprowadzić dodatkową ochronę chemiczną, co może mieć wpływ na wielkość oznaczanych pozostałości w glebie i materiale roślinnym. Z drugiej strony nienaruszanie struktury gleby powoduje, że zachowuje ona więcej wilgoci, a powstałe wcześniej kanaliki odprowadzające wodę służą przemieszczaniu się herbicydu w głąb profilu glebowego (poza strefę dostępu dla uprawianej rośliny). W tym przypadku oba efekty częściowo się znoszą, a wpływ ograniczeń uprawowych na pozostałości herbicydów nie jest jednoznaczny.

Dla oceny wpływu systemu uprawy na poziom i przemieszczanie się pozostałości herbicydu przeprowadzono doświadczenie, w którym wykorzystano glebę pobraną z pola podzielonego na dwie części. Jedną część pola uprawiano tradycyjnie z zastosowaniem orki, natomiast na drugiej części od trzech lat nie prowadzono zabiegów uprawowych, a roślina uprawna (kukurydza) była siana siewnikiem do siewu bezpośredniego. Próbkę gleby z warstwy 0-20 cm pobrane zostały z zachowaniem ich profilu próbnikiem rdzeniowym Van der Horst'a do kolumn. Na powierzchnię naniesiono (w stacjonarnej komorze opryskowej) herbicyd Emblem 20 WP (bromoksynil). Po 20 godzinach po aplikacji herbicydu w komorze deszczowania przeprowadzono zabieg symulujący opad atmosferyczny (intensywności opadów – $15 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$). Po upływie doby po deszczowaniu profile glebowe zostały wytlózczone i pocięte na fragmenty (0-5; 6-10 i 10-20 cm), w których oznaczono stężenie substancji czynnej herbicydu (analiza pozostałości). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w glebie poddawanej typowym zabiegom uprawowym, pod wpływem intensywnych opadów herbicyd jest mniej mobilny (wolniej przemieszcza się w profilu glebowym) – rys. 7. Taki mechanizm jest bardziej korzystny ze względu na fakt, że szczególnie herbicydy dogłębowe powinny stosunkowo wolno migrować w glebie. Istotna jest warstwa powierzchniowa gleby (0-5 cm), gdyż jest to strefa, z której rośliny kielkują i w pierwszym etapie wzrostu pobierają składniki. Dłuższe zaleganie herbicydu w tej warstwie gleby przyczynia się do lepszego pobrania substancji czynnej przez kielkujące rośliny (chwasty), co w efekcie końcowym podnosi skuteczność chwastobójczą herbicydu. Taki efekt ma również znaczenie proekologiczne, gdyż ograniczenie mobilności herbicydów w glebie zmniejsza ryzyko przedostawania się tych substancji do wód powierzchniowych i gruntowych, które stanowią potencjalne źródło wody pitnej. W przypadku gleby poddawanej zabiegom uprawowym nie stwierdzono obecności herbicydu w warstwie poniżej 10 cm.



Rys. 7. Wpływ sposobu uprawy roli na przemieszczanie herbicydu w profilu glebowym

Źródło: badania własne

Obecność innych agrochemikaliów

Na szybkość i przebieg rozkładu, jak również pozostałości końcowe (w glebie i roślinie uprawnej) ma wpływ obecność innych substancji chemicznych, znajdujących się już w glebie lub zastosowanych w zabiegu łączonym z herbicydem. Do substancji takich należą fungicydy, insektycydy, inne herbicydy, nawozy i adiuwanty. Wpływ poszczególnych związków na pozostałości herbicydu jest zróżnicowany. W wielu badaniach udowodniono, że łączne stosowanie herbicydów z innymi agrochemikaliami, a w szczególności z adiuwantami, powoduje zahamowanie rozkładu i wzrost pozostałości w glebie i roślinie uprawnej (13, 14).

