

## Szymon Pelczar

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,  
Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami

# SKAŻENIE ŚRODOWISKA WYNIKAJĄCE ZE STOSOWANIA ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN. PRACA PRZEGLĄDOWA

**Streszczenie:** Idea społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR) może być wdrażana także w rolnictwie, które jest istotnym sektorem gospodarki w Polsce. W tym kontekście zasadne jest badanie oddziaływania na środowisko substancji chemicznych stosowanych w tej branży. Jednym z ich rodzajów są środki ochrony roślin, szeroko wykorzystywane przez rolników. Pomimo zalet ich stosowania wywierają one również niekorzystny wpływ na środowisko. Praca jest wynikiem analizy literatury naukowej, a jej cel stanowi podkreślenie najważniejszych aspektów wielopoziomowego oddziaływania tej grupy pestycydów na komponenty środowiska. Omówiono wpływ środków ochrony roślin na glebę, wody gruntowe, podziemne i powierzchniowe, organizmy lądowe i wodne, a także na człowieka. We wnioskach wskazano kierunek polityki Unii Europejskiej zmierzającej do ograniczenia stosowania tych substancji oraz potencjalne sposoby minimalizacji ryzyka środowiskowego.

**Słowa kluczowe:** środki ochrony roślin, zrównoważony rozwój, rolnictwo, wpływ człowieka na środowisko, CSR

## 1. WSTĘP

Rolnictwo stanowi istotną część gospodarki, a zarazem fundament, na którym opiera się bezpieczeństwo żywnościowe współczesnego społeczeństwa. Intensyfikacja produkcji rolniczej, która nastąpiła w XX wieku, była możliwa dzięki mechanizacji, chemizacji, a także postępowi w naukach rolnych [1]. Rozwój rolnictwa wywarł duży wpływ na środowisko, w szczególności w wyniku zajmowania przez nie nowych obszarów. Skutkowało to zmniejszeniem się bioróżnorodności spowodowanym przekształcaniem pierwotnych habitatów w tereny rolnicze. Wskazane przemiany w strukturze użytkowania gruntów następowały najszybciej w historii ludzkości od lat 50. XX wieku. Dowodem na to jest fakt, że więcej powierzchni Ziemi (w skali globalnej) zostało przekształconych w systemy uprawne w latach 1950–1980 niż w okresie 1700–1850 [2].

Głównym sposobem użytkowania terenu w granicach Unii Europejskiej jest kierunek rolniczy. Użytki rolne stanowią 39,1% powierzchni Wspólnoty [3]. Polska pod tym względem wykazuje znaczne odchylenie od średniej europejskiej, ponieważ 59,86% powierzchni geodezyjnej kraju stanowią użytki rolne [4]. Poza tym, że rolnictwo, powodując zmianę sposobu użytkowania gruntów, znacząco wpływa na krajobraz, oddziałuje też na czystość

wód, powietrza oraz gleby. Omawiana gałąź gospodarki odpowiada również za zatrudnienie ok. 13% pracujących w Polsce i wytwarzanie ok. 3,6% PKB [5].

Historia zastosowania środków chemicznych w rolnictwie, a w szczególności środków ochrony roślin, będących przedmiotem niniejszego opracowania, sięga lat 50. ubiegłego wieku. Ówczesna wiedza o pestycydach nie była pełna, przez co nie zdawano sobie sprawy z negatywnych skutków, jakie ich stosowanie niesie dla środowiska oraz zdrowia człowieka [6]. Wykorzystywanie środków chemicznych pozwala na zaspokojenie zwiększających się potrzeb żywnościowych świata, jednak stwarza również problemy związane z ich oddziaływaniem na środowisko.

Mając na uwadze zarówno wpływ rolnictwa na środowisko, jak i aspekty ekonomiczno-społeczne działalności rolniczej, można wskazać, że wdrażanie idei społecznej odpowiedzialności biznesu w tym sektorze gospodarki jest zasadne, w szczególności pod względem racjonalnego stosowania środków chemicznych. Niniejszy artykuł ma na celu określenie wpływu powszechnie stosowanych we współczesnym rolnictwie środków ochrony roślin na środowisko. Na potrzeby artykułu została przeanalizowana literatura naukowa odnosząca się do tej tematyki. Głównym celem artykułu jest uzupełnienie oraz usystematyzowanie wiedzy o wpływie środków ochrony roślin na całość środowiska.

## 2. OMÓWIENIE TEMATYKI

### 2.1. ŚRODKI OCHRONY ROŚLIN

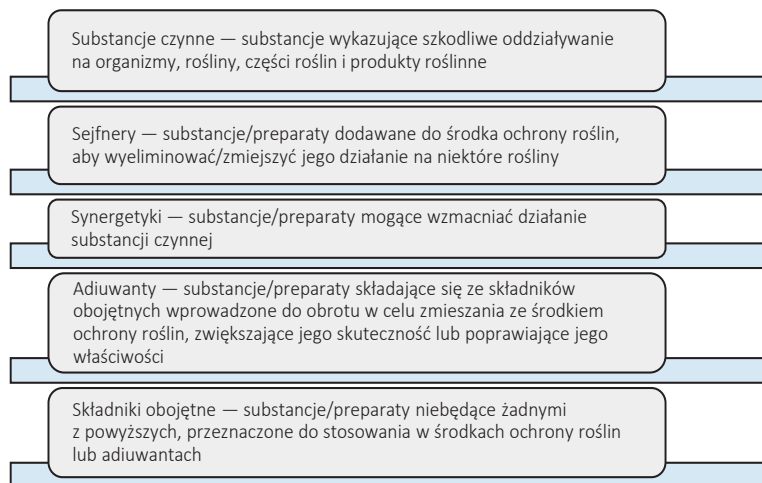
Obszerną definicję środków ochrony roślin zawiera rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z 2009 r. [7]. Do polskiego prawa implementuje je ustawa o środkach ochrony roślin [8]. Parafrazując definicję zawartą w tych aktach prawnych, można powiedzieć, że środki ochrony roślin to substancje chemiczne, które są przeznaczone do jednego z następujących zastosowań:

