

Mariusz Kucharski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ROLA ADIUWANTÓW W NOWOCZESNEJ OCHRONIE ROŚLIN*

Słowa kluczowe: adiuwant, herbicyd, zwalczanie chwastów, ochrona roślin, redukcja dawek

Wstęp

Mimo wielu obostrzeń, chemiczne metody walki z chorobami, szkodnikami i chwastami są nadal rozwijającym się elementem współczesnej agrotechniki. Poszukiwane są nowe rozwiązania umożliwiające wzrost skuteczności działania środków przy jednoczesnej redukcji obciążenia dla środowiska. Wprowadzane są innowacyjne techniki stosowania pestycydów uwzględniające zmiany w formulacji preparatów, konstrukcjach sprzętu opryskującego, aplikacji środków ochrony roślin w dawkach dzielonych, a także stosowanie substancji wspomagających – adiuwantów.

Adiuwant to słowo pochodzące z łaciny (*adiuvare – adiuvo*), oznacza pomoc, wzmacnianie. W rolnictwie, a dokładniej w dziedzinie ochrony roślin, adiuwantem nazywamy substancje modyfikujące właściwości biologiczne preparatu lub umożliwiające zmiany parametrów fizykochemicznych cieczy opryskowej. Adiuwanty mogą być zawarte w formie użytkowej środka ochrony roślin (mieszanina sformułowana na etapie produkcji) lub dodawane do zbiornika opryskiwacza (jako niezależny preparat). Stosowanie adiuwantów w zabiegach ochrony roślin nie jest niczym nowym. Pierwsze udokumentowane zastosowanie tego typu substancji przypada na przełom XIX i XX w. Od tego czasu wzrastało zainteresowanie adiuwantami. Obecnie światowym liderem w produkcji i zastosowaniu adiuwantów są kraje Ameryki Północnej – Stany Zjednoczone i Kanada. Roczna sprzedaż sięga tam 200 tys. ton. Dla porównania, w całej Europie roczne zapotrzebowanie na adiuwanty wynosi zaledwie 20 tys.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania I.6.2. pt. „Monitorowanie uodparniania się agrofagów na środki ochrony roślin oraz tworzenie programów redukcji ryzyka” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2024 r.

ton, w tym, w Polsce, ok. 1,7 tys. ton. W Polsce pierwszy adiuwant zarejestrowano w 1967 r. Głównym składnikiem pierwszych rejestrowanych adiuwantów były związki powierzchniowo czynne, tzw. surfaktanty (Praczyk 2001).

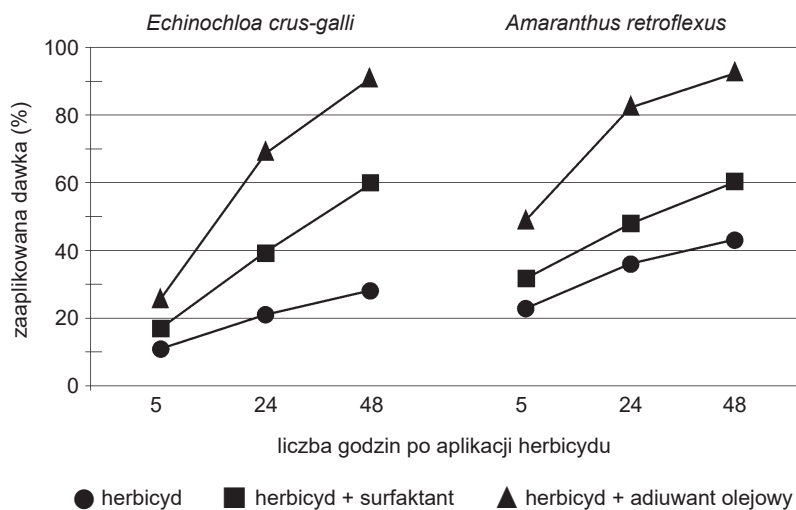
Generalnie adiuwanty można podzielić na dwie grupy w zależności od pełnionych przez nie funkcji. Są to adiuwanty aktywujące i modyfikujące. Główną funkcją adiuwantów aktywujących jest zwiększenie retencji – wzrost ilości i wydłużenie czasu zatrzymania cieczy użytkowej na powierzchni rośliny, zmniejszenie napięcia powierzchniowego pomiędzy polarnymi i niepolarnymi częściami naskórka liścia oraz zwiększenie absorpcji (wzrost wnikania składnika aktywnego preparatu do rośliny). Elementy te wpływają na poprawę aktywności biologicznej preparatów, poszerzenie spektrum ich działania oraz ograniczenie ujemnego oddziaływania czynników środowiska podczas wykonywania zabiegów. Zwiększa się stabilność działania pestycydu, zwłaszcza wówczas, gdy na polu występują patogeny średnio wrażliwe lub w późniejszych fazach rozwojowych, a warunki atmosferyczne (niska wilgotność powietrza i niska temperatura) nie sprzyjają działaniu preparatów.

Adiuwanty modyfikujące w mniejszym stopniu wpływają na aktywność środków ochrony roślin. Dzięki zmianie właściwości fizykochemicznych cieczy użytkowej umożliwiają dokładniejsze i bezpieczniejsze wykonanie zabiegu, mieszanie różnych składników ze sobą, ograniczają pienienie podczas przygotowania cieczy roboczej, znoszenie (dryft) preparatu poza strefę opryskiwania oraz korozję elementów konstrukcyjnych aparatury opryskującej.

Adiuwantami, które wspomagają działanie środków ochrony roślin są: surfaktanty (środki powierzchniowo czynne), oleje mineralne i roślinne, związki mineralne oraz tzw. adiuwanty wieloskładnikowe zawierające dwie lub więcej substancji aktywnych.

Najistotniejszą funkcją **surfaktantów** jest obniżenie napięcia powierzchniowego cieczy użytkowej, co powoduje wzrost absorpcji składnika czynnego oraz lepszą jego penetrację przez kutikulę liści. Zmniejszenie napięcia powierzchniowego cieczy roboczej wpływa na poprawę zwilżania powierzchni opryskiwanych liści (Knoche 1994, Rogiers 1995).