Ograniczanie dawek herbicydów

W wielu krajach o zintensyfikowanym poziomie rolnictwa pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczenia stosowania środków ochrony roślin, a zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikają z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej, a związane są z wprowadzeniem nowej strategii w ochronie roślin, polegającej na zredukowaniu dawek oraz zmniejszeniu liczby zabiegów do niezbędnego minimum. Rozpoczęto intensywne badania naukowe, mające na celu wypracowanie (dla lokalnych warunków) właściwych metod umożliwiających

zmniejszenie zużycia środków, z jednoczesnym zachowaniem pożądanej skuteczności ich działania. Poszukiwanie rozwiązań proekologicznych ukierunkowane zostało w stronę zmian w asortymencie stosowanych herbicydów (nowa generacja substancji czynnych oparta o związki pochodne sulfonilomocznika, które stosowane są w dawkach rzędu 20-100 g·ha⁻¹, herbicydy wieloskładnikowe, itp.), zmian w technice i sposobie aplikacji środków chwastobójczych. Do najważniejszych działań umożliwiających redukcję sumarycznej dawki herbicydów wprowadzanej do środowiska należy wykorzystanie właściwości środków wspomagających (adiuwantów) oraz stosowanie systemu dawek dzielonych i mikrodawek.

Na podstawie uzyskanych wyników badań prowadzonych na plantacjach buraka cukrowego można stwierdzić, że stosowanie adiuwantów oraz systemu dawek dzielonych znacząco ogranicza sumaryczną ilość wprowadzanych do środowiska herbicydów bez straty poziomu skuteczności chwastobójczej i umożliwia obniżenie stężenia pozostałości tych substancji w glebie i korzeniach buraka nawet o 30-70%, w porównaniu z tradycyjnymi zabiegami ochrony roślin stosowanymi w tej uprawie (11, 19).

Podsumowanie

Jak przedstawiono powyżej elementy agrotechniki i warunki pogodowe wpływają na zachowanie się herbicydów w środowisku rolniczym i mogą być przyczyną zróżnicowania w wielkości pozostałości oznaczanych w glebie i materiale roślinnym. Znajomość tych zagadnień umożliwia wybór odpowiednich zabiegów agrotechnicznych w celu ograniczenia potencjalnego ryzyka wynikającego ze stosowania środków ochrony roślin. Decydującym elementem jest jednak przebieg pogody, na który nie mamy wpływu. Dzięki opisanym badaniom możemy z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć skutki (wpływ na pozostałości) wystąpienia konkretnych zjawisk pogodowych.

Na podstawie badań monitoringowych prowadzonych na plantacjach głównych upraw rolniczych nie stwierdzono, by w roślinach tych wykryto pozostałości substancji czynnych herbicydów, w stężeniu przekraczającym wartości dopuszczalne, podane w normach.

Przestrzeganie zaleceń producentów środków ochrony roślin, jak również zasad dobrej praktyki rolniczej, znacząco ogranicza możliwości wystąpienia zanieczyszczeń, tą grupą środków, gleby, czy produktów roślinnych.

Literatura

1. Allen R., Walker A.: Influence of soil properties on the degradation rates of metamilon, metazachlor and metribuzin in soil. *Pesti. Manag. Sci.*, 1987, **18**(2): 95-111.
2. Badoński M., Kucharski M.: Graminicydy w uprawie rzepaku ozimego - wpływ terminu aplikacji na skuteczność i pozostałości. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2010, **50**(2): 851-855.