- ochrona roślin (lub produktów roślinnych) przed wszelkimi organizmami szkodliwymi lub zapobieganie działaniu takich organizmów;
- wpływanie na procesy życiowe roślin;
- zabezpieczenie produktów roślinnych (o ile substancje te nie podlegają przepisom dotyczącym środków konserwujących);
- niszczenie niepożądanych roślin lub części roślin;
- hamowanie niepożądanego wzrostu roślin lub zapobieganie mu.

Najważniejszym składnikiem omawianych środków są substancje czynne, czyli takie, których działanie przynosi jeden z przytoczonych powyżej skutków. Rodzaje substancji i preparatów, które mogą być składnikiem środków ochrony roślin, zostały zaprezentowane na schemacie (rys. 1).

Warto podkreślić, że środki ochrony roślin nie stanowią synonimu określenia „pestycydy”. Są to różne pojęcia, ponieważ słowo „pestycydy” jest szersze i zawierają się w nim wszelkie substancje stosowane do zwalczania, likwidowania i zapobiegania pojawianiu się organizmów, które uznawane są za szkodliwe, czyli zarówno środki ochrony roślin, jak i produkty biobójcze. Różnicą pomiędzy tymi grupami jest zakres działania. Pierwsze używane są wyłącznie w rolnictwie, ogrodnictwie, parkach i ogrodach. Produkty biobójcze natomiast

znajdują zastosowanie w pozostałych obszarach, m.in. do dezynfekcji lub ochrony różnych materiałów (m.in. drewna, konstrukcji murowanych) [9, 10].



**Rysunek 1.** Składniki środków ochrony roślin

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]

Obecnie (listopad 2022) dopuszczonych do obrotu jest 2585 środków ochrony roślin, a liczba podmiotów, które uzyskały zezwolenie na wprowadzenie do obrotu danego środka, wynosi 420 [10]. Substancje te można sklasyfikować pod względem kierunku działania danego środka, rozumianego jako eliminacja wybranego rodzaju agrofagów i szkodników lub skutek zastosowania w postaci wpływu na procesy życiowe roślin uprawnych. Dana substancja czynna może wykazywać działanie toksyczne na więcej niż jedną grupę agrofagów (tab. 1).

**Tabela 1.** Klasyfikacja środków ochrony roślin pod względem kierunku działania

Rodzaj środka	Kierunek działania	Przykładowe substancje czynne
akarycyd	ochrona przed roztoczami	bifenazat, chlofentezyna, milbemektyna
akarycyd, fungicyd, insektycyd	ochrona przed roztoczami, grzybami i owadami	olej z pomarańczy (jedyna substancja stosowana obecnie w tej grupie w Polsce)
akarycyd, insektycyd	ochrona przed roztoczami i owadami	abamektyna, olej parafinowy
atrakant	środki wabiące	(E,E)-8,10-dodekadieno-1-ol, octan (Z)-11-tetradeceno-1-ylu
bakteriocyd, fungicyd	ochrona przed bakteriami i grzybami	miedź w postaci wodorotlenku miedzi(II) i tlenochlorku miedzi

Tabela 1 cd.

Rodzaj środka	Kierunek działania	Przykładowe substancje czynne
środek chwastobójczy	ochrona przed chwastami	nikosulfuron, pendimetalina, diflufenikan
dezynfekant	odkażanie	dazomet (jedyne używany środek w postaci Basamidu)
fumigant	niszczenie szkodników przez stosowanie gazu	difenokonazol, kaptan (jedyne używany środek w postaci Shavit Gold 72,5 WG)
fungicyd	ochrona przed grzybami	metrafenon, pirymetanił, cymoksanił
fungicyd, insektycyd	ochrona przed grzybami i owadami	tebukonazol, deltametryna
fungicyd, nematocyd	ochrona przed grzybami i nicieniami	metan sodu (jedyne używany środek w postaci Nemasolu 510 SL)
fungicyd, regulator wzrostu	ochrona przed grzybami, regulacja wzrostu	difenokonazol, paklobutrazol
induktor odporności	podnoszenie odporności roślin	wirus mozaiki pepino, szczep CH2, izolat 1906 – 100% (jedyne używany w Polsce w postaci PMV-01)
insektycyd	ochrona przed owadami	deltametryna, acetamipryd, alfa-cypermetyryna
insektycyd, rodentycyd	ochrona przed owadami i gryzoniami	fosforek(III) glinu(III) (obecnie jedyna dopuszczona substancja czynna w 16 środkach ochrony roślin tej grupy)
molukoscyd	ochrona przed mięczakami	metaldehyd, fosforan(III) żelaza
nematocyd	ochrona przed nicieniami	wyciąg z czosnku, oksamyl, fluopyram
regulator wzrostu	regulacja wzrostu	1,4-dimetyloaftalen, etefon
repelent	odstraszanie	piasek kwarcowy, ziram, olej rybi
rodentycyd	ochrona przed gryzoniami	fosforek cynku (jedyna stosowana substancja czynna w 5 środkach ochrony roślin)
stymulator odporności	wpływ na odporność	laminaryna (stosowana w większości środków), COS-OGA (stosowana w jednym środku)
środek mikrobiologiczny	ochrona przed mikroorganizmami; obecnie stosowany jako środki V10 i V5 w celu ochrony upraw pomidorów	łagodny izolat VC1 wirusa mozaiki pepino (w środku V5), łagodny izolat VX1 wirusa mozaiki wraz z łagodnym izolatem VC1 wirusa mozaiki pepino (w środku V10)
inne (środek odkażający)	działanie grzybobójcze, bakteriobójcze i wirusobójcze, przeznaczone do dezynfekcji	kwas benzoesowy (stosowany jako Menno Florades 90 SL)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [11]

Każdy środek ochrony roślin dopuszczony do obrotu na terytorium Polski ma odpowiednią etykietę stanowiącą załącznik do pozwolenia wydanego przez ministra rolnictwa i rozwoju wsi. Określona jest na niej nazwa środka, posiadacz pozwolenia (osoba prawna), zawartość substancji czynnej, potencjalne niebezpieczeństwo, opis działania, zakres stosowania, opis sporządzania cieczy użytkowej, postępowanie z resztkami tej cieczy, warunki przechowywania oraz działanie związane z pierwszą pomocą. Etykiety te można przeglądać na stronie internetowej MRiRW [12].

Ze względu na potencjalne niebezpieczeństwo i charakter działania środków ochrony roślin zostały określone odpowiednie warunki stosowania omawianych substancji. Są one usankcjonowane prawnie rozporządzeniem ministra rolnictwa i rozwoju wsi z dn. 31 marca 2014 r. [13]. Wskazano w nim minimalną odległość od danych obiektów topograficznych, po uwzględnieniu której można prowadzić aplikację środków ochrony roślin, co przedstawiono w tabeli 2.

Ponadto, aby prowadzić aplikację środków ochrony roślin, prędkość wiatru na terenach otwartych nie może przekraczać 4 m/s. Natomiast ich stosowanie przy użyciu sprzętu agrolotniczego jest możliwe, jeśli wilgotność względna powietrza jest nie mniejsza niż 60%, a powierzchnia obszaru, na którym zamierza się je stosować, wynosi co najmniej 3 ha [13].

**Tabela 2.** Minimalne odległości od miejsc i obiektów topograficznych, po których uwzględnieniu można stosować środki ochrony roślin (ś.o.r.)

Miejsce / obiekt topograficzny	Stosowane urządzenie/maszyna	Minimalna odległość od miejsc/obiektów, po uwzględnieniu której można stosować ś.o.r. [m]*
Pasieki	sprzęt naziemny	20
Krawędzie dróg publicznych z wyłączeniem dróg gminnych i powiatowych	opryskiwacze ciągnikowe / samobieżne polowe / sadownicze	3
Zbiorniki i ciekі wodne, tereny nieużytkowane rolniczo inne niż będące celem zabiegu z użyciem ś.o.r.	opryskiwacze ciągnikowe i samobieżne sadownicze	3
Zbiorniki, ciekі wodne, tereny nieużytkowane rolniczo inne niż będące celem zabiegu z użyciem ś.o.r.	opryskiwacze ciągnikowe i samobieżne polowe	1
Pasieki, krawędzie dróg publicznych o kategorii dróg krajowych, zbiorniki i ciekі wodne, tereny nieużytkowane rolniczo inne niż będące celem zabiegu z użyciem ś.o.r. (przy kierunku wiatru w stronę tych miejsc)	sprzęt agrolotniczy	100

Tabela 2 cd.

Miejsce / obiekt topograficzny	Stosowane urządzenie/maszyna	Minimalna odległość od miejsc/obiektów, po uwzględnieniu której można stosować ś.o.r. [m]*
Krawędzie jezdni dróg publicznych o kategorii dróg krajowych, zbiorniki i cieki wodne oraz tereny nieużytkowane rolniczo inne niż będące celem zabiegu z użyciem ś.o.r. (przy kierunku wiatru innym niż w stronę tych miejsc)	sprzęt agrolotniczy montowany na śmigłowcu	15
Pasieki przy kierunku wiatru innym niż wiejący w ich stronę		20
Pasieki, krawędzie dróg publicznych zaliczanych do kategorii dróg krajowych, zbiorników i cieków wodnych oraz terenów nieużytkowanych rolniczo, innych niż będących celem zabiegu z użyciem ś.o.r. (przy kierunku wiatru innym niż wiejący w ich stronę)	sprzęt agrolotniczy montowany na statku lotniczym innym niż śmigłowiec	20

\* Chyba że na etykiecie środków ochrony roślin podano większe odległości od tych miejsc lub obiektów.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [13]

## 2.2. ZUŻYCIĘ ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN W POLSCE

Polscy rolnicy najczęściej stosują grupę środków ochrony roślin, jaką są herbicydy. W roku 2020 sprzedano 38 910 Mg środków tego rodzaju, w których znalazło się 12,8 Mg substancji czynnej. Obecnie spośród wszystkich środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu herbicydy stanowią 41,9% pod względem liczebności rodzajów produktów. Drugim najpopularniejszym rodzajem środków były grupy fungicydów i bakteriocydów, których sprzedaż w roku 2020 wyniosła 22 710 Mg. Znalazło się w nich 9,3 Mg substancji czynnej. Fungicydy stanowią 35,2% środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu. Bakteriocydy występują pod względem rodzaju wyłącznie jako grupa oznaczona nazwą „bakteriocyd, fungicyd”. Jedynie sześć tych środków dopuszczonych jest do obrotu. Środki ochrony roślin wykazujące działanie toksyczne względem grzybów są oznaczone również w grupach „fungicyd, regulator wzrostu”, „fungicyd, insektycyd”, „akarycyd, fungicyd, insektycyd”. Po uwzględnieniu tych trzech grup udział omawianych środków, których substancja czynna oddziałuje na grzyby, wyniesie 36,1% wszystkich środków dopuszczonych do obrotu. Trzecią grupą pod względem sprzedaży są środki owadobójcze. Wyróżnić tu można grupy, których substancja czynna jest toksyczna dla owadów oraz zarówno dla owadów, jak i grzybów, roztoczy i gryzoni. Łącznie stanowią one 11,6% wszystkich środków ochrony roślin będących przedmiotem obrotu. Ich sprzedaż

w roku 2020 wyniosła 3413 Mg, przy czym zawierały 0,63 Mg substancji czynnej. Czwartą grupą pod względem sprzedaży były regulatory wzrostu. Grupa tych środków stanowi 7,2% całości środków ochrony roślin. Ich sprzedaż w roku 2020 wyniosła 2,95 Mg, natomiast masa obecnej w nich substancji czynnej – 1,2 Mg. Pozostałe środki ochrony roślin stanowią 3,2% obrotu (niniejsze wyliczenia wynikają z analizy źródeł [11, 14]).

### 2.3. SKAŻENIE ŚRODOWISKA WYNIKAJĄCE ZE STOSOWANIA ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN

#### INFORMACJE WSTĘPNE

Zgodnie z art. 3 pkt 39 ustawy Prawo ochrony środowiska [15] przez środowisko rozumie się „ogół elementów przyrodniczych, w tym także przekształconych w wyniku działalności człowieka, a w szczególności powierzchnię ziemi, kopaliny, wody, powietrze, krajobraz, klimat oraz pozostałe elementy różnorodności biologicznej, a także wzajemne oddziaływania pomiędzy tymi elementami”.

Zagadnienie oddziaływania środków ochrony roślin na środowisko jest obszerne, a analiza skażenia środowiska wywołanego przez ich stosowanie wymaga indywidualnego podejścia do poszczególnych komponentów środowiska (w tym ludzi) i środowiska jako całości.

#### WPROWADZANIE ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN DO ŚRODOWISKA

Narażenie środowiska przyrodniczego, w tym organizmów żywych, na działanie środków ochrony roślin wynika głównie z rodzaju środka wprowadzanego do środowiska, a także jego działania, sposobu i terminu stosowania. Najwyższe stężenie omawianych substancji występuje podczas ich aplikacji lub w krótkim czasie po jej przeprowadzeniu [16]. Czynniki, które decydują o szybkości degradacji środków ochrony roślin w komponentach środowiska, to właściwości substancji aktywnej (forma użytkowa, stosowana dawka), rodzaj i typ gleby (zawartość substancji organicznej, pH, temperatura, wilgotność, skład chemiczny), natężenie promieniowania ultrafioletowego, temperatura powietrza, występowanie opadów atmosferycznych, budowa chemiczna cząstek substancji, z których składa się dany środek ochrony roślin, i ich polarność, obecność mikroorganizmów w glebie, a także okres połowicznego rozpadu omawianych środków w glebie [16, 17].

#### SKAŻENIE GLEBY

Gleba jest pierwszym elementem środowiska narażonym na działanie środków ochrony roślin. Ich zaleganie i akumulacja (w szczególności herbicydów) może prowadzić do komplikacji w uprawach następczych. Ponadto ich wymywanie w głąb profilu glebowego skutkuje degradacją i skażeniem wód gruntowych [17].

Większość herbicydów, fungicydów oraz insektycydów powoduje spadek aktywności enzymatycznej gleby po 28 dniu od aplikacji, w szczególności pod względem dehydrogenazy, fosfatazy oraz aktywności enzymatycznej w cyklu węglowym [18]. Stosowanie środków ochrony roślin prowadzi do chemicznej degradacji gleb, na którą najbardziej narażone są warstwy położone głębiej w profilu glebowym. Rozkład oraz inaktywacja omawianych substancji i ich metabolitów zachodzi najszybciej w przypowierzchniowych warstwach profilu glebowego,

co związane jest z intensywnością życia mikrobiologicznego. W glebie cechującej się większą zasobnością w mikroorganizmy proces degradacji środków ochrony roślin zachodzi szybciej niż w glebie, która nie jest w niej bogata. Przy tym należy mieć na uwadze, że okresy suszy i niskich temperatur spowalniają rozrost populacji mikroorganizmów, co przekłada się na spowolnienie rozkładu środków ochrony roślin [16, 19].

#### SKAŻENIE WÓD

Pierwszym rodzajem wód narażonych na oddziaływanie środków ochrony roślin są wody gruntowe. Obecność tych środków oraz ich metabolitów w wodach gruntowych wynika z ich przenikania z wierzchnich warstw profilu glebowego do warstw położonych głębiej pod poziomem terenu. Proces migracji tego rodzaju zanieczyszczeń w kierunku strefy saturacji jest złożony, a istotną rolę odgrywają w nim rodzaj gleby, mobilność cząstek substancji aktywnej środka ochrony roślin, procesy sorpcji, desorpcji, czynniki fizykochemiczne czy też warunki klimatyczne [15, 16, 20].

Przeprowadzone w Holandii badania wód gruntowych pod kątem obecności omawianych substancji wykazały, że w 27% próbek obecne były ich metabolity, przy czym głębsze warstwy wodonośne zawierały mniej produktów destrukcji tych substancji [21].

Wartość progowa dobrego stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) wynosi 0,0001 mg pestycydów (środków ochrony roślin i produktów biobójczych łącznie) na 1 dm<sup>3</sup> wody. Zdecydowana większość JCWPd w Polsce wyróżnia się dobrym stanem chemicznym, co oznacza, że wartości progowe elementów fizykochemicznych nie są przekroczone w obrębie dużej części miejsc monitoringowych [22]. Trzeba jednak podkreślić zasadność rozszerzenia monitoringu JCWPd pod kątem obecności środków ochrony roślin oraz ich metabolitów w tym komponencie środowiska.

Środki ochrony roślin przedostają się do wód powierzchniowych przez spływ powierzchniowy, podziemny oraz transport w wyniku przepływu w rowach melioracyjnych. Przez ewaporację, kondensację w atmosferze, a finalnie opady atmosferyczne omawiane środki i ich pochodne mogą być przenoszone na duże odległości. Można więc stwierdzić, że są one obecne na każdym etapie cyklu hydrologicznego. Występowanie tych substancji w ciekach i zbiornikach wodnych zależy natomiast głównie od intensywności ich aplikowania na terenach uprawnych [23, 24].

Badania przeprowadzone na obszarach zlewni użytkowanych rolniczo (Wielkopolska) wykazały obecność pozostałości środków ochrony roślin w 78,2% próbek wód jeziornych, rzecznych i stawów. Najczęściej wykrywanymi środkami były herbicydy. Stężenie substancji czynnych w wodach było jednak niskie, a ich obecność może świadczyć o złym sposobie stosowania przez rolników [25].

Badania wskazują na częste występowanie atrazyny oraz jej metabolitów (metachlor, chloropiryfos, tebukonazol), diuronu, dimetoatu oraz środków grzybobójczych w wodach powierzchniowych na świecie [23]. Największy problem związany z obecnością substancji czynnych zawartych w omawianych środkach i produktów ich degradacji dotyczy terenu Włoch, Hiszpanii, Indii, Chin, niektórych krajów Ameryki Południowej oraz USA i Kanady [23].

Wydaje się jednak, że w Polsce problem zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez pestycydy (produkty biobójcze i środki ochrony roślin łącznie) jest marginalny na tle państw

europejskich [26]. Temat ten wymaga jednak dalszych badań, przeprowadzonych w szerszym zakresie, szczególnie ze względu na zły stan jednolitych części wód powierzchniowych w Polsce.

#### WPŁYW NA ORGANIZMY LĄDOWE

Środki ochrony roślin wywierają istotny wpływ na faunę lądową. Powodują spadek populacji ptaków drapieżnych w wyniku biomagnifikacji. Ich metabolity są zatem obecne również w tkankach osobników niedrapieżnych na niższych poziomach troficznych [6].

Poza pionowym przemieszczaniem się w strukturze troficznej i bioakumulacji na wyższych poziomach troficznych środki ochrony roślin stanowią zagrożenie bezpośrednio dla różnych gatunków fauny, a w szczególności zwierzyny leśnej żerującej na polach uprawnych [27].

Omawiane chemikalia zakłócają gospodarkę hormonalną zwierząt, co wpływa na ich zachowanie oraz zdolność reprodukcji [28]. Zmniejszają płodność ssaków, co potwierdzają badania prowadzone na szczurach. Przyczyniają się do powstawania wad płodu (nieprawidłowy rozwój serca, czaszki, zmiany w budowie przełyku) i zaburzenia spermatogenezy. Skutkują zanikiem płodności (np. u przepiórek). Wywołują jadłowstręt, wycieńczenie oraz spadek masy ciała u królików. Herbicydy przyczyniają się do ubożenia diety zajęcy. Podczas żerowania ssaki te narażone są na szkodliwe działanie tych środków poprzez kontakt ze skórą czy wnikanie przez drogi oddechowe [29].

Istotnym problemem jest wpływ omawianych substancji na zapylacze. Pszczoły i inne owady pobierające nektar kwiatowy narażone są na opryski insektycydami lub kontakt z ich pozostałościami obecnymi na roślinach uprawnych. Główną drogą aplikacji pozostałości środków ochrony roślin w przypadku zapylaczy jest jednak droga pokarmowa (spożywanie zanieczyszczonego nektaru). Warto wskazać, że szczególnie wysoką śmiertelność pszczoł obserwuje się w okresie prowadzenia oprysków [30, 31].

Środki ochrony roślin powodują również zanik różnorodności mikroorganizmów glebowych. Degradują mikrobiom jelitowy organizmów zasiedlających glebę (m.in. dżdżownic), jak również ssaków. Jedną z substancji czynnych (glifosat) wywołuje zmniejszenie liczebności mikroorganizmów składających się na mikroflorę jelitową ssaków, w szczególności *Lactobacillaceae* [32].

#### WPŁYW NA ORGANIZMY WODNE

Środki ochrony roślin oraz ich metabolity obecne są przez cały czas w wodach powierzchniowych, choć w stosunkowo niskich stężeniach. Wywierają w ten sposób wpływ na hydrobionty – zarówno florę, jak i faunę. Badania wykazały m.in., że ekspozycja narybku na niskie, lecz utrzymujące się w czasie stężenia omawianych ksenobiotyków skutkuje degeneracją mitochondriów komórek wątrobowych [33].

Istotny w tym kontekście jest również problem eutrofizacji wód. Pomimo że główną przyczyną tego zjawiska jest nadmierne zasilanie wód powierzchniowych w formy azotu oraz fosforu, wykazano, że stosowanie środków ochrony roślin przyczynia się do tego procesu, powodując zakwity wody (ponieważ wywiera wpływ na algi). Substancje czynne w tych środkach mogą powodować stymulację rozwoju sinic, ponieważ hamują rozwój innych organizmów.

Na działanie środków ochrony roślin oraz ich pochodnych obecnych w środowisku wodnym szczególnie narażone są płazy. Omawiane substancje dwukrotnie szybciej przenikają

do organizmów tej gromady zwierząt w porównaniu ze ssakami, na co wpływ ma budowa anatomiczna ich skóry [34].

Ekspozycja różnych gatunków ryb na środki ochrony roślin i ich pochodne obecne w wodach powierzchniowych prowadzi do zmiany w zachowaniu tych hydrobiontów, a ponadto zmian histopatologicznych, hematologicznych, biochemicznych, spadku zawartości białka i lipidów. Są one dla ryb kancerogenne, powodują zmiany fizjologiczne oraz zaburzenia procesu rozrodczego i całego cyklu życiowego [35].

#### **WPŁYW NA CZŁOWIEKA**

Grupą społeczną, która jest bezpośrednio narażona na oddziaływanie omawianych substancji, są osoby podejmujące aktywność zawodową związaną z rolnictwem, a w szczególności pracownicy trudniący się przeprowadzaniem oprysków. Wykazuje się istotny związek pomiędzy występowaniem nowotworów krwi w grupie osób (rolników) narażonych na kontakt ze środkami ochrony roślin. Podobna korelacja występuje w przypadku raka pęcherza moczowego [36].

Produkty roślinne stanowią niezbędny element diety człowieka, ale za ich pośrednictwem środki ochrony roślin, a także produkty ich degradacji, mogą dostawać się do organizmu ludzi. Wyniki badań określających ilości produktów roślinnych, w których znajdują się pozostałości środków ochrony roślin, są bardzo rozbieżne (16,67–77,78% warzyw; 33,30–77,42% owoców; 15,73–38,00% zbóż) [37]. Udowodniono obecność fungicydów również w produktach roślinnych pochodzących ze sklepów ekologicznych oraz warzywniaków (według badań z roku 2019 dotyczyło to 64% przebadanych próbek) [38].

Pomimo stosowanych działań zapobiegawczych, w tym prowadzenia monitoringu produktów roślinnych i zwierzęcych, spożycie płodów rolnych, które skażone zostały środkami ochrony roślin, prowadzi do 20 tys. zgonów rocznie w samej Unii Europejskiej. Środki ochrony roślin są także odpowiedzialne za około milion zatruc na całym świecie w skali roku [39, 40].

To, czy dany środek ochrony roślin (w szczególności dotyczy to herbicydów) pozostanie w płodach rolnych i w jakiej ilości, w głównej mierze zależy od potencjału, z jakim rośliną pobiera go ze środowiska zewnętrznego, a także przebiegu procesu metabolizowania substancji aktywnej. Warto przy tym zauważyć, że im wyższa zaaplikowana dawka danej substancji aktywnej, tym poziom jej pozostałości w plonach jest wyższy. Środki ochrony roślin rozkładają się nierównomiernie w samej roślinie – podczas gdy np. w korzeniach może dochodzić do akumulacji substancji toksycznej, to w liściach wykrywalne stężenie jest znacznie niższe. Należy więc stosować omawiane substancje w sposób zgodny z zaleceniami producenta, tj. w odpowiedniej ilości i z odpowiednią częstotliwością. Wówczas stężenia środków ochrony roślin są niewykrywalne lub obecne w niegroźnych dla konsumentów stężeniach [16].

Omawiane substancje nie są również obojętne dla mikroflory człowieka, powodując jej ubożenie przy długotrwałej ekspozycji. Na przykład glifosat, który obecnie stanowi substancję czynną w dziewięciu (0,82%) spośród wszystkich herbicydów dopuszczonych do obrotu, prawdopodobnie nie tylko wywołuje zmiany mikrobiologiczne w środowisku jelit człowieka, ale jest również powiązany z epidemią otyłości [41].

Głównym zagrożeniem w przypadku chronicznej ekspozycji na substancje toksyczne będące składowymi środkami ochrony roślin są uszkodzenia organów oraz powstawanie

nowotworów (np. prostaty, płuc oraz nowotworów rzadkich). Dalszych badań oraz potwierdzenia wymaga powiązanie spożycia produktów roślinnych i odzwierzęcych zawierających metabolity środków ochrony roślin ze zwiększonym ryzykiem zachorowalności na chorobę Parkinsona oraz Alzheimer [42].

Kontakt ze środkami ochrony roślin jest szczególnie groźny w okresie rozwoju płodowego człowieka, ponieważ wówczas mózg jest najbardziej podatny na toksyczne działanie substancji czynnych, które są ich składnikami. Kobiety będące w ciąży powinny do minimum ograniczać potencjalne kontakty z omawianymi substancjami [43].

### 3. PODSUMOWANIE

Środki ochrony roślin oraz ich metabolity znacząco oddziałują na wszystkie komponenty środowiska. Ich stosowanie wspomaga jednak produkcję roślinną i zwierzęcą, co przekłada się na zaspokojenie potrzeb żywnościowych społeczeństwa. Zasadne jest dążenie do ograniczenia ich używania ze względu na niekorzystny wpływ na poszczególne elementy ekosystemu. Trafna wydaje się strategia Komisji Europejskiej (zwana strategią „od pola do stołu”), która ma na celu podjęcie działań zmierzających do ograniczenia o połowę stosowania środków ochrony roślin do roku 2030 [44]. Odpowiednie organy państwowe powinny również zapewniać ustawiczny monitoring żywności, tak aby pozostałości pestycydów w produktach roślinnych i zwierzęcych nie przekraczały obowiązujących poziomów [45, 46]. Należy również prowadzić monitoring zgodności sposobu aplikowania tych środków z przepisami prawa oraz wymaganiami producentów.

Oddziaływanie omawianych środków na środowisko i jego skażenie produktami ich degradacji ma charakter wielopoziomowy. Praca porusza najważniejsze aspekty tego problemu zgodnie z dotychczasowym stanem wiedzy. Można zasugerować, że wdrożenie w rolnictwie idei społecznej odpowiedzialności biznesu, w szczególności w kwestii używania chemikaliów, może prowadzić do zwiększania świadomości rolników o oddziaływaniu stosowanych substancji na środowisko. Długofalowo może to skutkować ich racjonalnym stosowaniem.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Allimer M., Tinch D., Acs S., Hanley N., Southall H.R., Gaston K.J., Armsworth P.R., *100 years of change: examining agricultural trends, habitat change and stakeholder perceptions through the 20th century*, „Journal of Applied Ecology” 2009, vol. 46, iss. 2, s. 334–343.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystem and Human Well-Being. Opportunities and Challenges for Business and Industry*, Island, Washington 2005.
- [3] Eurostat. Statistics Explained, *Land use statistics*, 2021, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land\\_use\\_statistics#Land\\_use](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land_use_statistics#Land_use) [20.10.2022].
- [4] Główny Urząd Statystyczny, *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, Warszawa 2021.
- [5] Strzelecki P., *Projekcja liczby pracujących w rolnictwie indywidualnym w Polsce w latach 2008–2035*, „Zeszyty Naukowe. Instytut Statystyki i Demografii SGH” 2010, nr 6, s. 1–54.
- [6] Żak A., *Plant protection products versus changes in the natural environment and their impact on the human health*, „Problems of Agricultural Economics” 2016, vol. 1(346), s. 153–162.

- [7] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywy Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG, Dz.U. UE L 309/1.
- [8] Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin, Dz.U. z 2020 r., poz. 2097 t.j.
- [9] Grausz T.W., *Chemia dla rolników. Poradnik BHP*, wyd. 3, Państwowa Inspekcja Pracy, Warszawa 2015.
- [10] Amanatidis G., *Chemikalia i pestycydy*, 2022, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/78/chemikalia-i-pestycydy> [20.11.2022].
- [11] Gov.pl, *Rejestr środków ochrony roślin*, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/rejestr-rodkow-ochrony-roslin> [23.11.2022].
- [12] Gov.pl, *Etykiety, zezwolenia, pozwolenia i decyzje środków ochrony roślin*, [www.gov.pl/web/rolnictwo/etykiety-srodkow-ochrony-roslin](http://www.gov.pl/web/rolnictwo/etykiety-srodkow-ochrony-roslin) [23.11.2022].
- [13] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 31 marca 2014 r. w sprawie warunków stosowania środków ochrony roślin, Dz.U. z 2014 r., poz. 516.
- [14] Główny Urząd Statystyczny, *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*, Warszawa 2021.
- [15] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. z 2021 r., poz. 1973 t.j.
- [16] Wrzosek J., Gworek B., Maciaszek D., *Środki ochrony roślin w aspekcie ochrony środowiska, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych”* 2009, nr 39, s. 75–88.
- [17] Grygiel K., Sadowki J., Snopczyński T., Wysocki A., *Pozostałości herbicydów w płodach rolnych i glebie*, „Journal of Ecology and Health” 2012, r. 16, nr 4, s. 159–163.
- [18] Riah W., Laval K., Laroche-Ajzenberg L., Mougin Ch., Latour X., Trinsoutrot-Gattin I., *Effects of pesticides on soil enzymes: a review*, „Environmental Chemistry Letters” 2014, vol. 12, iss. 2, s. 257–273.
- [19] Gałązka A., Głodowska M., *Intensyfikacja rolnictwa a środowisko naturalne*, „Zeszyty Problematyczne Postępów Nauk Rolniczych” 2018, nr 592, s. 3–13.
- [20] Arias-Estévez M., López-Periago E., Martínez-Carballo E., Simal-Gándara J., Mejuto J.C., García-Río L., *The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources*, „Agriculture, Ecosystems & Environment” 2008, vol. 123, iss. 4, s. 247–260.
- [21] Schipper P.N.M., Vissers M.J.M., Linden A.M.A. van der, *Pesticides in groundwater and drinking water wells: overview of the situation in the Netherlands*, „Water Science & Technology” 2008, vol. 57, iss. 8, s. 1277–1286.
- [22] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Raport oceny stanu Jednolitych Części Wód Podziemnych w dorzeczach – stan na rok 2019*, Warszawa 2020.
- [23] Souza R.M. de, Seibert D., Quesada H.B., Jesus Bassetti F. de, Fagundes-Klen M.R., Bergamasco R., *Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review*, „Process Safety and Environmental Protection” 2020, vol. 135, s. 22–37.
- [24] Jankowska M., *Występowanie pestycydów w wodach naturalnych*, „Ochrona Środowiska” 1998, nr 1, s. 13–16.
- [25] Drożdżyński D., Folkman W., Kowalska J., *Pozostałości pestycydów w próbkach wielkopolskich wód powierzchniowych pobieranych na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo (2006–2007)*, „Proceedings of ECOpole” 2009, vol. 3, no. 2, s. 445–449.
- [26] European Environment Agency, *Pesticides in rivers, lakes and groundwater in Europe*, 2022, [www.eea.europa.eu/ims/pesticides-in-rivers-lakes-and](http://www.eea.europa.eu/ims/pesticides-in-rivers-lakes-and) [23.10.2022].
- [27] Rodziewicz L., Hajduk A., *Pozostałości pestycydów polichlorowanych w tkance tłuszczowej zwierząt łownych z terenu Polski wschodniej w latach 1990–1993*, „Medycyna Weterynaryjna” 1995, t. 51, nr 4, s. 199–200.
- [28] Dolan C., Mannan B., *Pesticide use and wildlife*, The University of Arizona, 2009, AZ1481i, <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1481i.pdf> [23.10.2022].

- [29] Sporek K., Sporek M., *Zmiany środowiska przyrodniczego i ich wpływ na populację zwierząt*, [w:] *Zarządzanie populacjami zwierząt*, „Łowiec Polski” Polski Związek Łowiecki, Warszawa 2016, s. 125–141
- [30] Alix A., Lewis G., *Guidance for the assessment of risks to bees from the use of plant protection products under the framework of Council Directive 91/414 and Regulation 1107/2009*, „Bulletin OEPP – Eppo Bulletin” 2010, vol. 40, iss. 2, s. 196–203.
- [31] Dziarmaga J., *Reakcje pszczoły miodnej (apis mellifera l.) na sezonowe opryski pestycydami*, „Acta Juvenum” 2016, vol. 1, s. 61–62.
- [32] Syromyatnikov M.Y., Isuwa M.M., Savinkova O.V., Derevshchikova M.I., Popov V.N., *The effect of pesticides on the microbiome of animals*, „Agriculture” 2020, vol. 10, iss. 3, s. 1–14.
- [33] Lutnicka H., *Zmiany ultrastrukturalne w hepatocytach ryb jako biomarker narażania ryb na pestycydy*, [w:] *IX Krajowa Konferencja Bioindykacyjna – Materiały konferencyjne*, Poznań 2019, s. 17.
- [34] Brühl A., Pieper S., Weber B., *Amphibians at risk? Susceptibility of terrestrial amphibian life stages to pesticides*, „Environmental Toxicology and Chemistry” 2011, vol. 30, iss. 11, s. 2465–2472.
- [35] Ullah S., Zorriehzahra M.J., *Ecotoxicology: a review of pesticides induced toxicity in fish*, „Advances in Animal and Veterinary Sciences” 2014, vol. 3, iss. 1, s. 40–57.
- [36] Kim K.H., Kabir E., Jahan S.A., *Exposure to pesticides and the associated human health effects*, „Science of The Total Environment” 2017, vol. 575, s. 525–535.
- [37] Kowalska G.M., Kowalski R.J., *Badania pozostałości pestycydów w żywności pochodzenia roślinnego przy użyciu metody QuEChERS i technik chromatograficznych GC i HPLC z detektorem spektrometrii mas MS i MS/MS. Praca przeglądowa*, „Agronomy Science” 2019, t. 74, nr 3, s. 99–112.
- [38] Tankiewicz M., Berg A., Wolska L., *Zakazany owoc, czyli ukryta prawda o produktach z warzywniaka*, [w:] *IX Krajowa Konferencja Bioindykacyjna – Materiały konferencyjne*, Poznań 2019, s. 25.
- [39] Makles Z., Domański W., *Ślady pestycydów – niebezpieczne dla człowieka i środowiska*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2008, t. 1, s. 5–9.
- [40] Boedeker W., Watts M., Clausing P., Marquez E., *The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review*, „BMC Public Health” 2020, vol. 20, iss. 1, 1875.
- [41] Pilarska A.A., Pilarski K., *Wpływ pozostałości środków ochrony roślin w żywności na mikrobiom człowieka*, „Food Forum” 2018, nr 4(26) s. 110–114.
- [42] Greenpeace, *Negatywny wpływ pestycydów na zdrowie. Rosnący problem*, 2015, [https://www.greenpeace.org/static/planet4-poland-stateless/2019/06/67c89442-67c89442-report\\_wplyw\\_pestycydow\\_na\\_zdrowie.pdf](https://www.greenpeace.org/static/planet4-poland-stateless/2019/06/67c89442-67c89442-report_wplyw_pestycydow_na_zdrowie.pdf) [23.10.2022].
- [43] Grotowska M., Janda K., Jakubczyk K., *Wpływ pestycydów na zdrowie człowieka*, „Pomeranian Journal of Life Sciences” 2018, vol. 64, iss. 2, s. 42–50.
- [44] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego, Bruksela, dnia 20.5.2020 r., COM(2020) 381 final.
- [45] Rozporządzenie (WE) Nr 396/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 lutego 2005 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów w żywności i paszy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz na ich powierzchni, zmieniające dyrektywę Rady 91/414/EWG, Dz.U. UE L 70/1.
- [46] Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, Dz.U. z 2022 r., poz. 2132 t.j.

ENVIRONMENTAL CONTAMINATION RESULTING FROM THE USE OF  
PLANT PROTECTION PRODUCTS. REVIEW

**Summary:** The idea of corporate social responsibility (CSR) can be considered through the prism of agriculture, which is an important sector of the economy in Poland. In this context, it is reasonable to indicate the environmental impact of chemicals used in this sector. One of their types are plant protection products, widely used by farmers. Despite the advantages of their use, they also have an adverse effect on the environment. This paper is the result of an analysis of the scientific literature and its aim is to indicate the most important aspects of the multilevel impact of this group of pesticides on environmental components. The effects of plant protection products on soil, groundwater, groundwater and surface water, terrestrial and aquatic organisms, and humans are indicated. The conclusions indicate the direction of European Union policy to reduce the use of the substances indicated and potential ways to minimise environmental risks.

**Keywords:** plant protection products, sustainability, agriculture human impact on the environment, CSR