Następną grupą substancji chemicznych stosowanych jako adiuwanty są **oleje mineralne i roślinne** z dodatkiem ok. 15–20% emulgatora. Adiuwanty olejowe umożliwiają równomierne nanoszenie pestycydu na opryskiwaną powierzchnię, a także zwiększają absorpcję i translokację składnika aktywnego przez warstwę woskową liścia i błony komórkowe roślin (Adamczewski i Praczyk 1995, Stevens 1995). Przykład wpływu adiuwantów na proces absorpcji herbicydu w roślinach przedstawiono na rysunku 1. Szybkość procesu wnikania substancji czynnej herbicydu, jak też ilość zaabsorbowanej substancji znacząco wzrasta po zastosowaniu herbicydu z adiuwantami. W omawianym przykładzie większy wzrost obserwowanych parametrów występuje po zastosowaniu adiuwanta olejowego.



Rys. 1. Wpływ adiuwantów na szybkość wnikania substancji czynnej herbicydu do opryskiwanej rośliny

Źródło: badania własne

Funkcję adiuwantów spełniają również niektóre **sole nieorganiczne**, w szczególności związki zawierające w swej budowie kation amonowy NH_4^+ (np. siarczan amonu). Wzrost biologicznej aktywności środka stosowanego łącznie z substancjami zawierającymi jon amonowy tłumaczy się zniesieniem antagonistycznego działania soli rozpuszczonych w wodzie służącej do sporządzenia cieczy użytkowej oraz zwiększoną w tych warunkach przepuszczalnością błon komórkowych roślin (Beckett i Stoller 1991, Beckett i in. 1992).

Tradycyjne adiuwanty, szczególnie te, które posiadają tylko jeden składnik funkcyjny (surfaktant, olej czy kondycjoner wody), mają ograniczony, niekompletny zakres działania. Na przykład dobry surfaktant czy adiuwant olejowy może być niewystarczający, gdy do przygotowania cieczy opryskowej wykorzystujemy twardą wodę zawierającą duże ilości rozpuszczonych soli. W takich przypadkach uzasadnione jest tworzenie adiuwantów umożliwiających jednoczesne zabezpieczenie środka ochrony roślin przed wieloma czynnikami, które ograniczają jego działanie. Ścisła współpraca świata nauki i przemysłu agrochemicznego pozwoliła na opracowanie nowej grupy środków wspomagających ochronę roślin, tzw. **adiuwantów wielofunkcyjnych**. Adiuwanty takie, przykładowo zawierające w swym składzie środek powierzchniowo czynny, kondycjoner wody (np. siarczan amonu) i bufor pH, charakteryzują się wielofunkcyjnym działaniem w poprawie skuteczności działania herbicydów zawierających glifosat, bentazon, dikambę i fenoksykwasę (2,4-D, MCPA). Dzięki współdziałaniu

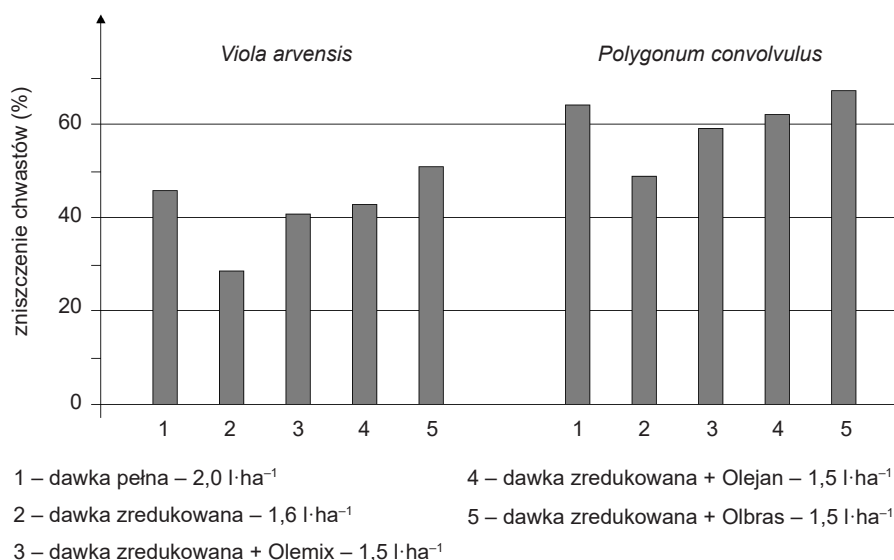
zawartych w nim składników, adiuwant szczególnie uwidacznia korzystne działanie w przypadkach, gdy do przygotowania cieczy opryskowej wykorzystuje się wodę o dużej zawartości kationów wapniowych (twarda woda), ponadto ułatwia zatrzymanie kropeł opryskowych (wzrost retencji) i wzmacnia wnikanie herbicydu do komórek chwastów (Woźnica i in. 2004).

Najnowszą grupą adiuwantów są tzw. **adiuwanty dedykowane**. W większości przypadków są to adiuwanty wielofunkcyjne, jednak kompozycja zawartych w nich składników umożliwia szczególne ukierunkowanie ich działania. Wśród preparatów obecnych w handlu lub będących na etapie badań możemy odnaleźć adiuwanty „dedykowane”, przeznaczone do np. fungicydów, insektycydów, do środków działających kontaktowo (adiuwanty lateksowe – sklejące) czy adiuwanty do herbicydów stosowanych przedwiosnowo – adiuwanty doglebowe (Kucharski i in. 2015, Zajązkowska i in. 2019).

Adiuwanty – wpływ na skuteczność herbicydów, pozostałości i jakość plonu

Od strony praktyki rolniczej najistotniejszy jest wpływ łącznego stosowania adiuwantów z herbicydami na skuteczność zwalczania chwastów, możliwość redukcji dawki, jakość plonu i ewentualne korzyści środowiskowe (Kucharski i in. 2012, 2013). Bazując na badaniach własnych i dostępnej literaturze, można stwierdzić, że odpowiednio dobrany adiuwant zwiększa aktywność biologiczną herbicydu, co przekłada się na skuteczniejsze zwalczanie chwastów, szczególnie tych średnio wrażliwych. W wielu przypadkach łączne stosowanie tych agrochemikaliów umożliwia redukcję dawki herbicydu bez utraty skuteczności chwastobójczej, co dodatkowo daje efekt ekonomiczny i środowiskowy. Obniżanie dawek herbicydów można stosować w przypadku, gdy zabiegi wykonywane są w optymalnych terminach i warunkach pogodowych przewidzianych w instrukcji stosowania. Nie należy natomiast obniżać dawek w przypadkach, gdy zabieg jest opóźniony (nieodpowiednia faza rozwojowa chwastów), występuje duże nasilenie chwastów lub warunki pogodowe nie sprzyjają działaniu preparatów (niska wilgotność powietrza, niska temperatura). W takich sytuacjach zastosowanie adiuwanta umożliwi zachowanie dobrej skuteczności działania bez konieczności wykonywania zabiegów uzupełniających lub zwiększania dawek.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki z oceny wpływu adiuwantów na skuteczność zwalczania fiołka polnego i rdestówki powojowatej w uprawie grochu. Zastosowanie adiuwantów pozwoliło na obniżenie dawki herbicydu o 20% bez utraty skuteczności zwalczania obu chwastów.



Rys. 2. Wpływ adiuwantów na skuteczność zwalczania chwastów herbicydem Basagran 600 SL na plantacji grochu

Źródło: badania własne

W innych badaniach oceniano skuteczność chwastobójczą oraz wpływ herbicydu zawierającego diflufenikan stosowanego w mieszaninie z adiuwantami w zabiegach przedwzchodowych na pozostałości i jakość ziarna pszenicy ozimej. Herbicyd zawierający diflufenikan (Legato 500 SC) stosowano samodzielnie w dawce pełnej (0,25 l·ha⁻¹) i zredukowanej (0,15 l·ha⁻¹) oraz w dawce zredukowanej łącznie z adiuwantem. W mieszaninie z herbicydem zastosowano trzy adiuwanty różnego typu: olejowy, surfaktant organosilikonowy oraz adiuwant wieloskładnikowy przeznaczony do zabiegów przedwzchodowych. Zabiegi herbicydowe wykonano jesienią, przed wschodami roślin pszenicy ozimej.

Fitotoksyczność zastosowanych mieszanin oceniano bonitacyjnie (w skali 1:9) 3–4 tygodnie po ich aplikacji oraz wiosną po ruszeniu wegetacji. Ponadto wiosną wykonano ocenę skuteczności chwastobójczej, wykorzystując metodę szacunkową, określającą procentowe zniszczenie chwastów w stosunku do obiektu kontrolnego. W pobranym w czasie zbioru ziarnie przeprowadzono analizy określające podstawowe parametry jakościowe surowca (MTZ, masa hektolitra, wyrównanie ziarna, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania, zawartość białka, popiołu i glutenu) oraz pozostałości substancji aktywnej herbicydu.

Badany herbicyd stosowany samodzielnie, jak też w mieszaninie z adiuwantami był selektywny dla roślin pszenicy ozimej (tab. 1). Herbicyd zastosowany w dawce pełnej powodował 90% zniszczenie chwastów. Obniżenie dawki preparatu o 40% spowodowało spadek skuteczności do 78%. Zastosowanie herbicydu w dawce zredukowanej z dodatkiem adiuwantów skutkowało poprawą jego skuteczności w porównaniu z samodzielną aplikacją, a uzyskane średnie zniszczenie chwastów (89–90%) kształtowało się na poziomie porównywalnym z tym, jakie uzyskano dla herbicydu stosowanego samodzielnie w dawce pełnej (tab. 1). Podobną zależność otrzymano w stosunku do plonu ziarna (tab. 2).

Próbki ziarna pszenicy ozimej, pobrane w czasie żniw, poddano analizie jakościowej. Wykazała ona, że stosowanie herbicydu samodzielnie, jak też w mieszaninie z adiuwantami nie wpłynęło istotnie na podstawowe parametry jakościowe plonu, takie jak: masa tysiąca nasion, wyrównanie ziarna, masa hektolitra, liczba opadania, wskaźnik sedymentacji oraz zawartość białka, glutenu i popiołu (tab. 2).

W ziarnie pszenicy ozimej wykonano również badania na obecność pozostałości diflufenikanu. W próbkach ziarna pochodzących z obiektów, na których zastosowano herbicyd w dawce pełnej stwierdzono pozostałości diflufenikanu na poziomie 0,0010 mg·kg⁻¹ (tab. 2). Redukcja dawki herbicydu powodowała również obniżenie stężenia pozostałości, które kształtowało się na poziomie 0,0004 mg·kg⁻¹. W przypadku zastosowania herbicydu w dawce zredukowanej z dodatkiem adiuwanta obserwowano wzrost pozostałości, jednak ich poziom był niższy od tego, jaki stwierdzono na obiektach z pełną dawką herbicydu (0,0005–0,0007 mg·kg⁻¹).

Tabela 1

Ocena skuteczności działania herbicydu w zależności od dawki i zastosowanego adiuwanta

Obiekt	Dawka (l·ha ⁻¹)	F (1:9)	Zniszczenie chwastów (%)						
			APESV	STEME	MATIN	GALAP	VIOAR	BRSNX	THLAR
Kontrola	–	1	8*	10*	6*	6*	15*	9*	7*
Legato 500 SC	0,25	1	92	93	91	96	90	78	92
Legato 500 SC	0,15	1	77	84	80	84	72	70	82
Legato 500 SC	0,15	1	89	90	92	93	87	80	93
+ Atpolan 80 EC	1,0								
Legato 500 SC	0,15	1	91	94	91	95	86	84	90
+ Slippa	0,15								
Legato 500 SC	0,15	1	94	91	88	94	91	85	89
+ BackRow	0,5								

F – fitotoksyczność – wrażliwość roślin na herbicyd w skali 1:9, gdzie:

1 – zniszczenie chwastów, brak działania na roślinę uprawną

9 – brak działania na chwasty, zniszczenie rośliny uprawnej

*dla kontroli podano liczbę chwastów na m²

APESV – *Apera spica-venti*; BRSNX – *Brassica napus*; GALAP – *Galium aparine*; MATIN – *Tripleurospermum inodorum*; STEME – *Stellaria media*; VIOAR – *Viola arvensis*; THLAR – *Thlaspi arvense*

Źródło: badania własne

Tabela 2

Pozostałości diflufenikanu i parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka (l·ha ⁻¹)	Pozostałości (mg·kg ⁻¹)	Parametry jakościowe								
			plon (t·ha ⁻¹)	białko (%)	gluten (%)	popiół (%)	MTN (g)	SR (%)	WN (%)	LO (s)	hL (kg·hl ⁻¹)
Kontrola	–	–	3,52	10,5	24,9	0,82	39,4	34,6	98,1	305	80,5
Legato 500 SC	0,25	0,0010	5,74	11,2	26,8	0,86	38,2	34,1	97,6	312	81,7
Legato 500 SC	0,15	0,0004	4,92	10,4	25,5	0,74	38,0	33,2	98,3	298	81,1
Legato 500 SC + Atpolan 80 EC	0,15 1,0	0,0007	5,64	11,1	24,7	0,91	39,2	34,8	97,8	302	80,2
Legato 500 SC + Slippa	0,15 0,15	0,0006	5,52	10,7	26,4	0,90	39,0	35,6	96,9	310	79,6
Legato 500 SC + BackRow	0,15 0,5	0,0005	5,60	10,5	25,9	0,76	38,7	33,8	97,3	304	81,3

MTN – masa tysiąca nasion (g); WN – wyrównanie ziarna (%); hL – masa hektolitra (kg·hl⁻¹); O – liczba opadania (s); SR – wskaźnik sedymentacji (%)

Źródło: badania własne

Adiuwanty doglebowe

Obecne uregulowania prawne dotyczące racjonalnego stosowania środków ochrony roślin z uwzględnieniem ryzyka dla ludzi i środowiska stały się impulsem do rozwoju badań nad nowymi adiuwantami wspierającymi działanie środków ochrony roślin. Do grupy adiuwantów „zdobywających” rynek środków wspomagających działanie herbicydów należą adiuwanty doglebowe. Wykorzystując dotychczasową wiedzę oraz poznane właściwości adiuwantów, stworzono nową grupę adiuwantów wieloskładnikowych stosowanych w zabiegach przedwzrostowych. Zaletą tych środków jest aktywacja najważniejszych cech, którymi powinien charakteryzować się dobry preparat doglebowy. Pierwszą z nich jest zatrzymanie substancji czynnej w wierzchniej warstwie gleby, co wydłuża czas pobierania przez kiełkujące chwasty. Natomiast druga cecha to spowolniony rozkład herbicydu w pierwszych dniach po zabiegu, a następnie stosunkowo szybki dalszy rozkład, który zapobiega występowaniu ewentualnych pozostałości i nie wpływa niekorzystnie na rośliny następcze w płodozmianie oraz nie powoduje innych negatywnych skutków dla środowiska (McMullan i in. 1998, Kucharski 2020).

Badania nad aktywnością nowych adiuwantów doglebowych, prowadzone między innymi w Zakładzie Herbológii i Technik Uprawy Roli (IUNG-PIB), dowodzą, że dzięki dodatkowi wspomagacza następuje częściowe zatrzymanie i spowolnienie przenikania herbicydu w głąb gleby, co wydłuża czas działania na chwasty będące już na polu, jak też na te, które dopiero zaczynają kiełkować. Taki efekt jest pożądany szczególnie w sytuacji, gdy niedługo po wykonaniu zabiegu herbicydowego występują niekorzystne warunki pogodowe, jak np. susza i niska temperatura powietrza. W takich

warunkach rozwój rośliny uprawnej i chwastów jest zahamowany lub znacząco spowolniony. Aplikowany herbicyd jest pobierany przez rośliny tylko w ograniczonych ilościach, a reszta ulega rozkładowi lub przemieszcza się w głąb profilu glebowego, poniżej strefy korzeniowej. Adiuwanty doglebowe zwiększają aktywność molekuł substancji czynnej herbicydu do tworzenia wiązań z cząstkami gleby, co ogranicza ich migrację i rozkład. Zaleganie herbicydu w powierzchniowej warstwie gleby, szczególnie w profilu 0–5 cm, wydłuża okres jego dostępności dla roślin. Proces ten nie wpływa jednak na zanieczyszczenie gleby, gdyż w powierzchniowej jej warstwie występują inne czynniki, jak: wyższa temperatura, dostęp światła, duża liczba mikroorganizmów glebowych itp., które sprzyjają rozkładowi.

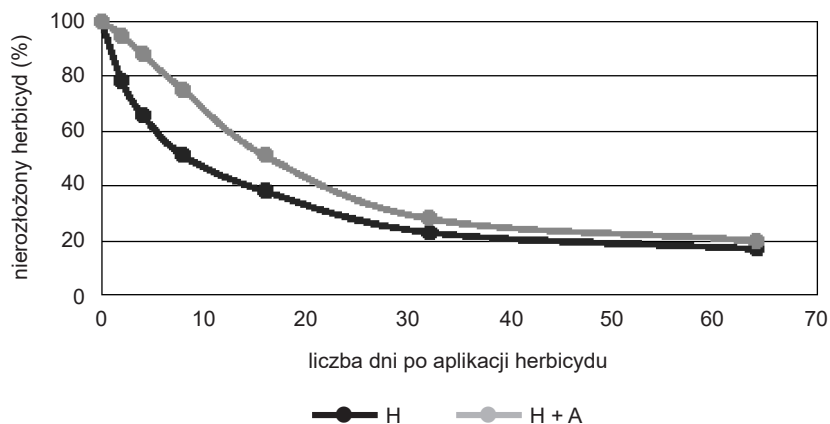
Zatrzymanie herbicydu w warstwie powierzchniowej gleby jest również korzystne w sytuacji, gdy po zabiegu herbicydowym występują obfite opady deszczu, które w normalnych warunkach (bez dodatku adiuwanta) powodują szybkie przemieszczanie herbicydu wraz z wodą opadową w głębsze warstwy gleby, niedostępne dla roślin. Wykorzystanie w adiuwantach doglebowych substancji powierzchniowo-czynnych umożliwia również równomierne pokrycie powierzchni gleby (tworzenie mikrofilmu), penetrację gruzełków, co ułatwia wnikanie herbicydu w strefę kiełkowania chwastów.

Na rysunkach 3 i 4 zilustrowano przykładowe wyniki badań dotyczące omawianych właściwości adiuwanta doglebowego nowej generacji.

W badaniu szybkości rozkładu porównywano dwa obiekty: glebę, na którą zaaplikowano sam herbicyd i glebę, gdzie zastosowano ten sam herbicyd, w takiej samej dawce, ale z dodatkiem adiuwanta doglebowego. Próbki do analizy pozostałości nierozłożonej substancji aktywnej pobierano w ustalonych odstępach czasu. Na podstawie uzyskanych wyników wykreślono krzywą rozkładu, czyli zależność stężenia herbicydu w glebie od czasu. Jak można zauważyć na rysunku 3, w początkowym okresie od aplikacji herbicydu dodatek adiuwanta znacząco spowalnia rozkład. Taką tendencję obserwujemy do ok. 30 dnia od momentu wykonania zabiegu. Następnie odnotowujemy przyspieszenie procesu i obie krzywe są do siebie zbliżone, co świadczy o tym, że po 60 dniach stężenie nierozłożonego herbicydu w obu obiektach jest podobne.

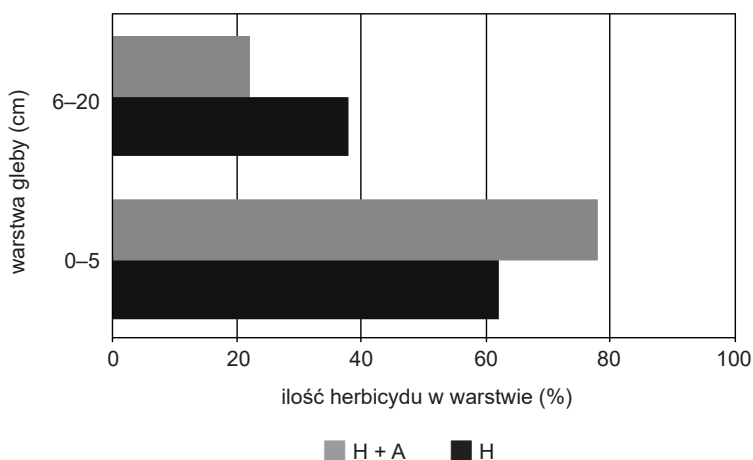
W drugim doświadczeniu laboratoryjnym oceniano przemieszczanie herbicydu w profilu glebowym. Próbki gleby z warstwy 0–20 cm zostały pobrane z zachowaniem ich profilu do kolumn, które ustawiono pionowo. Wykonano zabieg herbicydowy (tak samo jak w poprzednim doświadczeniu). Po 20 godzinach w komorze deszczowania przeprowadzono zabieg symulujący opad atmosferyczny (intensywność opadu – $20 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$). Po upływie doby od deszczowania profile glebowe zostały wytłoczone i przecięte na dwie części (0–5 i 6–20 cm), w których oznaczono stężenie substancji aktywnej herbicydu.

Zastosowanie adiuwanta doglebowego spowodowało, że w powierzchniowej warstwie gleby pozostało 78% zaaplikowanej dawki herbicydu (rys. 4). Po zastosowaniu samego herbicydu (bez adiuwanta) stwierdzono, że aż 38% dawki początkowej, pod wpływem intensywnych opadów, zostało przemieszczone poniżej strefy kiełkowania roślin (poniżej 5 cm).



Rys. 3. Rozkład herbicydu w glebie (H – herbicyd; A – adiuwant doglebowy)

Źródło: badania własne



Rys. 4. Przemieszczanie herbicydu w glebie (H – herbicyd; A – adiuwant doglebowy)

Źródło: badania własne

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że łączna aplikacja herbicydu z adiuwantem w zabiegu doglebowym umożliwia spowolnienie rozkładu oraz ograniczenie przemieszczania herbicydu w głąb profilu glebowego. Dzięki temu wzrasta skuteczność chwastobójcza herbicydu. Stosowanie adiuwantów doglebowych ma również znaczenie proekologiczne, gdyż ograniczenie mobilności herbicydów w glebie redukuje ryzyko przedostawania się tych substancji do wód powierzchniowych i gruntowych, które stanowią potencjalne źródło wody pitnej.

Sklejacze – adiuwanty dedykowane

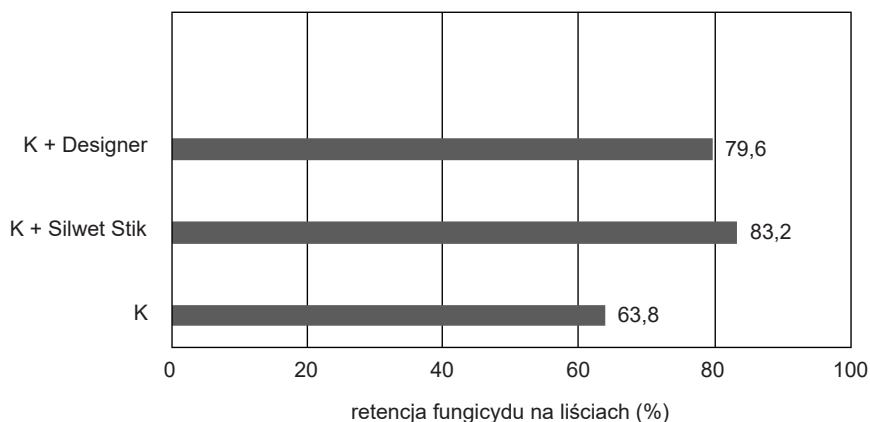
W ostatnich latach prowadzono wiele badań nad nowymi, wyspecjalizowanymi adiuwantami dedykowanymi do odpowiednich zabiegów. Przykładem może być grupa wspomagaczy o właściwościach sklejących, często zawierających w swym składzie dodatek syntetycznego lateksu (Gaskin i in. 2014). Środki sklejące są stosowane np. w uprawie rzepaku przed zbiorem. Sklejanie łuszczyn zapobiega osypywaniu się nasion, co wpływa na wielkość zebranego plonu i zdecydowane ograniczenie (plon utracony) następczego zachwaszczenia uprawy samosiewami rzepaku. Dodatek lateksu ma również zastosowanie w produkcji substancji wspomagających (adiuwantów) przeznaczonych do pestycydowych zabiegów nalistnych w celu ograniczenia zmywania substancji aktywnej z liści roślin, szczególnie w okresie wystąpienia intensywne opadów atmosferycznych niedługo po wykonaniu zabiegu (Gent i in. 2003, Foster i in. 2006). W takich sytuacjach czas przebywania środka na powierzchni rośliny znacząco wpływa na jego skuteczność. Przebieg pogody, a szczególnie zmiany obserwowane w ostatnich latach narażają rolników na trudności wynikające z częstych, występujących lokalnie, trudnych do przewidzenia, intensywnych opadów deszczu. W praktyce, jeżeli opad wystąpi niedługo po wykonaniu zabiegu, może spowodować utratę skuteczności i narazić farmera na dodatkowe koszty powtórnego zabiegu, a środowisko i konsumenta na ryzyko zanieczyszczenia produktu i gleby. Zmniejszenie retencji ogranicza wnikanie substancji aktywnej do rośliny (preparaty o działaniu układowym) lub działanie środka na powierzchni (np. fungicydy o działaniu kontaktowym), co w efekcie osłabia skuteczność ochrony przed agrofagami (Thacker i Young 1999, Gent i in. 2003).

W doświadczeniu prowadzonym w warunkach laboratoryjnych oceniano wpływ adiuwantów zawierających w swym składzie dodatek syntetycznego lateksu (Silwet Stik i Designer) na retencję fungicydu Captan 80 WG na powierzchni liści jabłoni po symulowanym opadzie deszczu (Zajązkowska i in. 2019).

Brak różnic w stężeniu kaptanu w próbkach pobranych po zabiegu fungicydowym, niepoddanych deszczowaniu, potwierdził, że zastosowany fungicyd o działaniu kontaktowym w okresie trwania doświadczenia nie uległ rozkładowi i nie wniknął do liści. Symulowane opady deszczu spowodowały, że 30–36% fungicydu zostało zmytych z powierzchni liści jabłoni. Zastosowanie adiuwanta z dodatkiem lateksu (Silwet Stik i Designer) powodowało wzrost retencji kaptanu na powierzchni liści jabłoni w porównaniu z obiektem kontrolnym (sam fungicyd) o 16–19%. Uzyskane wyniki zamieszczono na rysunku 5, gdzie retencję kaptanu wyrażono jako procent stężenia początkowego oznaczonego przed symulacją opadów deszczu.

Dotychczasowe badania licznych autorów (Thacker i Young 1999, Gaskin i Steele 2009, Gaskin i in. 2014) również potwierdziły korzystny wpływ dodatku adiuwantów lateksowych na wzrost retencji pestycydu, czy też nawozów płynnych na powierzchni rośliny. Dodatek syntetycznego lateksu lub związków terpenowych

powodował, że pod wpływem promieni UV następowała polimeryzacja wiążąca agrochemikalia na powierzchni rośliny. Powstała błona utrudniała zmywanie preparatu przez okres kilku dni, a następnie ulegała biodegradacji (Gaskin i Steele 2009).



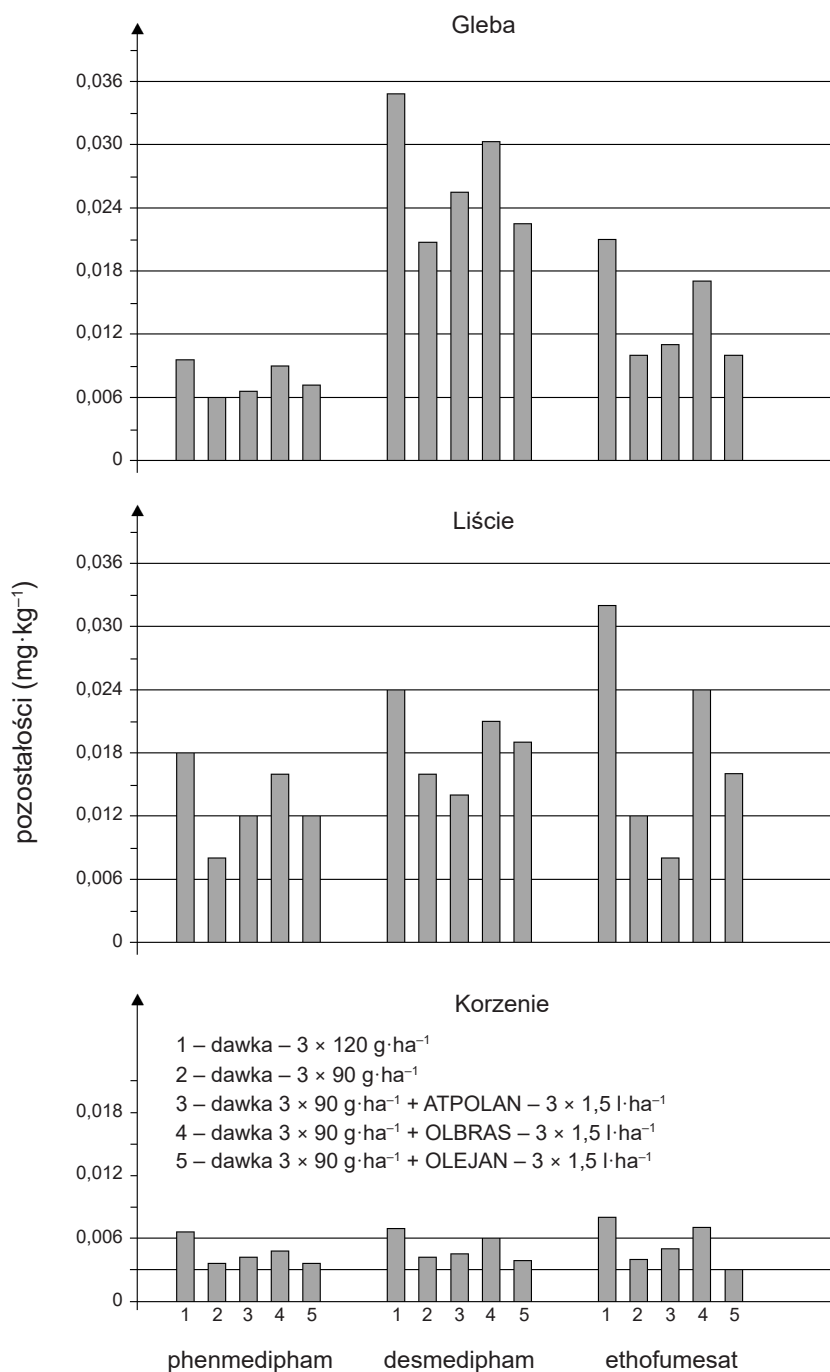
Rys. 5. Zatrzymanie fungicydu na liściach jabłoni

Źródło: badania własne

Wpływ adiuwantów na zachowanie się herbicydów w środowisku

W wielu krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych prowadzone są badania mające na celu określenie wpływu, jaki stosowane agrochemikalia (w zależności od warunków pogodowych, glebowych i sposobu aplikacji) wywierają na środowisko wodne, glebowe i roślinne (stężenie pozostałości, dynamika rozkładu) (Horbowicz i Dobrzański 1987). Do tych prac należą również badania nad wpływem substancji wspomagających (adiuwantów).

Wyniki uzyskane z doświadczeń polowych (Kucharski i Sadowski 2009, Kucharski i in. 2011) wskazują, że w ok. 50–70% prób gleby i materiału roślinnego stwierdzono nieznaczny wzrost stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów po zastosowaniu ich z adiuwantami w porównaniu z obiektami, gdzie aplikowano sam herbicyd. Nie stwierdzono jednak, by dodatek adiuwantów powodował tak wysoki wzrost pozostałości, by doszło do przekroczenia dopuszczalnych stężeń pozostałości określonych w normach (NDP). Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe wyniki analiz pozostałości trzech substancji aktywnych herbicydów badanych w glebie, liściach i korzeniach buraka cukrowego (Kucharski 2003, Kucharski i in. 2004). W doświadczeniu tym herbicydy aplikowane były w dawce pełnej, rekomendowanej oraz w dawce obniżonej zarówno bez dodatku adiuwantów, jak i z ich domieszką. Dodatek adiuwanta powodował niewielki wzrost oznaczanych pozostałości, jednak zawsze poziom pozostałości był niższy od tego, który stwierdzono w przypadku zastosowania pełnych, rekomendowanych dawek herbicydów (bez adiuwanta).



Rys. 6. Wpływ adiuwantów na poziom pozostałości w glebie, liściach i korzeniach buraka cukrowego
 Źródło: badania własne

Adiuwanty, trafiając do gleby, mogą powodować zmianę jej właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Skutkiem tego zmienia się penetracja i pojemność wodna gleby oraz mobilność czy trwałość herbicydu (Bayer i Foy 1982). Stwierdzono, że dodatek adiuwanta powoduje zmniejszenie mobilności herbicydów w profilu glebowym, co może powodować wzrost poziomu pozostałości w warstwie ornej. Z drugiej zaś strony szybkość rozkładu wielu substancji aktywnych w tej warstwie gleby uzależniona jest od warunków pogodowych (wyższa temperatura i wilgotność gleby sprzyja szybszemu rozkładowi). Badania laboratoryjne i polowe wykazały, że dodatek adiuwanta spowalnia proces rozkładu wielu substancji aktywnych herbicydów, np.: trifluraliny (Swarcewicz 1996), atrazyny (Kostowska i Sadowski 1992) i fenmedifamu (Kucharski 1998) w glebie. Przebieg tego procesu jest różny w zależności od badanych substancji aktywnych i rodzaju adiuwanta, a także od warunków, w których odbywały się doświadczenia (szklarnia i pole).

Podsumowanie

Wiele badań wskazuje, że łączne stosowanie pestycydów z adiuwantami pozwala na zmniejszenie dawki preparatu o ok. 20–30% bez utraty skuteczności działania. Takie rozwiązanie umożliwia redukcję kosztów poniesionych na zakup środków chemicznych, jak również powinno ograniczyć ryzyko występowania pozostałości substancji aktywnych preparatów w glebie i uprawianej roślinie lub znacząco zredukować ich poziom. Nie należy jednak samowolnie ustalać dawek adiuwantów. Dawka, którą ustalił producent była wielokrotnie testowana. Spośród wielu dawek wybrano najbardziej optymalną, dającą najlepsze efekty. Zmniejszenie lub zwiększenie ilości adiuwanta może przynieść skutek odwrotny, tzn. pogorszyć efektywność stosowanego środka ochrony roślin. Należy również pamiętać, że nie ma adiuwantów uniwersalnych – do wszystkiego. Pod tym względem problemem jest brak konieczności prowadzenia badań rejestracyjnych czy choćby istnienia bazy zastosowań adiuwantów uwzględniającej preparaty i uprawy, w których są zalecane. Konkretny adiuwant może doskonale wspomagać działanie jednego lub grupy preparatów, natomiast w przypadku zastosowania z innymi nie obserwuje się żadnych różnic lub co gorsze, występuje efekt antagonistyczny, czyli pogorszenie skuteczności działania. Takim przykładem mogą być adiuwanty zawierające substancje obniżające pH cieczy opryskowej (zakwaszające). Jest to efekt pozytywny w przypadku wielu fungicydów, natomiast zastosowanie tych substancji z herbicydami z grupy pochodnych sulfonilomocznika, glifosatu czy fenoksykwasów powoduje znaczące obniżenie skuteczności działania.

Obecny trend w ograniczaniu stosowania chemicznych środków w ochronie roślin jest siłą napędową w badaniach i wprowadzaniu na rynek rolniczy nowych środków wspomagających, szczególnie tych dedykowanych konkretnym zastosowaniom. Przykładem mogą być substancje umożliwiające zatrzymanie wilgoci w glebie (okresy suszy) czy preparaty ograniczające wymywanie składników odżywczych

z wierzchniej warstwy gleby – łączne stosowanie nawozów z adiuwantami (Kucharski i Sienkiewicz-Cholewa 2023)

Literatura

1. Adamczewski K., Praczyk T.: Rape seed oil as a herbicide adjuvant in Poland. Proc. 4th Internat. Symp. Adjuvants for Agrochemicals, Melbourne, 1995, p. 374-378.
2. Bayer D.E., Foy C.L.: Action and fate of adjuvants in soils. Weed Science, 1982, **34**: 84-92.
3. Beckett T.H., Stoller E.W.: Effect of methylammonium and urea ammonium nitrate on foliar uptake of thifensulfuron in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science, 1991, **39**: 333-338.
4. Beckett T.H., Stoller E.W., Bode L.E.: Quizalofop and setoxydim activity as affected by adjuvants and ammonium fertilizers. Weed Science, 1992, **40**: 12-19.
5. Foster D.K., Taylor W.A., Parsons R.G.: Effects of adjuvants on the deposition, retention and efficacy of pesticides. Aspects of Applied Biology, 2006, **77(1)**: 127-132.
6. Gaskin R.E., Manktelow D.W.L., Northcott G.L.: Effects of adjuvants on distribution and rainfastness of captan sprays on apple leaf scars to control European canker. New Zealand Plant Protection, 2014, **67**: 139-144.
7. Gaskin R.E., Steele K.D.: A comparison of sticker adjuvants for their effects on retention and rainfastening of fungicide spray. New Zealand Plant Protection, 2009, **62**: 339-342.
8. Gent D.H., Schwartz H.F., Nissen S.J.: Effect of commercial adjuvants on vegetable crop fungicide coverage, absorption, and efficacy. Plant Disease, 2003, **87**: 591-597.
9. Horbówicz M., Dobrzański A.: Dynamika zanikania pozostałości chizalofopu etylowego w buraku ćwikłowym, pietruszce i truskawkach. Mat. **27** Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin, 1987, s. 211-214.
10. Knoche M.: Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. Weed Research, 1994, **34**: 221-239.
11. Kostowska B., Sadowski J.: The influence of adjuvants on atrazine degradation in plants and soil. Mat. **32** Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin, 1992, p. 260-267.
12. Kucharski M.: Influence of herbicide and adjuvant application on residues in soil and plant of sugar beet. Journal of Plant Protection Research, 2003, **43(3)**: 225-232
13. Kucharski M.: Nowa generacja wieloskładnikowych adiuwantów doglebowych w ochronie roślin. Badania polowe i laboratoryjne. Przemysł Chemiczny, 2020, **99(4)**: 577-580.
14. Kucharski M.: Wpływ herbicydów stosowanych łącznie z adiuwantami na poziom ich pozostałości w buraku cukrowym. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 1998, **38(2)**: 602-605.
15. Kucharski M., Kalitowska O., Wujek B.: Nowe środki wspomagające chemiczną ochronę roślin. Przemysł Chemiczny, 2015, **94(3)**: 397-399.
16. Kucharski M., Sadowski J.: Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil environment. Polish Journal of Agronomy, 2009, **1**: 32-36.
17. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Wpływ adiuwantów na pozostałości metatitronu stosowanego przed- i powstchodowo w uprawie buraka cukrowego. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 2004, **44(2)**: 887-889.
18. Kucharski M., Sadowski J., Kalitowska O.: Wpływ terminu aplikacji oraz dodatku adiuwanta na pozostałości chlorotoluronu i jakość ziarna pszenicy ozimej. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 2013, **53(2)**: 379-385.
19. Kucharski M., Sadowski J., Kieloch R.: Adiuwanty w zabiegach przedwstchodowych – wpływ na skuteczność diflufenikanu i jakość ziarna pszenicy ozimej. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 2012, **52(1)**: 51-54.

20. Kucharski M., Sadowski J., Wujek B., Trajdos J.: Influence of adjuvant addition on lenacil residues in plant and soil. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **5**: 39-49.
21. Kucharski M., Sienkiewicz-Cholewa U.: Wpływ adiuwantów na mobilność azotu i herbicydów w glebie. *Przemysł Chemiczny*, 2023, **102(4)**: 376-380.
22. McMullan P.M., Thomas J.M., Volgas G.: HM9679 – A spray adjuvant for soil-applied herbicides. *Proc. 5th Intern. Symp. Adjuvants for Agrochemicals*, Memphis, USA, 1998, p. 285-290.
23. Praczyk T.: Rozwój badań i zastosowań adiuwantów w Polsce. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 2001, **41(1)**: 110-113.
24. Rogers L.M.: New trends in the formulation of adjuvants. *Proc. 4th Intern. Symp. Adjuvants for Agrochemicals*, Melbourne, Australia, 1995, p. 1-10.
25. Stevens P.J.G.: Organosilicones as adjuvants for graminicides. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. Weeds*, 1995, **2**: 757-763.
26. Szwarczewicz M.: Wpływ adiuwantów olejowych na trwałość trifluraliny w glebie lekkiej. *Zeszyty Naukowe AR Szczecin*, 1996, **173(63)**: 211-217.
27. Thacker J.R.M., Young R.D.F.: The effects of six adjuvants on the rainfastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. *Pesticide Science*, 1999, **55**: 198-218.
28. Woźnica Z., Idziak R., Szewczyk R.: Nowy, wielofunkcyjny adiuwant do herbicydów opartych na glifosacie. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 2004, **44**: 531-537.
29. Zajączkowska O., Kaczmarek D., Kucharski M.: Wpływ adiuwantów zawierających lateks na retencję fungicydu kaptan na liściach jabłoni. *Przemysł Chemiczny*, 2019, **98(1)**: 79-81.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Mariusz Kucharski
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61,
50-540 Wrocław
tel. 81 47 86 856
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl

AUTOR	ORCID
Mariusz Kucharski	0000-0001-7631-2084