3. B a d o w s k i M., K u c h a r s k i M.: Wpływ terminu aplikacji graminydów na poziom pozostałości i skuteczność chwastobójczą w uprawie rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste/Oilseed Crops*, 2004, **25(1)**: 151-157.
4. B o e s t e n J. J. T. I.: From laboratory to field: uses and limitations of pesticide behaviour models for the soil/plant system. *Weed Res.*, 2000, **40(1)**: 123-138.
5. F o r o u z a n g o h a r M., H a g h n i a G.H., K o o c h e k i A.: Organic amendments to enhance atrazine and metamitron degradation in two contaminated soils with contrasting textures. *J. Soil Contam.*, 2005, **14(4)**: 345-355.
6. G o w r i P., R a j k a n n a n B., J a y a k u m a r R., G e o r g e T.: Effect of soil properties on the persistence of fluchloralin. *Pestic. Res. J.*, 2006, **18(1)**: 95-97.
7. G r e e n h a l g h R.: Definition of persistence in pesticide chemistry. *Pure Appl. Chem.*, 1980, **52**: 2563-2566.
8. K u c h a r s k i M.: Degradation of phenmedipham in soil under laboratory conditions. *Veg. Crops Res. Bull.*, 2004, **60**: 63-70.
9. K u c h a r s k i M.: Pozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. *Pam. Puł.*, 2004, **138**: 89-97.
10. K u c h a r s k i M., B a d o w s k i M.: Pozostałości wybranych herbicydów w glebie i nasionach rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste/Oilseed Crops*, 2004, **25(1)**: 159-166.
11. K u c h a r s k i M., D o m a r a d z k i K.: Stosowanie adiuwantów z metamitronem w zabiegach przedwiosennych – wpływ na skuteczność chwastobójczą oraz pozostałości herbicydu w glebie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(1)**: 281-286.
12. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J.: Degradation of ethofumesate in soil under laboratory conditions. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2009, **18(2)**: 243-247.
13. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J.: Wpływ adiuwantów na mobilność i pozostałości herbicydów w glebie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 2007, **47(4)**: 58-61.
14. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J.: Wpływ adiuwantów na poziom pozostałości metamitronu i chlordazonu w glebie i roślinie buraka cukrowego. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(2)**: 885-887.
15. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J.: Wpływ wilgotności gleby na rozkład herbicydu – badania laboratoryjne. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 750-753.
16. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J., D o m a r a d z k i K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. *Mat. IX Konf. Nauk. IUNG „Efektywne i Bezpieczne Technologie Produkcji Roślinnej“*, IUNG-PIB Puławy, 2005: 193-195.
17. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J., D o m a r a d z k i K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 243-250.
18. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J., T r a j d o s J.: Rozkład metamitronu w glebie w zależności od formulacji i sposobu aplikacji herbicydu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2012, **52(1)**: 137-140.
19. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J., W u j e k B.: Wpływ systemu aplikacji herbicydów na pozostałości lenacylu w glebie i korzeniach buraka cukrowego. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2009, **49(4)**: 1868-1874.
20. P r z y b u l e w s k a K., N o w a k A., M a j c h r z a k A., R o l a H., R o l a J., K u c h a r s k i M.: Changes in the counts of main soil microflora taxonomic groups after multi-annual application of herbicides. *Ecol. Chem. Eng. A*, 2007, **14(8)**: 854-866.
21. P r z y b u l e w s k a K., N o w a k A., P r u c h n i e w i c z A., R o l a H., R o l a J., K u c h a r s k i M.: Changes in the number of main microflora physiological groups in soil after long-term herbicide application. *Ecol. Chem. Eng. A*, 2008, **15(6)**: 573-582.
22. R o l a H., R o l a J., K u c h a r s k i M., N o w a k A., P r z y b u l e w s k a K., D o m a r a d z k i K., M a j c h r z a k A.: Influence of fourth years of simazine application on plant cover and soil microorganisms. *Proc. 4th International Weed Science Congress*, Durban, Republic of South Africa, 2004: 82-83.

23. Rola H., Rola J., Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ 36-letniego stosowania atrazyny na florę segetalną i pozostałości w glebie. *Ann. UMCS, Sect. E*, 2000, vol. **LV**: 167-174.
24. Rola H., Rola J., Sadowski J., Kucharski M., Pietr S.: Influence of long-term application of triazine herbicides on ecosystem. *Proc. of 3rd International Weed Science Congress, Foz do Iguassu, Brazil, 2000*: 243-244.
25. Rola H., Sadowski J., Kucharski M.: Penetration of triazine herbicides into the soil profile after long term application. *Phytoparasitica*, 2000, **28(2)**: 170-178.
26. Sadowski J., Kucharski M., Domaradzki K.: Wpływ wilgotności gleby na wymywanie i rozmieszczenie w glebie pozostałości herbicydów z grupy fenoksyalkanokarboksyłowych. *Zesz. Nauk. PTIE i PTG*, 2010, **13**: 137-138.
27. Sadowski J., Kucharski M., Domaradzki K.: Wpływ wilgotności gleby na przemieszczanie herbicydów pochodnych fenoksykwasów. *Rocz. Glebozn.*, 2010, **61(4)**: 136-141.
28. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. *Biul. Nauk. UWM*, 2001, **12**: 23-32.
29. Sadowski J., Kucharski M., Wujek B.: Wpływ typu gleby na rozkład metazachloru. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2012, **52(2)**: 437-440.
30. Walker A., Allen R.: Influence of soil and environmental factors on pesticide persistence. *BCPC Monography*, 1984, **27**: 36-49.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Mariusz Kucharski
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław
tel.: 71 363 87 07
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl